

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.03/30.12.2019.T.03.04
RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA
UNIVERSITETI**

ALIYEV XAKIM BOXODIR O'G'LI

**QALMOQIR KONIDA ISHLATILAYOTGAN 110G13L PO'LATDAN
YASALGAN EKSKAVATOR TISHLARINING KIMYOVIY TARKIBINI
O'ZGARTIRISH ORQALI MEXANIK XUSUSIYATLARINI YAXSHILASH**

05.02.01 – Mashinasozlikda materialshunoslik. Quymachilik. Metallarga termik va bosim ostida ishlov berish. Qora, rangli va noyob metallar metallurgiyasi. Kamyob, nodir va radioaktiv elementlar texnologiyasi (texnika fanlari)

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

Toshkent – 2025

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi
Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Aliyev Hakim Boxodir o‘g‘li

Qalmoqir konida ishlatilayotgan 110G13L po‘latdan yasalgan ekskavator tishlarining kimyoviy tarkibini o‘zgartirish orqali mexanik xususiyatlarini yaxshilash..... 3

Алиев Хаким Боходир угли

Повышение механических свойств зубьев экскаватора из стали 110Г13Л используемых на Кальмакырском месторождении, путем изменения химического состава..... 21

Aliev Khakim Bokhodir ugli

Improving the mechanical properties of excavator teeth made from 110G13L steel, used at the Kalmakyr field, by changing the chemical composition..... 41

E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati

Список опубликованных работ
 List of published works 44

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI DSc.03/30.12.2019.T.03.04
RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA
UNIVERSITETI**

ALIYEV XAKIM BOXODIR O'G'LI

**QALMOQIR KONIDA ISHLATILAYOTGAN 110G13L PO'LATDAN
YASALGAN EKSKAVATOR TISHLARINING KIMYOVIY TARKIBINI
O'ZGARTIRISH ORQALI MEXANIK XUSUSIYATLARINI YAXSHILASH**

**05.02.01 – Mashinasozlikda materialshunoslik. Quymachilik. Metallarga termik va bosim
ostida ishlov berish. Qora, rangli va noyob metallar metallurgiyasi. Kamyob, nodir va
radioaktiv elementlar texnologiyasi (texnika fanlari)**

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

Toshkent– 2025

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan B2025.2.PhD/T3474 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (rus, o'zbek, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasining (www.tdtu.uz) va «ZiyoNet» Axborot ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:	Jumayev Elyorjon Erkin o'g'li texnika fanlari doktori, professor
Rasmiy opponentlar:	Usmankulov Orifjon Naziraliyevich texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) Dunyashin Nikolay Sergeyeovich texnika fanlari doktori, professor
Yetakchi tashkilot:	Farg'ona davlat texnika universiteti

Dissertatsiya himoyasi Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti huzuridagi DSc.03/30.12.2019.T.03.04 raqamli Ilmiy kengashning 2025 yil "4" dekabr soat 16⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100095, Toshkent shahar, Olmazor tumani, Universitet ko'chasi 2-uy. Tel/faks.: (99871) 207-44-40, e-mail: (tadqiqotchi@tdtu.uz).

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat texnika universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№ 55raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100095, Toshkent shahar, Olmazor tumani, Universitet ko'chasi 2-uy. Tel/faks.: (99871)207-44-40).

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil "21" noyabr kuni tarqatildi.
(2025 yil "21" noyabrdagi № 200 raqamli ryestr bayonnomasi).

K.A. Karimov
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash raisi,
texnika fanlari doktori, professor

Sh. B. Tashbulatov
Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash ilmiy kotibi,
texnika fanlari doktori, dotsent

N.D. Turaxodjayev
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi,
texnika fanlari doktori, professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Dunyoda metallurgiya sanoati iqtisodiyotning rivojlanishida hal qiluvchi asosiy sohalardan biri bo'lib, po'latga bo'lgan talab yiliga 150 million tonnadan oshgan holda yangi, zamonaviy mashina va mexanizmlar detallarining sifatini oshirishda hamda innovatsion texnologiyalarni takomillashtirishda muhim rol o'ynaydi. Bu borada, jumladan, ma'danlarni qazib olishda qo'llaniladigan 110G13L markali po'latdan yasalgan ekskavator tishlarining kimoviy tarkibini o'zgartirish orqali ularning fizik–mexanik va ekspluatatsion xususiyatlarini yaxshilash, ma'danlarni qayta ishlash orqali ulardan metallarni ajratib olishda ishlatiladigan texnikalarning samaradorligini oshirish va atrof–muhitga salbiy ta'sirni kamaytirishga qaratilgan innovatsion texnologiyalarni joriy etish katta ahamiyat kasb etadi.

Jahonda tog'–kon sanoati ma'danlarini qazib olish, parchalash va tashuvchi transportga yuklashda asosiy texnika hisoblangan tog'–kon ekskavatorlarining ishlash qobiliyati va samaradorligini oshirish, ekskavator ishchi organlarining sifatini yaxshilash va umrboqiyiligini oshirish, ekskavator tishlarini maxsus po'latlardan yasash usullarini aniqlash va ishlab chiqarish jarayonida sodir bo'ladigan fizik–kimoviy va mexanik jarayonlarning mexanizmlarini aniqlash hamda avtomatlashtirilgan texnika vositalarining yangi ilmiy–texnikaviy yechimlarini ishlab chiqishga yo'naltirish ustuvor yo'nalishlardan hisoblanmoqda. Bu borada, jumladan, ekologik meyorlarga rioya qilgan holda innovatsion texnologiyalarni joriy etish, ekskavatorlarning yuqori ish sifatini ta'minlash hamda energiya va resurslarni tejash, energiya–resurstejamkor texnika vositalarini ishlab chiqish hamda ularning texnologik jarayoni, parametrlari va ishlash rejimlarini ishlab chiqishga alohida e'tibor berilmoqda.

Respublikamizda ma'danlarni qazib olishning ochiq usuli ko'proq qo'llanilishini hisobga olgan holda, tog'–kon ekskavatorlari ekspluatatsiya jarayonlarida ekskavator cho'michiga o'rnatilgan tishlarning yeyilishbardoshligini oshirish, metallurgiya korxonalarini zarur xomasholar bilan ta'minlashda mehnat hamda energiya sarfini kamaytirish, ekskavator tishlarining mexanik xossalarini davlat standartlariga mos ravishda yaxshilash va resurslarni tejash imkonini beradigan zamonaviy texnika va innovatsion texnologiyalarni ishlab chiqish yuzasidan keng qamrovli chora–tadbirlar amalga oshirilib, muayan natijalarga erishilmoqda. 2022 – 2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonni yanada rivojlantirish bo'yicha taraqqiyot strategiyasida "...milliy iqtisodiyot barqarorligini ta'minlash va yalpi ichki mahsulotda sanoat ulushini oshirishga qaratilgan sanoat siyosatini davom ettirib, sanoat mahsulotlarini ishlab chiqarish hajmini oshirish..."¹ bo'yicha muhim vazifalar belgilab berilgan. Ushbu vazifalarini amalga oshirishda, jumladan, "Olmaliq KMK" AJning Qalmoqir konida ishlatiladigan ekskavator tishlarining mexanik xossalarini ular tayyorlangan materialning kimoviy tarkibini o'zgartirish orqali mexanik xususiyatlarini yaxshilashga erishish muhim ahamiyatga ega.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020 yil 29 oktabrdagi №PF–6079–

¹ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28 yanvardagi №PF-60-sonli «2022 — 2026-yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida”gi Farmoni.

son «Sanoatni jadal rivojlantirish va uning raqobatbardoshligini oshirish chora–tadbirlari to‘g‘risida”gi, 2022 yil 1 martdagi №PF–6328–son «Ilmiy–tadqiqot faoliyatini qo‘llab–quvvatlash va rivojlantirish chora–tadbirlari to‘g‘risida”gi Farmonlari hamda 2022 yil 6 iyuldagi №PQ–307–son «2022–2026–yillarda O‘zbekiston Respublikasining innovatsion rivojlanish strategiyasini amalga oshirish bo‘yicha tashkiliy chora–tadbirlar to‘g‘risida”gi Qarori hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa meyoriy–huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Dissertatsiya ishi bo‘yicha tadqiqotlar fan va texnologiyalar rivojlanishining II «Energetika, energiya va resurstejamkorlik” ustuvor yo‘nalishiga mos keladi.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Dunyo amaliyotida turli mashina va uskunalarning yeyilishga chidamli qismlari quyib olinadigan po‘latlarning xossalarini samarali yaxshilash bo‘yicha mahalliy va xorijiy olimlar o‘zlarining ulkan xissalarini qo‘shganlar: Najafabadi V., Zhuang W., Çakir O., Sabzi M, Feng X. Rama S. va boshqalar tomonidan yuqori marganesli po‘latlarning mexanik xossalarini oshirish bo‘yicha ishlar olib borilgan. Ular tomonidan olib borilgan tadqiqotlar natijasida yuqori marganesli po‘lat o‘zining mexanik xossalarini sezilarli darajada oshirdi. Quanshun L., Nam N., Manjunatha M., Ulrich P., Pham M., Wu W., Yun X., Anijdan M., Park N. va boshqa olimlar tomonidan yuqori marganesli po‘latlarni modifikatsiyalash va mikrolegirlash bo‘yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlar natijasida materialning turli xil mexanik ko‘rsatkichlarini oshirishga erishilgan.

MDH va O‘zbekiston olimlari Kasimgazinov A., Zudova M., Rozum V., Slutskiy A., Zavyalov V., Vdovin K., Gorlenko D., Pesin A., Yashenko N., Shramko M., Moxtar B., Nurumgaliyev A., Atajanov G., Turaxodjaye N., Norxudjaye F. va boshqalar ham shunday tadqiqotlar olib borishgan. Ular legirlovchi elementlar hamda qo‘shimchalarning tarkibi ta’sirining sabablarini batafsil o‘rganishgan.

Po‘latning mexanik xususiyatlarini oshirish sohasidagi ko‘plab ilmiy ishlar va yutuqlarga qaramasdan, ishlab chiqarish joylarida mavjud bo‘lgan barcha sharoitlarni qondira oladigan universal yechim yo‘q. Turli xildagi uskunalarning yeyilishga chidamli qismlari va uzellarini quyishda ishlatiladigan po‘latlarning mexanik xususiyatlarini oshirish masalasini hal qilish uchun har bir korxonaning o‘ziga xos sharoitlari va legirlovchi elementlar tarkibini alohida hisobga olgan holda yondashish zarur.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan ilmiy–tadqiqot muassasasining ilmiy–tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti ilmiy–tadqiqot ishlari rejasining №FL–7923051900 “Kam legirlangan konstruksion po‘latlar va qotishmalarning yeyilishbardoshligi va korroziyabardoshligini oshirish maqsadida azot va uglerod atomlari bilan to‘yintirishda strukturaviy–fazaviy o‘zgarishlar qonuniyatlarini ishlab chiqish” mavzusidagi amaliy loyiha doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi Qalmoqir konida ishlatilayotgan 110G13L markali po‘latdan yasalgan ekskavator tishlarining kimoviy tarkibini o‘zgartirish orqali

ularning mexanik xususiyatlarini yaxshilash hamda yeyilishga chidamli po‘latlarni modifikatsiyalash texnologiyalarini yanada takomillashtirishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

yuqori marganesli po‘latga alyuminiy va nikel qo‘shib modifikatsiyalash texnologiyalarini o‘rganish;

materialning tuzilishi va xossalariga ta’sir etuvchi omillarni tahlil qilish;

110G13L markali po‘latning mexanik xususiyatlariga legirlovchi elementlar miqdorining ta’sirini tadqiq etish;

yuqori marganesli po‘latlarni modifikatsiyalash va legirlashning rivojlanish yo‘nalishlarini tahlil qilish, laboratoriya sinovlarini o‘tkazish va natijalarni tahlil qilish;

yarim sanoat sinovlarini amalga oshirish, olingan natijalarni tahlil etish va texnologiyaning iqtisodiy samaradorligini baholash.

Tadqiqotning obyekti sifatida 110G13L markali po‘latidan tayyorlangan ekskavator tishlari, kimoviy tarkibi, mexanik xususiyatlari, mavjud po‘lat quyish texnologiyasi hamda Qalmoqir konida ekskavator tishlarini ekspluatatsiya qilish sharoitlari.

Tadqiqotning predmeti. Ekskavator tishlarining mexanik xususiyatlarini, ularni tayyorlashda ishlatiladigan materialning kimyoviy tarkibini o‘zgartirish orqali yaxshilash jarayonini ifodalaydigan analitik bog‘lanishlar, qurilmaning parametrlari, ish rejimlari va ko‘rsatkichlari hamda ularning o‘zgarish qonuniyatlari hisoblanadi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot ishini bajarishda fizik–kimoviy taxlilning zamonaviy usullari, jumladan, IQ–spektroskopiya, elektron mikroskopiya, rentgen difraksiyasi (XRD) va skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) hamda natijalarni statistik va matematik qayta ishlash usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

110G13L markali po‘latning tarkibiga 2% gacha alyuminiyni qo‘shish orqali uning legirlovchi xususiyatlarini yaxshilash uchun po‘latning optimal kimoviy tarkibi ishlab chiqilgan;

po‘latni pechdan tushirish paytida quyish cho‘michiga alyuminiyni qo‘shish marganetsni po‘latda legirlovchi element sifatida deyarli to‘liq holda qatnashishiga va ferromarganets sarfini tejashi hamda 4,5 ming tonna tayyor mahsulot iqtisod qilinishi asoslangan;

110G13L markali po‘latni alyuminiy bilan kimoviy modifikatsiyalash natijasida qotishma suyuqligining oquvchanligini oshishi va quyma metallning yanada nozikroq dendrit tuzilishiga ega bo‘lishi hisobiga uning korroziyaga chidamliligi hamda cho‘zilishdagi mustahkamligini 2 barobarga oshishi aniqlangan;

alyuminiyni modifikator sifatida 110G13L markali po‘lat tarkibiga kiritish orqali po‘latning qattiqligini (Brinel bo‘yicha) 60% ga, zarbiy qovushqoqligini (KCU) esa 40% ga oshishi hamda turli o‘qli, mayda donali tuzilishga ega bo‘lgan po‘latning shakllanishi, quymalarda transkristallanishning yo‘qligi yeyilishga chidamlilikda yuqori mexanik xususiyatlarini oshirishi asoslangan;

ekskavator tishlarini tayyorlashda ishlatiladigan 110G13L markali po‘latini modifikatsiyalash bo‘yicha yangi resurstejamkor texnologiyaning rejimlari ishlab chiqilgan: metallni eritish harorati 1480 °C, eritish uchun sarflangan umumiy vaqt 3

soat va alyuminiyning miqdori 2% gachani tashkil etishi aniqlangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

modifikator sifatida Al qo‘shib quyilgan ekskavator tishlarining ish unumdorligi oddiy tishlarga nisbatan 60 ming m³ ga oshganligi aniqlangan;

po‘latni alyuminiy bilan modifikatsiyalash natijasida po‘latni legirlash va kislorodsizlantiruvchi sifatida qo‘llaniladigan ФМН95 ni va 4,5 ming tonna tayyor mahsulotni iqtisod qilishi asoslandi.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi izlanishlarning zamonaviy usul va o‘lchash vositalaridan foydalangan holda o‘tkazilganligi, nazariy va eksperimental tadqiqotlarning o‘zaro muvofiqligi, bajarilgan tadqiqotlar asosida ishlab chiqilgan ekskavator tishining sinovlarini ijobiy natijalari va amaliyotga joriy etilganligi bilan asoslanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati, tog‘–kon sanoati mashinasi ishchi qismlarining talab darajasidagi ish sifatini ta‘minlaydigan kimoviy tarkibi, texnologik parametrlari va ish rejimlarining asoslanganligi kimoviy modifikatsiyalangan 110G13L markali po‘latdan ekskavator tishlarini ishlab chiqarishda sodir bo‘ladigan fizik–mexanik jarayonlarning mexanizmlarini aniqlash bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati ishlab chiqilgan ekskavator tishlarining tog‘–kon sanoati ma‘danlarini qazib olish, parchalash va tashuvchi transportga yuklashda energiya va mehnat sarfining kamayishi, tishlarning ishlash qobiliyati va yeyilishbardoshligining oshishi hamda ish sifatining yaxshilanishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Qalmoqir konida ishlatilayotgan 110G13L markali po‘latdan yasalgan ekskavator tishlarining kimoviy tarkibini o‘zgartirish orqali ularning mexanik xususiyatlarini yaxshilash bo‘yicha olingan natijalar asosida:

modifikatsiyalangan 110G13L markali po‘latidan yasalgan ekskavator tishlari Qalmoqir koni uchun ekskavator tishlarini ishlab chiqaradigan Markaziy ta‘mirlash–mexanika zavodida amaliyotga joriy etilgan (“Olmaliq KMK” AJning 2024 yil 4 sentabrdagi №09–24/42–00018–sonli ma‘lumotnomasi). Natijada, ekskavator tishlarining mexanik xususiyatlari va yeyilish qarshiligini 2 baravargacha oshirish imkonini bergan;

110G13L markali po‘latini modifikatsiyalash texnologiyasi “Olmaliq KMK” AJ koshidagi “Markaziy ta‘mirlash mexanika zavodi”da amaliyotga joriy etilgan (“Olmaliq KMK” AJning 2024 yil 4 sentabrdagi №09–24/42–00018–sonli ma‘lumotnomasi). Natijada, ekskavator tishlarining yuklangan ma‘dan hajmi oddiy tishlarga nisbatan 60 ming m³ga oshirish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqot natijalari 7 ta xalqaro va 3 ta respublika ilmiy–amaliy anjumanlarida muhokamadan o‘tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e‘lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha jami 14 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan, O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 4 ta maqola, jumladan, 2 tasi respublika va 2 tasi xorijiy jurnallarda nashr etilgan va 1 ta foydali modelga patent arizasi mavjud.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tuzilishi kirish, to‘rt bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi

118 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida tadqiqot mavzusining dolzarbligi va talabchanligi, maqsad va vazifalar, tadqiqot obyekti va predmeti tavsiflangan, tadqiqotning respublika fan va texnologiyalarining ustuvor yo‘nalishlariga muvofiqligi ko‘rsatilgan, olingan natijalarning ilmiy yangiligi va amaliy ahamiyati, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy etish, chop etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi haqida ma’lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning “**Ekskavator tishlarining ekspluatatsion xususiyatlari va yeyilish sabablari tahlili**” deb nomlangan birinchi bobida "Olmaliq KMK" AJning Qalmoqqir konida, xususan “Olmaliq KMK” AJning Markaziy ta’mirlesh–mexanika zavodida qo‘llanilayotgan ekskavator tishlarining sharhi keltirilgan (1–rasm). Foydali qazilmalarni qazib olishda muhim ahamiyatga ega bo‘lgan karyer ekskavatorlariga alohida e’tibor qaratilgan. Qalmoqqir konining markaziy kareerida foydalaniladigan kon ekskavatorlarining texnik xususiyatlari batafsil bayon etilgan.

Keng tarqalgan kon ekskavatorlarining turli xillari, ularning vazifalari va o‘ziga xos jihatlari ko‘rib chiqilgan. Cho‘mich tishlariga katta zarbiy yuklanishlar va qarshilik kuchlari ta’sir etishi natijasida ularning yeyilishi kuzatilishi ta’kidlangan.

Shuningdek, bobda tishlarning yeyilishiga ta’sir etuvchi omillar, jumladan, tog‘ jinsining o‘lchami, tishlarning kirish burchagi va tezligi muhokama qilingan. Bu esa ekskavator tishlari va boshqa qismlarining xizmat muddatini uzaytirish yo‘llarini izlash zarurligini ko‘rsatib beradi. Mumkin bo‘lgan yechimlardan biri tishlar tayyorlangan materialning kimyoviy tarkibini o‘zgartirishdir. Bu ularning mustahkamligi va yeyilishga chidamliligini oshirish imkonini beradi.

Tishlarni ishlab chiqish va tayyorlash sohasidagi tendensiyalar, shuningdek, ularning ekskavatorlar unumdorligi va texnik xizmat ko‘rsatish xarajatlariga ta’siri ko‘rib chiqildi.



1 – rasm. “Olmaliq KMK” AJ Markaziy ta’mirlesh–mexanika zavodida quyilgan EKG ekskavator kovshiga o‘rnatilgan tishlar

Tishlarning ishlash muddatini va yeyilish koeffitsiyentini oshirish maqsadida tishlar tayyorlanadigan materialning kimyoviy tarkibini o'zgartirishga alohida e'tibor beriladi. Tishlarning har xil turlari, ularning tuzilishi va ishlatilish sohalari, shuningdek, ularning mada qazib olish samaradorligini oshirish va ekskavatorlarning to'xtab turish vaqtini qisqartirishdagi roli bayon etilgan. Shuningdek, bobda tish koronkalarining turlari, ularning o'ziga xos xususiyatlari va afzalliklari, ishlab chiqarishda tishlarni quyish usullari keltirilgan.

110G13L po'lati (Gadfield po'lati deb ham ataladi) ishlab chiqarishning zamonaviy jihatlari ko'rib chiqilgan. Bu yuqori marganesli austenit quyma po'lati noyob xususiyatlarga ega bo'lib, uni ishqalanish, zarbiy qovushqoqlik va plastiklikka yuqori talablar qo'yiladigan detallar uchun eng maqbul tanlov qiladi.

Zamonaviy sanoatda qo'llaniladigan quyish texnologiyalarining turli xillari, jumladan, qum qoliplarga quyish, uzluksiz quyish, gazlangan modellar bo'yicha quyish, qobiq qoliplarga quyish, bosim ostida quyish, markazdan qochma quyish, kokil quyish va metallarni eritilgan modellar bo'yicha quyish tasvirlangan. Bu usullarning har biri o'zining afzalliklari va kamchiliklariga ega bo'lib, u yoki bu usulni tanlash detalga qo'yiladigan talablar va ishlab chiqarish sharoitlariga bog'liq.

Shunday qilib, ushbu bob ekskavator tishlarining yeyilishi muammosining dolzarbligini va uni hal qilish yo'llarini izlash zarurligini asoslab beradi. Shuningdek, u bu sohadagi keyingi tadqiqotlar va ishlanmalarning yo'nalishini ham belgilaydi.

Dissertatsiyaning **“110G13L markali po'latning mexanik xossalarini oshirish metodikasi va tadqiqot obyektlarini tanlash”** deb nomlangan ikkinchi bobida tadqiqot obyektlarini tanlash va asoslash, jumladan, materialning xususiyatlari (110G13L markali po'lat), xorijiy olimlarning modifikatsiyalash tajribalari, asosiy elementlar va aralashmalarning po'lat xossalariga ta'siri va yuqori marganesli po'latni modifikatsiyalash usullari va sharoitlarining tavsifi ko'rib chiqilgan.

Xususiyatlari tufayli “Olmaliq KMK” AJda 110G13L po'latidan maydalagich va ekskavatorlar uchun turli detallar quyiladi. Quyma detallarning yeyilishga chidamliligini oshirish uchun ba'zi paramagnit elementlar bilan kichik dozalarda legirlash yoki uni modifikatsiyalash mumkin, chunki yuzaga ishlov berish vaqtinchalik xarakterga ega va juda ko'p energiya sarfini talab qiladi.

Shuningdek, 110G13L po'latining xususiyatlari va tuzilishi GOST va xorijiy analoglarga muvofiq ko'rib chiqildi. Gadfield po'latining xususiyatlari va qo'llanilishi tavsiflangan, shuningdek, “Olmaliq KMK” AJning turli bo'linmalarida qo'llaniladigan ushbu po'latdan quyilgan detallar sanab o'tilgan.

Metallarning xossalaridan kelib chiqib, legirlovchi elementlarning po'latning mexanik xossalariga ta'siri ko'rib chiqilgan va xulosalar qilingan. “Olmaliq KMK” AJ sharoitiga optimal mos keladigan istiqbolli modifikatorlar aniqlandi. Shuningdek, qo'llaniladigan modifikatorning massa ulushini aniqlash usullari va hisoblash formulalari keltirilgan.

Umuman olganda, 110G13L po'lati yeyilishga, zarbiy qovushqoqlikka va plastiklikka yuqori talablar qo'yiladigan detallarni ishlab chiqarish uchun muhim material hisoblanadi. Ushbu po'latni ishlab chiqarishning zamonaviy jihatlari xossa va xususiyatlari yaxshilangan yuqori sifatli detallar olish imkonini beradi.

Uchinchi bob **“Po'latni modifikatsiyalash texnologiyasi tadqiqotlari.**

Laboratoriya sinovlarini o'tkazish deb nomlangan bo'lib, bunda modifikator sifatida Al, Al + Ni va Ni ishlatilgan po'latning laboratoriya namunalari olish, laboratoriya sinovlari tahlillarini olish va tanlangan modifikatsiyalash usulini asoslashga bag'ishlangan.

Ushbu bobda modifikator sifatida alyuminiy qo'shilgan 110G13L markali po'latning laboratoriya namunalari olish yoritilgan. Legirlovchi elementlarning dastlabki massasini hisoblash uchun "Convert-easy" dasturidan foydalanildi.

Laboratoriya sinovlari natijasida Al 2% gacha, Al + Ni 2% gacha va Ni 2% gacha qo'shilgan 110G13L po'latining bir nechta laboratoriya namunalari olindi. Namunalar belgilangan xususiyatlarga mos keldi va keyingi tadqiqotlar va sinovlar uchun tayyorlandi.

Namunalarni olish jarayoni xom ashyoni tayyorlash, modifikator qo'shish, eritish, grafit qoliplarga quyish va sovutishni o'z ichiga olgan. Kimyoviy bir xillikka erishish uchun namunalar besh marta qayta eritildi va oxirgi bosqich quyish jarayoni bo'ldi.

Mexanik sinovlar uchun namunalarning o'lchamlari tegishli GOSTlar asosida ishlab chiqilgan. Namunalar dastlabki sof (99%) legirlovchi komponentlarni eritish, kerakli miqdorda modifikator qo'shish va eritilgan po'latni grafit qoliplarga quyish orqali olingan. Qotishdan keyin namunalar mexanik ishlovdan o'tkazildi.

Laboratoriya sinovlari natijalari shuni ko'rsatdiki, Al maxsus intermetallid birikmalar hosil bo'lishiga va po'latning korroziyaga chidamliligini oshirishga yordam beradi. Turli tahlil usullari yordamida yuqori entropiyali qotishmalarning mikrostrukturasi va fazaviy tarkibini o'rganishga alohida e'tibor qaratilmoqda. Shuningdek, u po'lat donalarining o'lchami va taqsimlanishiga, fazaviy tarkibiga va mexanik xossalariga ta'sir ko'rsatadi.

110G13L markali po'lat tarkibiga Al qo'shilishi uning strukturaviy va mexanik xossalariga sezilarli ta'sir ko'rsatishi qayd etilgan. Al maxsus intermetallid birikmalar hosil bo'lishiga yordam beradi va po'latning korroziyaga chidamliligini yaxshilaydi, Ni esa po'latning mexanik xususiyatlarini o'zgartirib, austenit strukturasi barqarorlashtiradi.

Ni 110G13L po'latining xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatib, uning past haroratlarda zarbiy qovushqoqligi va plastikligini yaxshilaydi, korroziyaga chidamliligini oshiradi va austenit strukturasi barqarorlashtiradi. Shuningdek, po'latning kesib ishlanuvchanligini yaxshilaydi. Biroq, Ni ning ortiqcha miqdori po'latning tannarxini oshirishi va payvandlashda yoriqlarga moyillikni oshirishi va plastiklikni oshirishi mumkin, bu esa zarba yuklamalarida salbiy ta'sir ko'rsatadi.

Po'latga termik ishlov berish natijasida hosil bo'lishi mumkin bo'lgan martensit, sorbit va beynit kabi turli xil tuzilmalar ham muhokama qilinadi. Ushbu tuzilmalarning har biri o'ziga xos mexanik xususiyatlarga ega va po'latning xususiyatlariga ta'sir qiladi.

110G13L po'latiga Al qo'shilishi uning mexanik xususiyatlarini, ayniqsa qattiqligini va vaqtinchalik cho'zilishdagi mustahkamligini sezilarli darajada oshirishga olib keladi. Bu ushbu qotishmani zarbiy-abraziv yeyilishga chidamli qiladi va uning yeyilishga chidamliligini oshiradi.

Al qo'shilganda po'latning mexanik xossalarining yaxshilanishi qotishma

donalarining chegaralarini tozalash va elementlarning chegaraviy diffuziyasini sekinlashtirish, shuningdek, qattiq eritmaning mustahkamligini oshirish qobiliyati bilan izohlanadi. Bundan tashqari, alyuminiy quyma metallning yanada nozikroq dendrit tuzilishini olishga yordam beradi, bu esa metallning zichligi va po‘latning birlamchi tuzilishining tuzilishiga ijobiy ta‘sir ko‘rsatadi.

Al ning modifikatsiyalovchi ta‘siri quyma metallning yanada nozikroq dendrit tuzilishini olishda namoyon bo‘ladi. Al 110G13L po‘latining xususiyatlariga sezilarli ta‘sir ko‘rsatib, uning korroziyaga chidamliligini, quyish va payvandlash xususiyatlarini, shuningdek, mexanik xususiyatlarini yaxshilaydi. Kichik konsentratsiyalarda (1,5% gacha) u suyuqlik oquvchanligini oshiradi, issiq yoriqlar ehtimolini kamaytiradi va austenit tuzilishini saqlab qoladi, plastiklik va zarbiy qovushqoqlikni yaxshilaydi. Biroq, alyuminiy 2% dan oshganda mo‘rt intermetallidlar, ferrit faza va karbidlar hosil bo‘lishiga olib kelishi mumkin, bu esa po‘latning mexanik xususiyatlari va plastikligini yomonlashtiradi. 110G13L po‘lati tarkibidagi alyuminiyning maqbul miqdori 0,5–1,5% ni tashkil etadi, bu esa eng yaxshi ekspluatatsion xususiyatlarni ta‘minlaydi.

Nikel 110G13L po‘latiga ham ijobiy, ham salbiy ta‘sir ko‘rsatadi. Ijobiy tomonlari shundaki, u past haroratlarda zarbiy qovushqoqlik, plastiklik va mustahkamlikni oshiradi, austenit tuzilishini barqarorlashtiradi, korroziyaga chidamliligini yaxshilaydi va mo‘rt yemirilishga moyilligini kamaytiradi. Ammo nikel miqdori 3% dan ortiq bo‘lsa, po‘latning tannarxini oshirishi, austenitning ortiqcha barqarorlashuviga olib kelishi va abraziv yeyilish sharoitida yeyilishga chidamliligini yomonlashtirishi mumkin. 110G13L po‘lati tarkibidagi nikelning maqbul miqdori 0,5–2,0% ni tashkil etadi, bu esa mustahkamlik, qovushqoqlik va yeyilishga chidamlilik o‘rtasidagi muvozanatni ta‘minlaydi.

Alyuminiy va nikelni birgalikda modifikatsiyalash 110G13L po‘latining bir tekis, mayda donador austenit tuzilishini olish imkonini beradi. Bu uning qovushqoqlik, yeyilishga chidamlilik va mustahkamlik kabi mexanik xususiyatlarini yaxshilashga yordam beradi. Bundan tashqari, alyuminiy va nikel po‘latni parchinlashga chidamli qilib, uni mo‘rtlashdan saqlaydi. Shunday qilib, bu elementlar ushbu po‘latning ekspluatatsion xususiyatlarini oshirish, uning tuzilishi va fazaviy tarkibini yaxshilash uchun optimal modifikatorlardir.

Shunday qilib, laboratoriya sinovlari Al, Al + Ni va Ni ko‘rinishidagi modifikatorli 110G13L po‘lat namunalarini olish va uning materialning tuzilishi va xususiyatlariga ta‘sirini o‘rganish imkonini berdi. Olingan natijalarning tahlili po‘latning mexanik xossalari oshirish va keyinchalik sanoat sinovlarida sinash uchun modifikatorlarning maqbul tarkibini aniqlashga olib keldi. Mexanik sinovlar natijasida olingan ma‘lumotlarga ko‘ra, ~1,5% Al va ~1,5% Al + ~2% Ni modifikatsiyali ikkita po‘lat tarkibi tanlandi. Bir Ni bilan modifikatsiyalash “Olmaliq KMK” AJ sharoitida materialning tannarxi va plastinasimon xususiyatlarining oshishi tufayli maqbul emas, bu esa zarba yuklamalarida salbiy ta‘sir ko‘rsatadi.

Dissertatsiyaning **“Texnologiyani ishlab chiqish va amalda qo‘llash”** deb nomlangan to‘rtinchi bobi “Olmaliq KMK” AJ Markaziy ta‘mirlash–mexanika zavodi Quyuv sexi sharoitida 110G13L po‘latini modifikatsiyalash texnologiyasini ishlab chiqishga bag‘ishlangan bo‘lib, 110G13L modifikatsiyalangan po‘latdan tayyorlangan

yangi ekskavator tishlarining sanoat sinovlari natijalari keltirilgan va sanoat sinovlari ma'lumotlari bo'yicha xulosa qilingan.

"Olmaliq KMK" AJ Markaziy ta'mirlash–mexanika zavodida (MTMZ) ekskavator tishlarini 110G13L po'latidan eritish DSP–3 va DS–5MT turidagi elektr yoyli po'lat eritish pechlarida amalga oshiriladi.

Eritishni boshlashdan oldin pechni tayyorlash, taglikni tozalash, ohak bilan qoplash va bir necha marta qaynatmasdan eritish amalga oshiriladi, so'ngra yumshatilgan qatlam metall qirg'ichlar bilan olib tashlanadi.

Shixta materiallari sifatida quyidagilar qo'llaniladi: po'lat parchalari, ferromarganes, ferrosilitsiy, issiq briketlangan temir va ishlab chiqaruvchi zavodlarning GOST va TM talablariga muvofiq qayta ishlangan cho'yan.

Metallni oksidsizlantirish uchun tegishli hajmda silikokalsiy, ferrosilitsiy, alyuminiy lomlari va ferrotitan ishlatiladi. Yordamchi material sifatida ohak, eruvchan shpat, koks va grafitlangan elektrodlar ishlatiladi.

Eritishda ishlatiladigan barcha materiallar quruq va qolip aralashmasi, qum, o'tga chidamli moddalar va hokazolardan tozalangan bo'lishi kerak. Metall parchalari tarkibida rangli metall parchalari bo'lmasligi, metall parchalari o'lchamlari 600x400x200 mm dan oshmasligi kerak.

Pechni tayyorlashdan so'ng darhol shixta yuklanadi. Yuklashdan oldin poydevorga metall shixta massasining 2–4% miqdorida ohak solinadi. Badyadagi shixta shunday tartibda joylashtiriladi: pastga po'lat qirindisi yoki mayda shixta bo'laklari, keyin yirik va o'rtacha, so'ngra yana mayda bo'laklar qo'yiladi. Bo'laklar nisbati o'lchamlarning kamayishi tartibida 40 – 40 – 20 ni tashkil etadi. Uskunaning umumiy holati va yuklangan material hajmi tekshirilgandan so'ng, elektrodlar tushiriladi va tok beriladi.

Elektrodlar bilan eritish bir necha bosqichda turli tok berish bilan amalga oshiriladi. Eritishning boshida (15–20 daqiqa) transformatorning past bosqichida ishlanadi. Bu yoylarning gumbaz futerovkasiga haddan tashqari issiqlik ta'sirini oldini olish uchun qilinadi, so'ngra to'liq quvvatga chiqiladi. Barcha shixtaning 70–80 foizi transformatorning to'liq quvvatida eritiladi, shundan so'ng kuchlanish ham pasaytiriladi. Eritish paytida shixta ag'darilishining oldini olish va eritishni tezlashtirish uchun qiyaliklardan urib tushiriladi. Ag'darilishlar o'z navbatida elektrodning sinishiga olib kelishi mumkin. Suyuqlanish jarayonida qisman deformatsiya sodir bo'ladi. Eritilgan metallni aralastirish lom bilan amalga oshiriladi. Qoshiq yordamida ish oynasidan yarim masofadagi zonadan stakanga metall namunasi olinadi.

So'ngra oksidlanish jarayoni sodir bo'ladi. Oksidlanish davri eritish davri shlaklarining 65–75% ni siqib chiqarishdan boshlanadi. Quyib olingandan so'ng pechga metall massasiga nisbatan 2–4% ohak va zarur bo'lsa, plavik shpati yoki shamot beriladi. Suyuq harakatchan shlak shakllangandan so'ng metallni 1500 °C gacha qizdirish va "uyum" hosil qilish uchun temir madasi va ohak porsiyalarini kiritish kerak. Pech erigan shlakni o'zi oqib tushishi uchun ishchi oyna tomonga engashtiriladi. Zarur bo'lganda shlakni suyultirish uchun plavik shpati yoki shamot urish usuli qo'llaniladi. Oksidlanish davrining davomiyligi 1 soatdan oshmasligi kerak. qaynashning oxiriga kelib, kamida 1550 °C haroratda uglerod va fosfor miqdorini

tekshirish uchun namuna olinadi. Kerakli kimyoviy tahlil tasdiqlangandan so'ng, oldindan hisoblangan miqdorda ferrosilitsiy bilan dastlabki oksidsizlantirish amalga oshiriladi. Avvalgi bosqichlarda bo'lgani kabi nazorat namuna olish yo'li bilan amalga oshiriladi.

Qaytarilish davri rafinatsiyalash, maydalangan koks va kukunsimon silikokalsiy aralashmasini cho'ktirishdan iborat.

Oldindan hisoblangan miqdorda ferromarganes va ferrosilitsiyning kerakli hajmi kiritiladi, bunda marganes miqdori 13% va kremniy miqdori 0,4–0,6% ni tashkil etadi. Shuningdek, har bir qo'shimchadan keyin aralashmani skrebkalar bilan yaxshilab aralashtirish kerak. Oksidsizlantirilgan shlak oxir–oqibat sovish paytida havoda oksidsizlantirilishi va oq kukunga aylanishi kerak. Metallni oq shlak ostida kamida 30 daqiqa ushlab turish kerak. Kimyoviy tahlildan so'ng eritmani kerakli miqdordagi komponentlar miqdoriga to'g'rilanadi.

Eritmani chiqarish 1480 °C dan yuqori bo'lmagan haroratda cho'michga ajratilgan chiqarish teshigi orqali amalga oshiriladi. Po'latni oxirgi oksidsizlantirish va modifikatsiyalash uchun cho'mich hajmining 1/3 qismi to'ldirilgandan so'ng, oldindan hisoblangan miqdordagi alyuminiy metall oqimi ostida cho'michga uzatish kerak. Qo'shiladigan alyuminiyning massasini hisoblash texnolog tomonidan yakuniy eritmada alyuminiyning kerakli miqdoriga (~1,5% mass.) erishish uchun amalga oshiriladi. Kimyoviy tahlil uchun namunani o'lchash bevosita kimyoviy tahlil uchun mo'ljallangan cho'michdan amalga oshiriladi. Metallni eritish uchun sarflangan umumiy vaqt 3 soatdan ortiqni tashkil qiladi.

Turli o'qli, mayda donali tuzilishning shakllanishi, quymalarda transkristallanishning yo'qligi yeyilishga chidamlilikda yuqori mexanik xususiyatlarni olish uchun hal qiluvchi ahamiyatga ega. Po'lat quyishning quyidagi harorat rejimlariga rioya qilish majburiydir (cho'ktirish harorati bo'yicha).

Yuqori harorat yirik karbidlarning kristallanishida po'latning cho'kishiga va issiq yoriqlar hosil bo'lishiga yordam beradi. Po'latni shakllar bo'yicha quyish harorati quymalarning xususiyatlarini belgilovchi eng muhim omillardan biridir. Agar quyishdan so'ng cho'michda 15–30 mm qalinlikdagi skrapina qolsa, quyish harorati normal hisoblanadi, bu po'lat quyuvchi tomonidan vizual ravishda aniqlanadi.

1–Jadval

Quymalarni ushlab turishning harorat oralig'i

Uskuna bo'yicha harorat, °C	1420	1430	1440	1450	1460	1470	1480	1490	1500
Ushlab turish vaqti, min	2	3	4	5	6	8	10	12	14

Metall pechdan chiqarilgandan so'ng, metallning harorati cho'michda cho'ktirish termopara bilan po'lat quyuvchi yoki uning yordamchisi tomonidan usta, STK nazoratchisi ishtirokida o'lchanadi. Ikkilamchi asbobga ulangan termometrning ko'rsatishi va ushlab turish suyuqlantirish jurnaliga yozib boriladi. Metallni kovshda

tutib turish 1–jadvalga muvofiq bajariladi. Suyuqlanmaning harorati 1500°C dan yuqori bo‘lganda qoliplarni quyish masalasi quymalarning nomenklaturasi, og‘irligi va toifasiga qarab sex boshlig‘i yoki po‘lat eritish uchastkasining katta ustasi yoki quyish sexi texnologining STK bilan kelishgan holda hal qiladi.

MTMZ da quymalarga issiqlik bilan ishlov berish ikki xil o‘lchamli davriy ishlaydigan termik pechlarda amalga oshiriladi. Ikkala pech uchun ham yoqilg‘i sifatida tabiiy gaz xizmat qiladi. Shuningdek, har birining o‘ziga xos xususiyati, gabarit va taglik maydonidan tashqari, metallning qizish harorati 880–1100°C.

Gadfield po‘lati quyma holatda yoriqlar hosil bo‘lishiga juda moyil. Po‘lat issiqlikni yomon o‘tkazadi va qolipga quyilgandan keyin sekin soviydi. Metall bir jinsli bo‘lmaganligi uchun mo‘rtligi yuqori bo‘ladi. Bu xususiyatlar quymalarni termik ishlov berishdan oldin sovitish, urib chiqarish va kesishda hisobga olinishi kerak.

Qoliplar suyuq metall bilan to‘ldirilgandan so‘ng, quyma devorining qalinligiga qarab, quyma massalari tinch qotguncha quyish joyida qolishi kerak.

Doimiy qoliplar – kokillarga quyilgan quymalar (konusli maydalagichlarning zirhlari) quyilgandan so‘ng 15–20 daqiqa o‘tgach, albatta bo‘shatiladi va kokilda to‘liq soviguncha qoldiriladi.

Quymaning tinch qotishi uchun zarur bo‘lgan vaqt o‘tgach, opokalar quyish maydonchasidan keyinchalik sovitish uchun mo‘ljallangan joylarga olib qo‘yiladi. Quymani sovutish vaqti quymaning massasiga bog‘liq bo‘lib, kamida 1 soat davom etadi.

Quymalarni qolipdan chiqarish faqat to‘liq sovish vaqti o‘tgandan so‘ng amalga oshiriladi. Payvandlar va quymalar gaz–kislorodli kesish bilan olib tashlanadi.

Po‘lat quymalarga termik ishlov berish quymalarning yakuniy xususiyatlariga ta’sir qiluvchi eng muhim jarayonlardan biridir. Bu holat strukturaning qotish jarayoni va kimyoviy tarkibiga bog‘liqligi bilan izohlanadi. Dendridlarning ajralishi, donalarning yirik o‘lchamlari va notekis tuzilishi po‘latga termik ishlov berishda o‘z yechimini topadi va ta’sirini kamaytiradi.

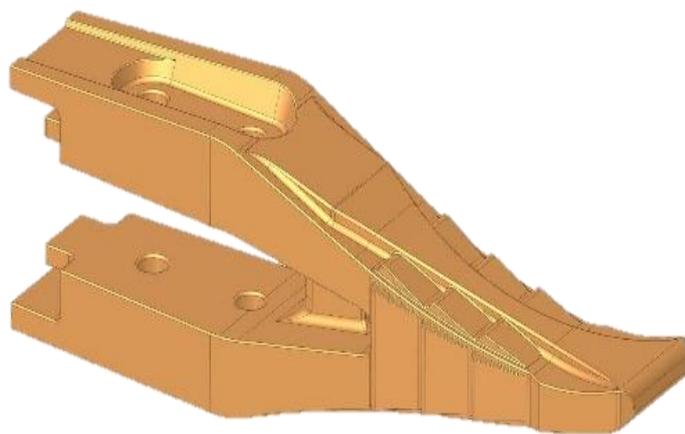
Quyilmalar tozalangandan so‘ng pech tubidagi tumbaga o‘rnatilgan panjaraga joylashtiriladi. Quymalarni shunday joylashtirish kerakki, bir tekis qizishi va tob tashlamasligi ta’minlansin. Quyma pechga pech ichida 200–300 °S dan yuqori bo‘lmagan haroratda quyiladi.

110G13L po‘latidan tayyorlangan quymalar devor qalinligiga qarab turli rejimda termik ishlov beriladi.

Toblash vannani 20°C gacha sovigandan so‘ng amalga oshiriladi. Qalinligi 200 mm gacha bo‘lgan quymalar uchun rejim davomiyligi 15 soatni, qalinligi 200 mm dan ortiq bo‘lgan quymalar uchun rejim davomiyligi 20 soatni tashkil etadi. Saqlash jarayoni tugagandan so‘ng, sovuq oqar suvda toblash o‘tkaziladi, bunda toblash jarayonida suvning harorati 40°C dan oshmasligi kerak.

Vannada qoqilgan suvga barbotajni ta’minlash uchun havo yuborilishi kerak. Quymalarni to‘liq soviguncha vannada ushlab turish kerak. Toblash jarayoni tugagandan so‘ng quymalar termik kesish bo‘limiga o‘tkaziladi.

Yuqorida keltirilgan mexanik sinovlar asosida ekskavator tishlarining 5 ta tajribaviy eritmalari o‘tkazildi va tishlarning sanoat sinovlari uchun Qalmoqqir RB ga topshirildi.



2–rasm. Yangi konfiguratsiyali EKG–15 ekskavatori tishining 3D modeli

Ekskavator tishlarining 5 ta eksperimental eritmasidan tarkibida Al (1,37% va 1,6% massa) boʻlgan 2 ta tish toʻplami, Al+Ni qoʻshilgan 1 ta tish toʻplami, “Texnologiya” NPP kompaniyasining Insteel modifikatori qoʻllanilgan 1 ta tish toʻplami, 110G13L poʻlatdan yasalgan yangi shakldagi ekskavator tishlarining 1 ta toʻplami (2–rasm), shuningdek, ekskavatorning standart tishlarining ishlashi tahlil qilindi.

Olingan ekskavator tishlarining kimyoviy tarkibi 2–jadval koʻrinishida keltirilgan.

2–Jadval

Eksperimental ekskavator tishlarining kimyoviy tarkibi

Nomi	C	Si	Mn	Ni	Cr	P	S	Ti	Al
Standart	0,9	0,4	14,0	0,5	1,0	0,12	0,03	0,05	0,004
1,6% Al	0,84	0,42	14,32	0,65	0,82	0,067	0,019	0,08	1,66
Al va Ni	0,77	0,83	14,35	2,93	0,66	0,061	0,022	0,06	1,53
Krokodil	0,89	0,35	13,47	0,12	0,7	0,04	0,017	0,002	0,11
1,3% Al	0,9	0,42	14,86	0,09	0,52	0,063	0,015	0,02	1,37
Insteel	0,88	0,16	12,3	0,12	0,66	0,071	0,016	0,016	0,25

Sinash vaqtida tishlarning yeyilishini oʻlchash uchun asosiy yeyilish koʻrsatkichi sifatida ekskavator tishlarining ishchi deb ataluvchi tumshuq qismining uzunligi qabul qilingan. Ushbu koʻrsatkich ekskavator mashinistlari tomonidan tishlarni almashtirishni hal qilishda mezon hisoblanadi. Ekskavatorning standart tishlarining yeyilishini monitoring qilish doirasida 110G13L poʻlatdan tayyorlangan ekskavatorning 3 ta standart tishlari toʻplami tajriba tishlari bilan taqqoslash uchun tahlil qilindi. Olingan unumdorlik koʻrsatkichlari chuqur tahlil qilindi va natijaviy 3–jadval koʻrinishida iqtisodiy hisob–kitoblar bilan keltirildi.

**110G13L po‘latini modifikatsiya qilish bo‘yicha o‘tkazilgan
sinovlar natijalari**

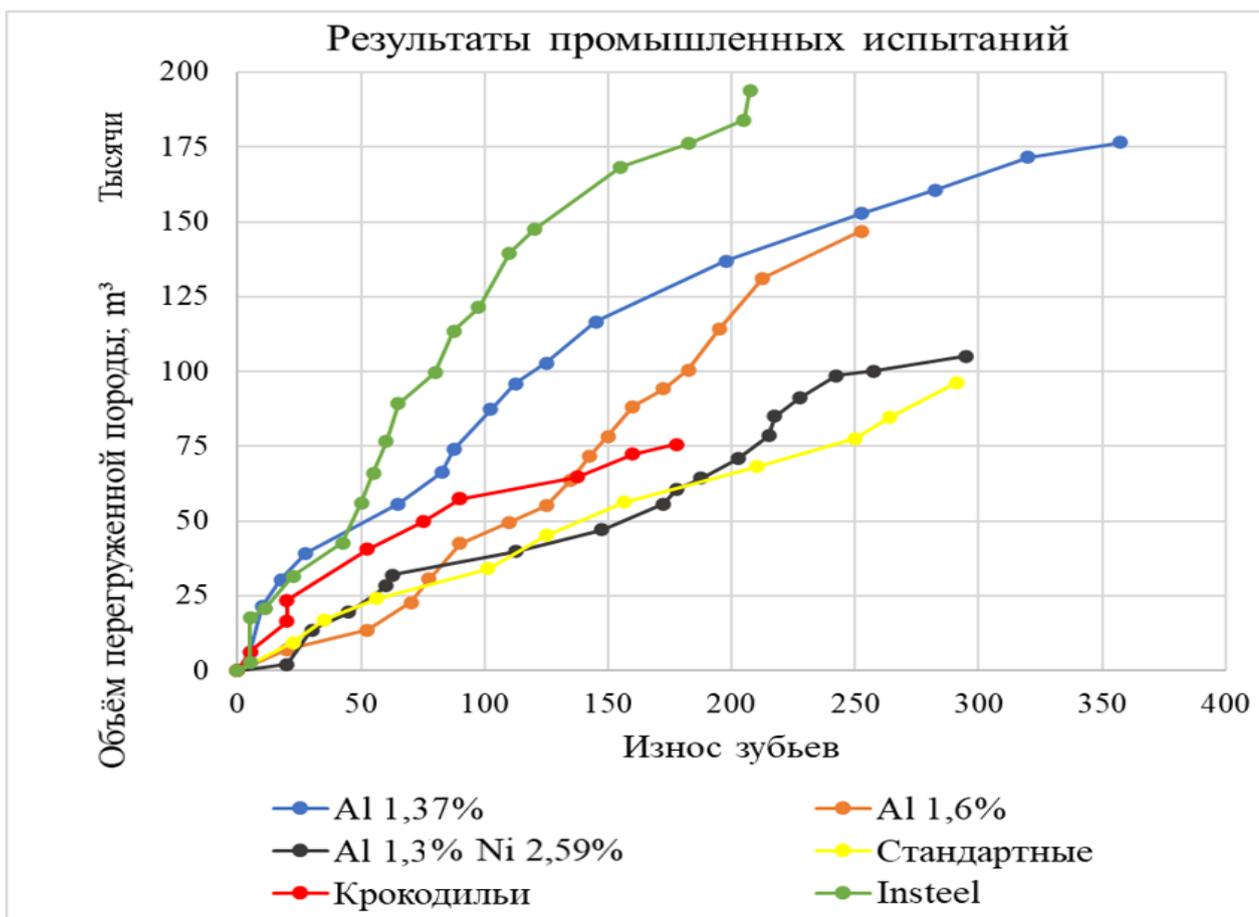
Ko‘rsatgichlar	110G13L	Al (1,37%)	Al (1,6%)	Al +Ni (1,53% +2,93%)	Krokodil	Insteel
Tishlar uzunligining o‘rtacha qoldig‘i (L)	239	198	297	282	324	338
yuklangan ma‘dan hajmi (V); ming m ³	110	176	146	105	76	193
L/V nisbati 100 ming m ³ bo‘lganda	222,3	112,4	203,4	268,6	428,3	174,5
Unumdorlikning o‘zgarishi	0	+60%	+33%	-5,5%	-31%	+75%
1 dona tish tannarxi; mln so‘m	7,71	7,99	8,17	18,35	7,63	9,41
Tannarx o‘zgarishi	0	+3,6%	+5,9%	+138%	-1%	+22%

*Jadvalda keltirilgan narx hisob–kitoblari MTMZ xodimlari tomonidan tuzilgan va boshqa tashkilotlar tomonidan iqtisodiy hisob–kitoblar uchun ishlatilishi mumkin emas.

Ishlab chiqarish sharoitida elementlar tarkibida aniq natijalarga erishish qiyin, shuni hisobga olgan holda, alyuminiy modifikator sifatida qo‘shilgan holda 2 ta sanoat sinovi o‘tkazildi, keyin ushbu ikki sinov natijalari o‘rtacha qiymatga keltirildi. Boshqa olimlarning tajribalariga ko‘ra, po‘lat tarkibiga qo‘shimcha modifikator sifatida nikel qo‘shish uning mexanik xususiyatlarini yaxshilashi kerak, ushbu nazariyani tekshirish uchun 110G13L po‘latiga alyuminiy bilan birgalikda modifikator sifatida 3% massa gacha nikel qo‘shishga qaror qilindi. Bunday qaror tishlarning narxini keskin oshirdi, ammo oxir–oqibat samaradorlikka ta’sir qilmadi. Krokodil shaklidagi tishlarning past narxi ularning kamroq og‘irligi bilan tarmog‘i, past samaradorlik esa sanoat sinovlarining to‘xtatilishi bilan tarmog‘i. Rossiyaning “Texnologiya” NPP kompaniyasi birgalikda sinovlar o‘tkazish uchun o‘zining Insteel modifikatorini taklif qildi, natijada tishlarning samaradorligi 75% ga oshdi, ammo yakuniy hisob–kitoblarga ko‘ra, ushbu modifikatorning narxi tishlarning tannarxiga ta’sir qildi, transport xarajatlarini hisobga olmaganda 22% ga oshdi. Olingan natijalarni solishtirib, alyuminiy modifikator sifatida 2% massa gacha qo‘llashning foydaliligi haqida qaror qabul qilindi, bunday ruxsat aniq natijalarga erishish va “Olmaliq KMK” AJ MTMZ quyish sexi sharoitlari bilan tarmog‘i.

Yeyilish tendensiyasini ko‘rsatish va har bir eksperimentda potentsialini aniqlash uchun tishlarining yeyilish hajmi va ortilgan ma‘dalarning hajmi tarmog‘ilik grafigi yaratildi (3–rasm).

Ushbu grafikga ko‘ra, krokodil shaklidagi yangi konfiguratsiyadagi tishlar potentsialga ega, bu tishlarning yangi shakli haqidagi mulohazalarni tasdiqlaydi.



3–rasm. Ekskavator tishlarining burun qismining yeyilish grafigi

Taqqoslash uchun, tishlarning burun qismi 250 mmga yeyilishigacha yuklangan ma'da hajmi har bir eksperimental tishda farq qiladi, bu 4–jadvalda yaqqol ko'rsatilgan.

4–Jadval

EKG–15 ekskavator tishlarining 250 mmga yeyilishigacha yuklangan ma'dan hajmi

Ko'rsatgich	Standart	Al 1,6%	Al 1,37%	Al + Ni (1,3% +2,93%)	Insteel
Ma'dan hajmi; m ³	77 520	146 860	152 720	100 200	184 000

Olingan ma'lumotlarga ko'ra, alyuminiyni modifikator sifatida ~1,5% massa miqdorida qo'llash tishning burun qismi 250 mmga yeyilganida samaradorlikni 90% dan ortiq oshiradi. Alyuminiy va nikelni modifikator sifatida qo'llash standart tishlarga nisbatan yeyilish ko'rsatkichi bilan 25% ko'proq ma'dan hajmini oshirdi. Insteel modifikatori samaradorlikka eng katta ta'sir ko'rsatdi, yangi shakldagi (krokodil) tishlar esa jadvalda hisobga olinmadi. Buning sababi yuqorida tavsiflangan sharoitlar tufayli yeyilishning 250 mm darajasiga yetmaganligidir.

Tishlar burun qismining kritik uzunligi 310 mm ga yetgandan so'ng,

3537.00.00.000RK defektatsiya kartasiga muvofiq, yangi tishlarni olish uchun qayta eritishga yuboriladi. Misol uchun, burun qismi uzunligi 210 mm va og'irligi 273 kg bo'lgan EKG–15 ekskavator tishi tortildi. Ishlatilgan tishning qoldiq og'irligi dastlabki og'irlikning 66% ni tashkil qiladi.

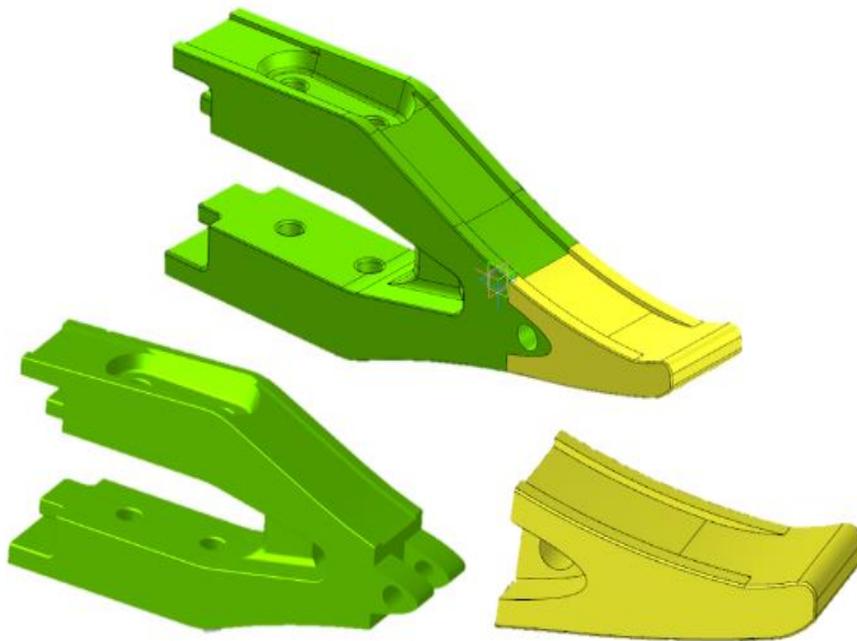
Barcha ma'lumotlarni tahlil qilgandan so'ng, "Olmaliq KMK" AJ korxonalarida yeyilish ta'siriga uchraydigan detallarda, xususan, ekskavator tishlarida alyuminiy (Al <2% massa) modifikator sifatida qo'llashni ishlab chiqarishga joriy etildi.

"Olmaliq KMK" AJ MTMZ tegishli bo'linmalarining hisob–kitoblariga ko'ra, joriy etishdan kutilayotgan samaradorlik 4,5 ming tonna tayyor mahsulotni tejashni ta'minlaydi, bu 82,35 milliard so'mga teng, qo'shimcha legiruvchi elementlarni tejash esa yiliga 165 million so'mni tashkil etadi. Ushbu ko'rsatkichlar joriy etish to'g'risidagi ma'lumotnomada keltirilgan.

O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligining intellektual mulk elektron davlat xizmatlari portali orqali 2023 yil 29 sentyabrda "110G13L marganetsli po'latni metall alyuminiy bilan modifikatsiya qilish" foydali modeliga patent arizasi berildi, № FAP 2024.0086, ushbu ariza ko'rib chiqilmoqda.

Yangi shakldagi ekskavator tishlarining sanoat sinovlari natijasida tishlarning samaradorligini oshirish va resurslarni tejash bo'yicha qo'shimcha chora sifatida yangi istiqbolli tarkibiy model aniqlandi.

Dunyo bo'ylab tog'–kon ekskavatorlari uchun tarkibiy qismlar ishlab chiqaruvchi yetakchilarning tendentsiyalari va nomenklaturasini o'rganib, KOMPAS–3D dasturida ekskavator tishining yangi modeli qo'shimcha ravishda modellashtirildi, u ham adapter va tojdan iborat (4–rasm).



4–rasm. Taklif etilayotgan Ajratib olinadigan koronkali ekskavator tishining yangi modeli

Ushbu yechim quyidagi afzalliklarga ega:

- Tojni adapterga joylashtirish joyida novda orqali oson amalga oshiriladi;
- Tishlarning yig'ilgan shakli MTMZ quyish stexida EKG–15 ekskavatori

uchun mavjud quyma shaklini to'liq takrorlaydi;

- Tojning o'lchami va massasi tishlarni almashtirishni osonlashtiradi;
- Kirish qobiliyatini yaxshilash uchun yangi toj shakllarini qo'llash va ishlab chiqish imkoniyati;
- Turli materiallardan foydalanish hisobiga ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish imkoniyatini yaratadi;
- Yangi shakldagi tishlarni quyish dunyo tendentsiyalariga mos keladi.

Ushbu texnologik yechim ishlab chiqish bosqichida. Yechimni ishlab chiqish va joriy etishning keyingi bosqichlari ishlab chiqilganlik darajasiga bog'liq.

XULOSA

1. Kuchli abraziv yeyilish va davriy yuklanishlar sharoitida ekskavator tishlarining samarali ishlashi uchun zarur bo'lgan mexanik xususiyatlarning eng maqbul uyg'unligiga erishishni ta'minlaydigan 110G13L markali po'latini alyuminiy bilan modifikatsiyalash texnologiyasi ishlab chiqildi va asoslandi.

2. 110G13L markali po'latining mikrostrukturasi va fazaviy tarkibiga alyuminiyning ta'siri, maydaroq strukturaning shakllanishi, austenit matritsasining bir xilligini oshirishi va donadorlik chegara sohalarini mustahkamlashda namoyon bo'lishi aniqlandi.

3. Modifikatsiyalangan po'latning mexanik xususiyatlari asosiy tarkibga nisbatan sezilarli darajada yaxshilanganligi: zarbaga chidamliligi (KCU) 40% ga, Brinell bo'yicha qattiqligi (HBR) 60% ga, mustahkamlik chegarasi (σ) 70% ga oshganligi aniqlandi.

4. Qalmoqqir konida bevosita o'tkazilgan modifikatsiyalangan ekskavator tishlarining sanoat sinovlari, ekskavator tishlarining ish unumdorligini 35% dan ziyod oshganligini va tishlarning yeyilish tezligi sezilarli darajada pasayganligi asoslandi.

5. 110G13L markali po'latini alyuminiy bilan legirlashning ishlab chiqilgan texnologiyasini tog'-kon sanoatida qo'llaniladigan ekskavator tishlarini sanoat miqyosida ishlab chiqarishga joriy etish tavsiya etildi.

6. Ekskavatorning jadal yemirilish sharoitida ishonchliligi va chidamliligini oshirish imkonini beradigan po'latini aluminiy bilan modifikatsiyalash usulini qo'llash taxminan 888,4 million so'm yoki 185 tonna tayyor mahsulot miqdorida iqtisodiy samara berishi hisoblandi.

7. Ekskavator tishlarining shaklini optimallashtirish orqali ish unumdorligini oshirish va turli sharoitlarga mos keladigan tish turlarini ko'paytirish modifikatsiyalangan po'latdan yuqori mustahkamlikdagi detallar tayyorlashning jahon sanoati uchun alohida ahamiyatga ega ekanligi ko'rsatildi.

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

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени ИСЛАМА КАРИМОВА**

АЛИЕВ ХАКИМ БОХОДИР УГЛИ

**ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗУБЬЕВ
ЭКСКАВАТОРА ИЗ СТАЛИ 110Г13Л ИСПОЛЬЗУЕМЫХ НА
КАЛЬМАКЫРСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ, ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ
ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА**

05.02.01 – «Материаловедение в машиностроении. Литье. Термическая обработка металлов давлением. Металлургия черных, цветных и редких металлов»

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА
ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

ТАШКЕНТ – 2025

Тема диссертации доктора философии по техническим наукам (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2025.2. PhD/Т3474

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова.

Автореферат диссертации на трех языках (русском, узбекском, английском (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.tdtu.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Научный руководитель: **Жумаев Элёржон Эркин угли**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Усманкулов Орифжон Назиралиевич**
Доктор философии по техническим наукам (PhD)

Дуняшин Николай Сергеевич
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация: **Ферганский государственный технический университет**

Защита диссертации состоится «4» декабря 2025 года в 16⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.03.04 при Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова в городе Ташкенте (Адрес: 100095, город Ташкент, Мирзо Алмазарский район, Университетская улица, 2. Тел/факс: (99871) 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре при Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова (зарегистрирована за № 5 5). Адрес: 100095, город Ташкент, Мирзо Алмазарский район, Университетская улица, 2. Тел/факс: (99871) 227-10-32.

Автореферат диссертации разослан “21” ноября 2025 года. (протокол реестра рассылки № 200 от “21” ноября 2025 года).

К.А.Каримов
Председатель Научного совета
по присуждению ученых степеней,
д.х.н., профессор

Ш.Б. Ташбулатов
Ученый секретарь Научного совета
по присуждению ученых степеней,
д.т.н., доцент

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

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (Phd)) **Актуальность и востребованность темы диссертации.**

В мире металлургическая промышленность является одной из ключевых отраслей в развитии экономики. Спрос на сталь превышает 150 миллионов тонн в год, что играет важную роль в повышении качества деталей новых современных машин и механизмов, а также в совершенствовании инновационных технологий. В связи с этим большое значение имеет внедрение инновационных технологий, направленных на улучшение физико–механических и эксплуатационных свойств зубьев экскаваторов, изготовленных из стали марки 110Г13Л, используемых при добыче руд, путем изменения их химического состава. Кроме того, важно повышение эффективности техники, используемой при извлечении металлов из руд путем их переработки, и снижение негативного воздействия на окружающую среду.

В мире повышение работоспособности и эффективности горных экскаваторов, являющихся основной техникой при добыче, дроблении и погрузке на транспортные средства руд горнодобывающей промышленности, улучшение качества и повышение долговечности рабочих органов экскаваторов, определение способов изготовления зубьев экскаваторов из специальных сталей и выявление механизмов физико–химических и механических процессов, происходящих в процессе производства, а также разработка новых научно–технических решений автоматизированных технических средств считаются приоритетными направлениями. В связи с этим особое внимание уделяется внедрению инновационных технологий с соблюдением экологических норм, обеспечению высокого качества работы экскаваторов и экономии энергии и ресурсов, разработке энерго– и ресурсосберегающих технических средств, а также разработке их технологических процессов, параметров и режимов работы.

В Узбекистане в горнодобывающей промышленности в основном используется открытый метод добычи сырья, в процессах эксплуатации горнодобывающих экскаваторов проводятся широкомасштабные мероприятия по повышению износостойкости зубьев, устанавливаемых на ковшах экскаваторов, снижению трудовых и энергетических затрат при обеспечении металлургических предприятий необходимым сырьем, улучшению механических свойств зубьев экскаваторов в соответствии с государственными стандартами и предоставлению возможностей для ресурсосбережения, разрабатываются современные техника и инновационные технологии, и достигаются определенные результаты. В Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы определены важные задачи по «...продолжению промышленной политики, направленной на обеспечение устойчивости национальной экономики и увеличение доли промышленности в валовом внутреннем продукте, а также увеличение объемов производства промышленной продукции...». В реализации этих задач, в частности, большое значение имеет достижение улучшения механических свойств зубьев экскаваторов, используемых на месторождении Калмокир АО “Алмалыкский ГМК”, путем изменения химического состава материала, из которого они

изготовлены.

Данное диссертационное исследование в значительной мере способствует реализации задач, определенных в Указах Президента Республики Узбекистан от 29 октября 2020 года № ПФ–6079 «О мерах по ускоренному развитию промышленности и повышению ее конкурентоспособности», от 1 марта 2022 года № ПФ–6328 «О мерах по поддержке и развитию научно–исследовательской деятельности», в Постановлении от 6 июля 2022 года № ПП–307 «Об организационных мерах по реализации стратегии инновационного развития Республики Узбекистан на 2022 – 2026 годы», а также в других нормативно–правовых актах, относящихся к данной деятельности.

Соответствие исследования основным приоритетным направлениям развития науки и технологий в республике.

Исследования, выполненные в рамках диссертационной работы, соответствуют приоритетным направлениям развития науки и технологий республики II «Энергетика, энерго– и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы.

Ученые из различных зарубежных стран мира ведут работы по эффективному улучшению свойств стали из которых отливаются износостойкие части различных машин и оборудования. Такие ведущие ученые мира как: Najafabadi V., Zhuang W., Çakir O., Sabzi M, Feng X. Rama S. и другие проводили работы по повышению механических свойств высокомарганцевой стали. В результате их проведенных исследований высокомарганцевая сталь в значительной степени повышала свои механические свойства. Quanshun L., Nam N., Manjunatha M., Ulrich P., Pham M. и другие, приведенные в работе, ученые проводили научные исследования по модифицированию и микролегированию высокомарганцевой стали, в результате чего добились повышения различных механических показателей материала.

Такие же аналогичные работы проводились и учеными из СНГ включая Узбекистан: Касимгазинов А., Зудова М., Розум В., Слуцкий А., Завялов В. Вдовин К., Горленко Д., Песин А., Яценко Н., Шрамко М., Мохтар Б., Нурумгалиев А., Атажанов Г., Тураходжаев Н., Норхуджаев Ф. и другие, где детально проверялись следственные причины влияния содержания как легирующих элементов, так и добавочных.

Не смотря на множества научных работ и достижений в области повышения механических свойств стали, нет универсального решения удовлетворяющий всем условиям имеющимся на местах производства. Для решения вопроса повышения механических свойств сталей, из которых отливаются износостойкие детали и узлы различного типа оборудования, необходимо отталкиваться от условий каждого предприятия и состава легирующих элементов индивидуально.

Связь темы диссертации с научно–исследовательскими работами высшего учебного учреждения, где выполняется диссертация.

Диссертационное исследование выполнено в рамках практического проекта № FL-7923051900 Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова на тему: «Разработка закономерностей

структурно-фазовых изменений при насыщении низколегированных конструкционных сталей и сплавов атомами азота и углерода с целью повышения их износостойкости и коррозионной стойкости».

Целью исследования является повышение механических свойств зубьев экскаваторов марки 110Г13Л, используемых на месторождении Кальмакыр, путем изменения их химического состава, а также дальнейшее совершенствование технологий модификации износостойких сталей.

Задачи исследования:

исследования технологий модифицирования высокомарганцевой стали с добавлением алюминия и никеля;

анализ фактов, влияющих на структуру и свойства материала;

исследование влияния содержания легирующих элементов на механические свойства стали 110Г13Л;

анализ тенденций развития модифицирования и легирования высокомарганцевых сталей, проведение лабораторных испытаний и анализ результатов;

проведение полупромышленных испытаний, анализ полученных результатов и определение экономической эффективности технологии.

Объект исследования.

Зубья экскаватора из стали 110Г13Л, химический состав, механические свойства, существующая технология литья стали и условия эксплуатации зубьев на Кальмакыр.

Предметом исследования являются аналитические зависимости, описывающие процесс повышения механических свойств зубьев экскаватора путем изменения химического состава материала, используемого при их изготовлении, а также параметры устройства, режимы работы, показатели и закономерности их изменения.

Методы исследования.

В ходе исследования применялись современные методы физико-химического анализа, в том числе ИК-спектроскопия, электронная микроскопия, рентгеновская дифракция (XRD) и сканирующая электронная микроскопия (SEM), а также методы статистической и математической обработки результатов.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработан оптимальный химический состав стали марки 110Г13Л с целью улучшения ее легирующих свойств путем введения в состав до 2% алюминия;

обосновано, что добавление алюминия в разливочный ковш при выпуске стали из печи, способствует практически полному участию марганца в качестве легирующего элемента в стали, экономии расхода ферромарганца, а также экономии 4,5 тыс. тонн готовой продукции;

установлено, что в результате химического модифицирования стали марки 110Г13Л алюминием повышается жидкотекучесть расплава, а за счет формирования более тонкой дендритной структуры литого металла его коррозионная стойкость и прочность на разрыв увеличиваются в 2 раза;

обосновано, что введение алюминия в качестве модификатора в состав стали 110Г13Л, повышает твердость стали (по Бринеллю) на 60%, ударную вязкость (КСУ) — на 40%, а формирование стали с разноосная (разноориентированной), мелкозернистой структурой и отсутствие транскристаллизации в отливках способствуют повышению высоких механических свойств износостойкости;

разработаны режимы новой ресурсосберегающей технологии по модифицированию стали марки 110Г13Л, используемой при изготовлении зубьев экскаватора: определено, что температура плавления металла составляет 1480 °С, общее время плавки — 3 часа, а содержание алюминия составляет до 2%.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

установлено, что эксплуатационная производительность (наработка) зубьев экскаватора, отлитых с добавлением Al в качестве модификатора, увеличилась на 60 тыс. м³ по сравнению с обычными зубьями;

обосновано, что в результате модифицирования стали алюминием, достигается экономия ферромарганца ФМн95, используемого в качестве легирующего элемента и раскислителя стали, а также экономия 4,5 тыс. тонн готовой продукции.

Достоверность полученных результатов.

Достоверность результатов исследования обосновывается проведением изысканий с использованием современных методов и средств измерений, взаимным соответствием теоретических и экспериментальных исследований, положительными результатами испытаний зубьев экскаватора, разработанных на основе проведенных исследований, и их внедрением в практику.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования объясняется выявлением механизмов физико-механических процессов, происходящих при производстве зубьев экскаватора из химически модифицированной стали марки 110Г13Л, а также обоснованием химического состава, технологических параметров и режимов работы, обеспечивающих требуемое качество функционирования рабочих органов горнодобывающих машин.

Внедрение результатов исследования.

На основе полученных результатов по улучшению механических свойств зубьев экскаватора, изготовленных из стали марки 110Г13Л и используемых на руднике Кальмакыр, путем изменения их химического состава:

зубья экскаватора, изготовленные из модифицированной стали марки 110Г13Л, внедрены в практику на Центральном ремонтно-механическом заводе, производящем зубья для рудника Кальмакыр (справка АО «Алмалыкский ГМК» №09-24/42-00018 от 4 сентября 2024 года). В результате достигнута возможность повышения механических свойств и износостойкости зубьев экскаватора до 2 раз;

технология модифицирования стали марки 110Г13Л внедрена в практику на «Центральном ремонтно-механическом заводе» при АО «Алмалыкский ГМК» (справка АО «Алмалыкский ГМК» №09-24/42-00018 от 4 сентября 2024

года). В результате это позволило увеличить объем погруженной руды на 60 тыс. м³ по сравнению с обычными зубьями.

Апробация работы.

Основные положения диссертации прошли обсуждение на 7 международных и 3 республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано всего 14 научных работ, из которых 4 статьи в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, в том числе 2 в республиканских и 2 в зарубежных журналах, а также имеется 1 заявка на патент на полезную модель.

Опубликованность результатов диссертации. По теме диссертации опубликовано всего 14 научных работ, из которых 4 статьи в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, в том числе 2 в республиканских и 2 в зарубежных журналах, а также имеется 1 заявка на патент на полезную модель.

Структура и объем диссертации. Структура диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 118 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы исследования, цель и задачи, объект и предмет исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, изложена научная новизна и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, приведены сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации, названная **«Анализ эксплуатационных характеристик и причин износа зубьев экскаватора»** – представлен обзор зубьев экскаваторов, используемых на месторождении Кальмакыр АО «Алмалыкский ГМК» а именно на Центральном ремонтно–механическом заводе АО «Алмалыкский ГМК» (рисунок 1). Особое внимание уделяется карьерным экскаваторам, которые играют важную роль в добыче полезной породы. Даны характеристики горных экскаваторов, используемых на центральном карьере месторождения Кальмакыр.

Рассмотрены различные типы распространенных горных экскаваторов, их назначение и особенности. Отмечено, что зубья ковша подвергаются значительным ударным нагрузкам и силам сопротивления, что приводит к их износу.

В главе также обсуждаются факторы, влияющие на износ зубьев, такие как размер породы, угол проникновения зубьев и скорость. Это подчёркивает необходимость поиска способов увеличения срока службы зубьев и других деталей экскаватора. Одним из возможных решений является изменение

химического состава материала, из которого изготовлены зубья. Это позволит увеличить их прочность и износостойкость.

Рассматриваются тенденции в области разработки и изготовления зубьев, а также их влияние на производительность экскаваторов и затраты на техническое обслуживание.

Особое внимание уделяется изменению химических свойств материала, из которого изготавливаются зубья, с целью увеличения их срока службы и коэффициента износа. Описываются различные типы зубьев, их конструкции и области применения, а также их роль в повышении эффективности добычи руды и сокращении времени простоя экскаваторов. Также в главе представлены различные виды коронок зубьев, их особенности и преимущества, а также методы отливки зубьев на производстве.



Рисунок 1. Зубья экскаваторов ЭКГ, отливаемые в ЦРМЗ АО «Алмалыкский ГМК», установленные в ковш.

Рассмотрены современные аспекты производства стали 110Г13Л, также известной как сталь Гадфильда. Эта высокомарганцевая аустенитная литейная сталь обладает уникальными свойствами, которые делают её идеальной для деталей, испытывающих высокие требования к истиранию, ударной вязкости и пластичности.

Были описаны различные виды литейных технологий, используемых в современной промышленности, включая литьё в песчаные формы, непрерывное литьё, литьё по газифицируемым моделям, литьё в оболочковые формы, литьё под давлением, центробежное литьё, кокильное литьё и литьё металлов по выплавляемым моделям. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки, и выбор конкретного метода зависит от требований к детали и

условий производства.

Таким образом, данная глава обосновывает актуальность проблемы износа зубьев экскаваторов и необходимость поиска путей её решения. Она также определяет направление дальнейших исследований и разработок в этой области.

Во второй главе **«Методика повышения механических свойств стали 110Г13Л и выбор объектов исследования»** рассматривается выбор и обоснование объектов исследования включая характеристики материала (стали 110Г13Л), опыты модифицирования зарубежными учеными, влияния основных элементов и примесей на свойства стали и описанию методов и условий модифицирования высокомарганцевой стали.

Благодаря своим свойствам, в АО «Алмалыкский ГМК» из стали 110Г13Л отливают различные детали для дробилок и экскаваторов. Для повышения износостойкости отлитых деталей возможно легирование в малых дозах некоторыми парамагнитными элементами или же его модифицирование, так как обработка поверхности несет временный характер и требует очень многих энергозатрат.

Также были рассмотрены свойства и структура стали 110Г13Л в соответствии с ГОСТами и зарубежными аналогами. Были описаны характеристики и применение стали Гадфильда, а также перечислены детали, отлитые из этой стали, которые используются в различных подразделениях АО «Алмалыкского ГМК».

Исходя из общепринятых законов и свойств металлов рассмотрены и сделаны выводы о влиянии легирующих элементов на механические свойства стали. Определены перспективные модификаторы, оптимально подходящие для условий АО «Алмалыкского ГМК». Также описаны методы и приведены расчетные формулы для определения массовой доли применяемого модификатора.

В целом, сталь 110Г13Л является важным материалом для производства деталей, испытывающих высокие требования к износу, ударной вязкости и пластичности. Современные аспекты производства этой стали позволяют получать высококачественные детали с улучшенными свойствами и характеристиками.

Третья глава **«Исследования технологии модифицирования стали. Проведение лабораторных испытаний»** посвящена получению лабораторных образцов стали с применением Al, Al + Ni и Ni в качестве модификатора, получению анализов лабораторных испытаний, и обоснованию выбранного метода модифицирования.

В данной главе описано получение лабораторных образцов стали 110Г13Л с добавлением алюминия в качестве модификатора. Для расчёта исходной массы легирующих элементов использовалась программа «Convert–easy».

В результате лабораторных испытаний были получены несколько лабораторных образцов стали 110Г13Л с добавлением Al до 2%, Al + Ni до 2%, и до Ni 2%. Образцы соответствовали заданным характеристикам и были подготовлены для дальнейших исследований и испытаний.

Процесс получения образцов включал подготовку сырья, добавление модификатора, плавление, разливку в графитовые формы и охлаждение. Для достижения химической однородности образцы были переплавлены пять раз, а последним этапом был процесс литья.

Размеры образцов для механических испытаний были разработаны на основе соответствующих ГОСТов. Образцы были получены путём плавления исходных чистых (99%) легирующих компонентов, добавления необходимого количества модификатора и разливки расплавленной стали в графитовые формы. После затвердевания образцы были подвергнуты механической обработке.

Результаты лабораторных испытаний показали, что Al способствует образованию специальных интерметаллидных соединений и улучшению коррозионной стойкости стали. Особое внимание уделяется изучению микроструктуры и фазового состава сплавов с высокой энтропией с помощью различных методов анализа. Он также влияет на размер и распределение зёрен, фазовый состав и механические свойства стали.

Отмечается, что добавление Al в состав стали 110Г13Л оказывает существенное влияние на её структурные и механические свойства. Al способствует образованию специальных интерметаллидных соединений и улучшает коррозионную стойкость стали, а Ni стабилизирует аустенитную структуру, меняя механические свойства стали.

Ni значительно влияет на свойства стали 110Г13Л, улучшая её ударную вязкость и пластичность при низких температурах, повышая коррозионную стойкость и стабилизируя аустенитную структуру. Также улучшает обрабатываемость стали резанием. Однако избыточное содержание Ni может увеличивать стоимость стали и повышать склонность к трещинам при сварке и увеличивает пластичность, что негативно повлияет при ударных нагрузках.

Также обсуждаются различные структуры, которые могут образоваться в результате термической обработки стали, такие как мартенсит, сорбит и бейнит. Каждая из этих структур имеет свои уникальные механические свойства и влияет на характеристики стали.

Добавление Al в сталь 110Г13Л приводит к значительному повышению её механических свойств, особенно твердости и временного сопротивления прочности на растяжение. Это делает данный сплав более устойчивым к ударно-абразивному износу и повышает его износостойкость.

Улучшение механических свойств стали при добавлении Al объясняется его способностью очищать границы зёрен сплава и замедлять граничную диффузию элементов, а также повышать прочность твёрдого раствора. Кроме того, алюминий способствует получению более тонкой дендритной структуры литого металла, что благоприятно сказывается на плотности металла и строении первичной структуры стали.

Модифицирующее действие Al проявляется в получении более тонкой дендритной структуры литого металла. Al значительно влияет на свойства стали 110Г13Л, улучшая её коррозионную стойкость, литейные и свариваемые свойства, а также механические характеристики. При малых концентрациях (до

1,5%) он повышает жидкотекучесть, снижает вероятность горячих трещин и сохраняет аустенитную структуру, улучшая пластичность и ударную вязкость. Однако при превышении 2% алюминий может приводить к образованию хрупких интерметаллидов, ферритной фазы и карбидов, ухудшая механические свойства и пластичность стали. Оптимальное содержание алюминия в стали 110Г13Л составляет 0,5–1,5%, что обеспечивает наилучшие эксплуатационные характеристики.

Никель оказывает как положительное, так и отрицательное влияние на сталь 110Г13Л. В положительных аспектах он повышает ударную вязкость, пластичность и прочность при низких температурах, стабилизирует аустенитную структуру, улучшает коррозионную стойкость и снижает склонность к хрупкому разрушению. Однако при содержании более 3% никель может увеличивать стоимость стали, приводить к избыточной стабилизации аустенита и ухудшать износостойкость в условиях абразивного износа. Оптимальное содержание никеля в стали 110Г13Л составляет 0,5–2,0%, что обеспечивает баланс между прочностью, вязкостью и износостойкостью.

Совместное модифицирование алюминия и никеля позволяет получить равномерную, мелкозернистую аустенитную структуру стали 110Г13Л. Это способствует улучшению её механических характеристик, таких как вязкость, износостойкость и прочность. Кроме того, алюминий и никель делают сталь устойчивой к наклёпу, предотвращая её охрупчивание. Таким образом, эти элементы являются оптимальными модификаторами для повышения эксплуатационных свойств данной стали, улучшая её структуру и фазовый состав.

Таким образом, лабораторные испытания позволили получить образцы стали 110Г13Л с модификатором в виде Al, Al + Ni и Ni и изучить его влияние на структуру и свойства материала. Анализ полученных результатов привело к определению оптимального состава модификаторов позволяющих повысить механические свойства стали и для дальнейшего испытания на промышленных испытаниях. Были выбраны два состава стали с модификацией ~1,5% Al и ~1,5% Al + ~2% Ni согласно данным, полученным в результате механических испытаний. Модификация одним Ni не является приемлемой в условиях АО «Алмалыкский ГМК» из-за увеличения себестоимости и пластинчатых свойств материала, что негативно повлияет при ударных нагрузках.

Четвертая глава **«Разработка технологии и практическое применение»** посвящена разработке технологии модифицирования стали 110Г13Л в условиях Литейного цеха Центрального ремонтно–механического завода АО «Алмалыкский ГМК», приведены результаты промышленных испытаний новых зубьев экскаватора из модифицированной стали 110Г13Л и сделан вывод по данным промышленных испытаний.

В центральном ремонтно–механическом заводе (ЦРМЗ) АО «Алмалыкский ГМК» выплавка зубьев экскаватора из стали 110Г13Л производится в электродуговых сталеплавильных печах типа ДСП–3 и ДС–5МТ.

Перед началом плавки проводится подготовка печи, очищение подины

покрытие известью и несколько плавков без кипения, затем размягченный слой удаляют металлическими скребками.

В качестве шихтовых материалов применяются: стальной лом, ферромарганец, ферросилиций, горячебрикетированное железо и передельный чугун в соответствии с ГОСТами и ТУ заводами изготовителя.

Для раскисления металла применяют силикокальций, ферросилиций, лом алюминия и ферротитан в соответствующем объеме. Вспомогательным материалом применяются известь, плавковый шпат, кокс и графитированные электроды.

Все материалы, используемые в плавке, должны быть сухими и чистыми от формовочной смеси, песка, огнеупоров и т.д. Металлолом не должен содержать лома цветных металлов, габариты металлолома должны быть не более 600x400x200 mm.

Завалка шихты осуществляют сразу после заправки печи. Перед завалкой на подину загружают 2–4% извести от массы металлической завалки. Распределение шихты в бадье имеет порядок при котором на низ укладывают стальную стружку или мелкие куски шихты, затем крупные и средние, затем мелкие. Соотношение между кусками 40 – 40 – 20 в порядке понижения размеров. После контрольной проверки всего состояния оборудования и объема загруженного материала производится погружение электродов и подача тока.

Плавка электродами производится в несколько этапов с разной подачей тока, в начале плавки (15–20 минут) на пониженной ступени трансформатора, для предотвращения чрезмерного теплового воздействия дуг на футеровку свода, далее выход на полную мощность. Расплавление 70–80% всей шихты проводится на полной мощности трансформатора, после этого напряжение также снижается. Во время плавки шихту сталкивают с откосов для предотвращения отвалов и ускорения плавления. Обвалы в свою очередь могут привести к поломке электродов. В процессе расплавления происходит частичная дефофорация. Перемешивание расплавленного металла осуществляется ломом. При помощи ложки добывается проба металла в стаканчик из зоны в половину расстояния от рабочего окна.

Далее следует процесс окисления. Период окисления начинается со скачивания 65–75% шлака периода плавления. После скачивания в печь подается известь 2–4% от массы металла и при необходимости плавиковый шпат или шамот. После формирования жидкоподвижного шлака необходимо разогреть металл до 1500 °С и вводить порции железной руды и известь для образования “кипа”. Печь наклоняется в сторону рабочего окна для слива расплавленного шлака самотеком. По мере необходимости применяется плавиковый шпат или шамотный бой для разжижения шлака. Продолжительность окислительного периода не должна превысить 1 часа. к концу кипения при температуре не менее 1550 °С производится отбор пробы для проверки содержания углерода и фосфора. После подтверждения необходимого химического анализа производится предварительное раскисление ферросилицием в заранее рассчитанном количестве. Как и в предыдущих этапах контроль осуществляется

отбором проб.

Восстановительный период включает в себя рафинирование, присаживания смеси из молотого кокса и порошкообразного силикокальция.

В заранее рассчитанном количестве вводится необходимый объем ферромарганца и ферросилиция, из расчета 13% содержания марганца и 0,4–0,6% кремния в конечном итоге в три приема. Также необходимо тщательно перемешивать смесь скребами после каждой присадки. Раскисленный шлак в конечном итоге должен быть раскислен на воздухе при остывании рассыпаться в белый порошок. Необходимо выдержать металл под белым шлаком не менее 30 min. После химического анализа откорректировать плавку по необходимому количеству компонентов.

Выпуск плавки осуществляется при температуре не более 1480 °С через разделанное выпускное отверстие в ковш. Для конечного раскисления и модифицирования стали необходима подача заранее рассчитанного количества алюминия в ковш под струю металла, после заполнения 1/3 объема ковша. Расчет массы добавляемого алюминия проводится технологом для достижения необходимого содержания (~1,5% масс.) алюминия в конечном расплаве. Замер пробы для химического анализа проводится непосредственно из ковша для химического анализа. Суммарное время, затрачиваемое на плавку металла, составляет более 3 часов.

Формирование разноосного, мелкозернистого строения, отсутствие транскристаллизации в отливках имеет решающее значение для получения высоких механических свойств в износостойкости. Обязательным является соблюдение следующих температурных режимов разливки стали (по температуре погружения).

Более высокая температура способствует выпадению в стали при кристаллизации крупных карбидов и образованию горячих трещин. Температура разливки стали по формам, является одним из важнейших факторов, определяющих свойства отливок. Разливка считается нормальной по температуре, если после разливки в ковше остается скрапина толщиной 15–30mm, которая определяется сталеваром визуально.

Таблица 1

Температурный диапазон выдержки отливок

Температура по прибору, °С	1420	1430	1440	1450	1460	1470	1480	1490	1500
Выдержка, min	2	3	4	5	6	8	10	12	14

После выпуска металла из печи температура металла измеряется в ковше термопарой погружения сталеваром или его подручным в присутствии мастера, контролера СТК. Показания термометра, подсоединенного к вторичному прибору, и выдержка записываются в плавильный журнал. Выдержку металла в

ковше производится согласно таблице 1. При температуре расплава выше 1500°C вопрос заливки форм решается начальником цеха или старшим мастером сталеплавильного участка или технологом литейного цеха по согласованию с СТК в зависимости от номенклатуры, развеса и категории отливок.

В ЦРМЗ термообработка отливок производится в термических печах периодического действия двух типоразмеров. Топливом для обеих печей служит природный газ. Также отличительной чертой каждого помимо габаритных и площади пода, является температура нагрева металла 880 – 1100°C.

Сталь Гадфильда сильно предрасположена к трещинообразованию в литом состоянии. Сталь обладает плохой теплопроводностью и медленно остывает после заливки в форму металл имеет повышенную хрупкость из-за своей неоднородности. Эти особенности должны учитываться при остывании, выбивке и обрубке отливок до термической обработки.

После заполнения форм жидким металлом формы с литьем в зависимости от толщины стенки отливки, массы отливок должны оставаться на месте заливки до спокойного затвердевания.

Отливки, залитые в постоянные формы – кокиля (брони конусных дробилок), в обязательном порядке через 15–20 минут после заливки разгружаются и оставляются до полного остывания в кокиле.

При истечении времени, необходимого для спокойного затвердевания отливки, опоки подлежат уборке с заливочной площадки в места, предназначенные для дальнейшего остывания. Время остывания отливки зависит от массы самой отливки и продолжается не менее 1 часа.

Выбивка отливок из форма осуществляется лишь по истечению полного времени остывания. Приварки и заливы удаляются газокислородной резкой.

Термическая обработка стальных отливок является одним из важнейших процессов влияющий на конечные характеристики отливок. Данный факт объясняется зависимостью структуры от процесса затвердевания и химического состава. Сегрегация дендридов, крупные размеры зерен и неровная структура находят свое решение и уменьшения влияния в термообработке стали.

Отливки после очистки укладываются на решётку, установленную на тумбе в подине печи. Укладывать отливки следует расположить так, чтобы обеспечивалось равномерный нагрев и отсутствие коробления. Отливки закатываются в печь при температуре не более 200–300 °С внутри печи.

Отливки из стали 110Г13Л проходят термообработку разного режима исходя из толщины стенок.

Закалка производится после остывания ванны до 20°C. Длительность режима для отливок толщиной до 200 mm 15 часов, а для отливок толщиной более 200 mm длительность режима составит 20 часов. После окончания процесса выдержки проводится закалка в холодной проточной воде так чтобы температура воды в процессе закалки не превысило 40°C.

В воду, заколоченную в ванне, должен подаваться воздух для обеспечения барботажа. Отливки необходимо выдержать в ванне до полного охлаждения. После процесса закаливания отливки передаются в терморубный участок для

обрезки прибылей.

На основе механических испытаний, приведенных выше были проведены 5 экспериментальных плавок зубьев экскаватора и переданы для промышленных испытаний зубьев в РУ Кальмакыр. Из 5 экспериментальных плавок зубьев экскаватора были 2 комплекта зубьев с содержанием Al (1,37% и 1,6% масс), 1 комплект зубьев с добавлением Al+Ni, 1 комплект зубьев с применением модификатора Insteel от компании НПП «Технология», 1 комплект зубьев экскаватора с новой формой из стали 110Г13Л (рисунок 2), также проведен анализ работы стандартных зубьев экскаватора.

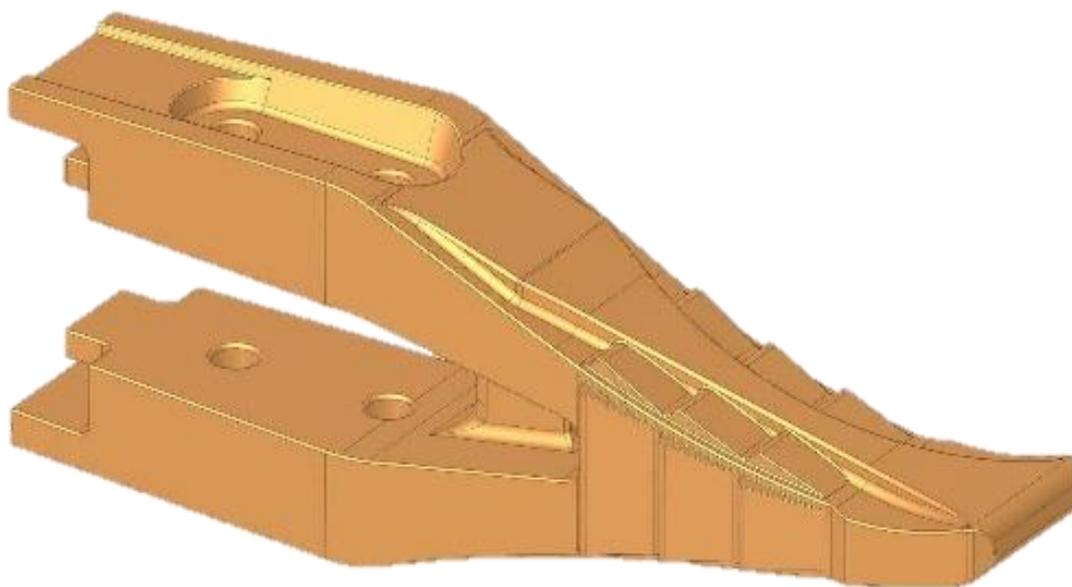


Рисунок 2. 3D модель зуба экскаватора ЭКГ–15 новой конфигурации

Химический состав полученных зубьев экскаватора приведен в виде таблицы 2.

Таблица 2

Химический состав экспериментальных зубьев экскаватора

Наименование	C	Si	Mn	Ni	Cr	P	S	Ti	Al
Standart	0,9	0,4	14,0	0,5	1,0	0,12	0,03	0,05	0,004
1,6% Al	0,84	0,42	14,32	0,65	0,82	0,067	0,019	0,08	1,66
Al и Ni	0,77	0,83	14,35	2,93	0,66	0,061	0,022	0,06	1,53
Крокодилы	0,89	0,35	13,47	0,12	0,7	0,04	0,017	0,002	0,11
1,3% Al	0,9	0,42	14,86	0,09	0,52	0,063	0,015	0,02	1,37
Insteel	0,88	0,16	12,3	0,12	0,66	0,071	0,016	0,016	0,25

Для замеров износа зубьев во время испытаний за основной индикатор износа принята длина носовой части зубьев экскаватора, называемая рабочей. Данный показатель является критерием при решении смены зубьев машинистами экскаватора. В рамках мониторинга износа стандартных зубьев экскаватора было проанализировано 3 комплекта стандартных зубьев экскаватора из стали 110Г13Л для сравнения с экспериментальными зубьями. Сделан глубокий анализ полученных показателей производительности и приведен в виде результирующей таблицы 3 с экономическими расчетами.

Таблица 3

**Результаты проведенных испытаний по модифицированию
стали 110Г13Л**

Показатели	110Г13Л	Al (1,37%)	Al (1,6%)	Al +Ni (1,53% +2,93%)	Кроко- дильи	Insteel
Средний остаток длины зубьев	239	198	297	282	324	338
Объем перегруженной руды; тыс. м ³	110	176	146	105	76	193
Соотношение L/V при 100 тыс. м ³	222,3	112,4	203,4	268,6	428,3	174,5
Изменение производительности	0	+60%	+33%	-5,5%	-31%	+75%
Цена 1 зуба; млн сум	7,71	7,99	8,17	18,35	7,63	9,41
Изменение себестоимости	0	+3,6%	+5,9%	+138%	-1%	+22%

*Ценовые расчеты, приведенные в таблице, составлены сотрудниками ЦРМЗ и не могут быть использованы для экономических расчетов другими организациями.

В промышленных условиях сложно добиться точных результатов по содержанию элементов, с учетом этого были проведены 2 промышленных испытания зубьев с добавлением алюминия в качестве модификатора. Согласно опытам других ученых, добавление никеля в состав стали в качестве дополнительного модификатора должна улучшить его механические свойства, для проверки данной теории было принято решение добавить никель в сталь 110Г13Л в качестве модификатора в паре с алюминием в содержании 2,5% масс. Такое решение резко повысила стоимость зубьев, но в конечном итоге не отразилась на производительности. Низкая цена зубьев крокодилей формы связана с меньшим весом, а низка эффективность из-за прерывания промышленных испытаний. Российская компания НПП «Технология» предложила свой модификатор Insteel для проведения совместных испытаний, в результате производительность зубьев выросла на 75%, но согласно конечным расчетам, стоимость данного модификатора повлияло на себестоимость зубьев,

выросло на 22% без учета стоимости транспортировки. Сравнив полученные результаты, было принято решение о выгоде применения алюминия в качестве модификатора до 2% масс, такой допуск связан со сложностью достижения точных результатов и условий литейного цеха ЦРМЗ АО «Алмалыкский ГМК».

Для наглядности тенденции износа и определения потенциала в том или другом эксперименте была создан график зависимости объема перегруженной породы к износу зубьев (рисунок 3).

Согласно данному графику зубья новой конфигурации в форме крокодилий имеют патенциал, что подтверждает рассуждения об новой форме зубьев.

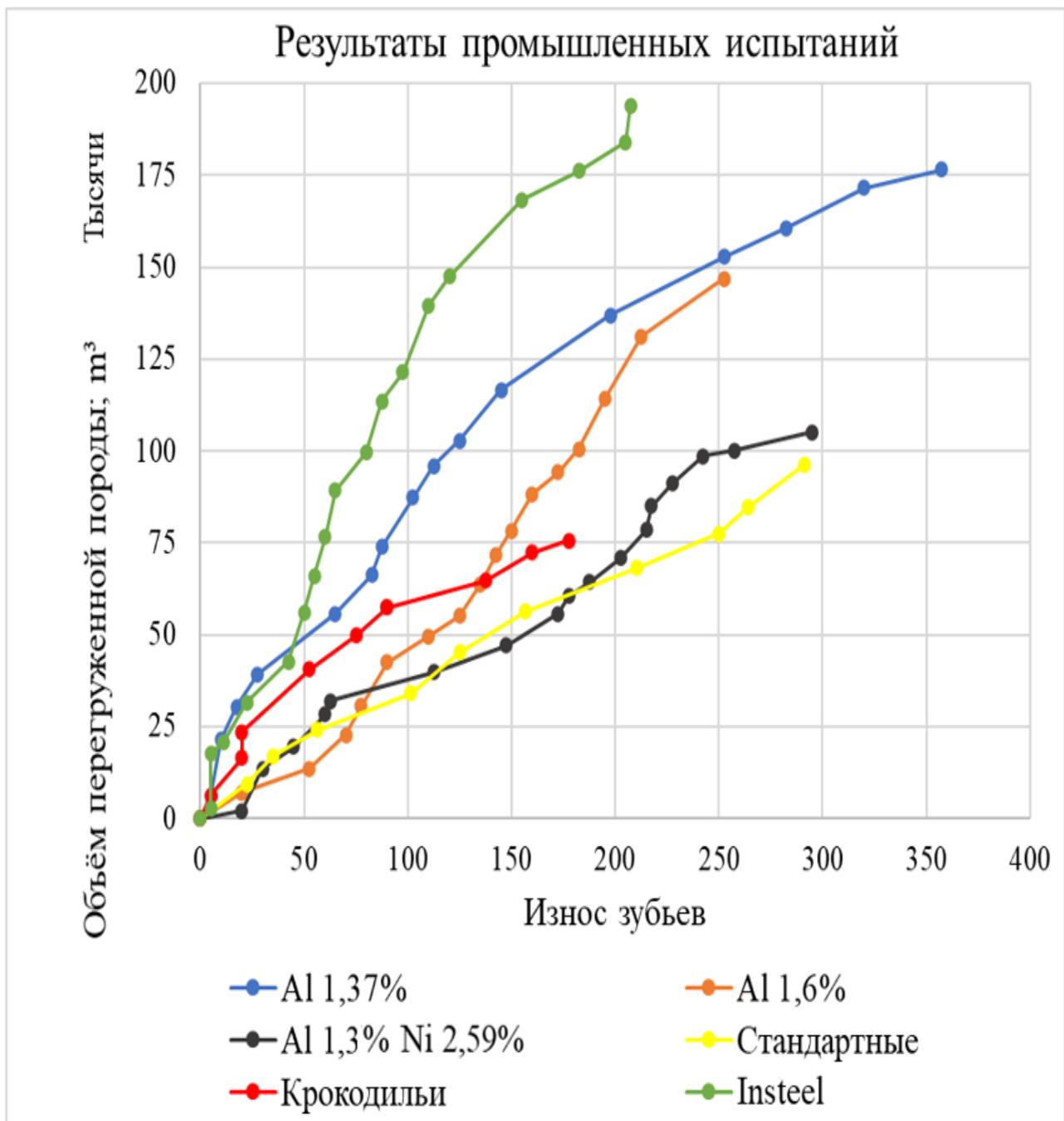


Рисунок 3. График зависимости износа носовой части зубьев экскаватора при эксплуатации

Для сравнения при проведении параллели при износе 250 mm носовой части зубьев, объем перегруженной породы различается при каждом эксперименте с модификацией, как показано в таблице 4.

Из полученных данных следует вывод о том что применение Al как модификатора при содержании ~1,5% масс. дает повышает эффективность в более чем на 90% при износе 250 mm с носовой части зуба. Применение Al и Ni в качестве модификатора повысил объем перегруженной руды на 25% больше чем у стандартных зубьев с аналогичным показателем износа зубьев. Модификатор Insteel показал наибольший эффект на производительность, тогда как зубья новой формы (крокодилы) не были учтаны в таблице. Причиной которого является не достижение износа в 250 mm из-за сложившихся обстоятельств описанных выше.

Таблица 4

Показатель объёма перегруженной руды зубьями экватора ЭКГ–15 при износе в 250 mm

Наименование	Стандартные	Al 1,6%	Al 1,37%	Al + Ni (1,3% +2,93%)	Insteel
Объем руды м ³	77 520	146 860	152 720	100 200	184 000

Зубья после достижения критической длины носовой части, в 310 mm согласно карте дефектации №3537.00.00.000PK, отправляются на переплав для получения новых зубьев. Для примера был взвешан зуб экскаватора ЭКГ–15 с остаточной длиной носовой части в 210 mm и весом 273 kg. Остаточный вес отработанного зуба составляет 66% от первоначальной.

После анализа всех данных принято решение о внедрении в производство применение алюминия (Al <2% масс) в качестве модификатора для стали 110Г13Л в предприятиях АО «Алмалыкский ГМК» для деталей подвергаемых абразивному износу, в частности для зубьев экскаватора.

Эффект от внедрения согласно подсчетам соответствующих подразделений ЦРМЗ АО «Алмалыкский ГМК» даст экономию 4,5 тысяч t готовой продукции, что эквивалентно 82,35 млрд сум в пару с экономией дополнительных легирующих элементов на сумму 165 млн сум. Данные показатели приведены в справке о внедрении.

Через портал электронных государственных услуг интеллектуальной собственности Министерства юстиции Республики Узбекистан была оформлена заявка патента на полезную модель № FAP 2024.0086 от 29 сентября 2023 года «Модифицирование марганцевой стали 110Г13Л металлическим алюминием», на данном этапе идет рассмотрение данной заявки.

Изучив тенденцию и номенклатуру мировых первенцев по производству

составных частей для горных экскаваторов, была смоделирована дополнительно новая модель зуба экскаватора в программе КОМПАС–3D, которая также состоит из адаптера и коронки (рисунок 4).

Данное решение имеет ряд преимуществ как:

- Крепление коронки на адаптер осуществляется стержнем по месту;
- Форма зубьев в сборе полностью повторяет существующую отливаемую форму в литейном цехе ЦРМЗ для экскаватора ЭКГ–15;
- Размер и масса коронки позволит облегчить замену зубьев;
- Возможность применения и разработки новых форм коронок для улучшения проникаемой способности;
- Возможность снижения затрат на производство за счет применения разного материала;

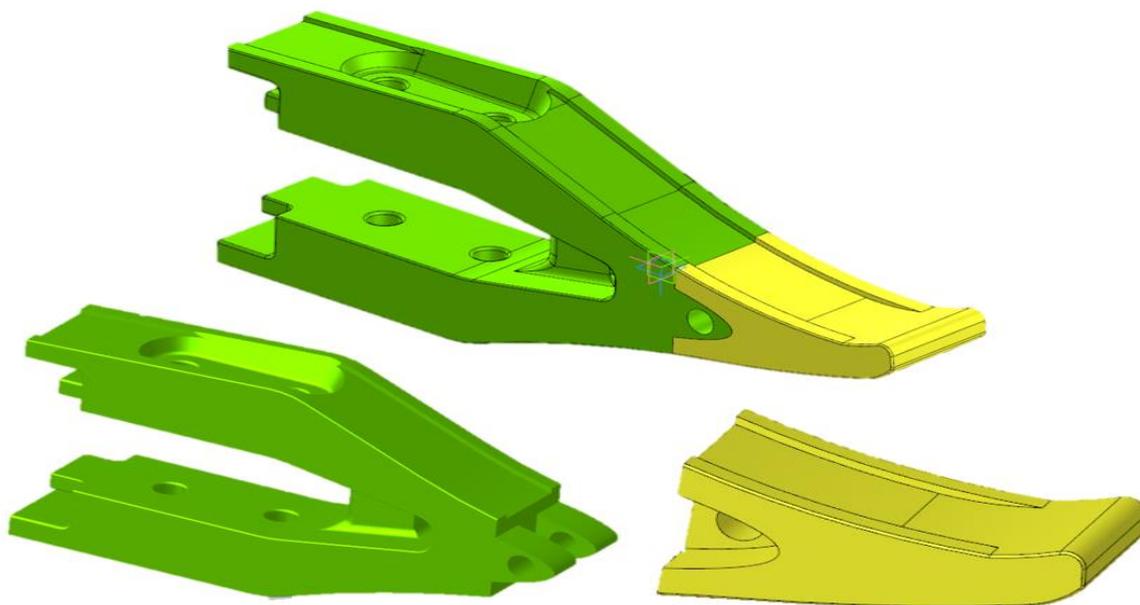


Рисунок 4. Предлагаемая новая модель зуба экскаватора со съемной коронкой

- Соответствие тенденциям развития в отливке зубьев новых форм.

Данное технологическое решение находится на стадии разработки. Дальнейшие этапы развития и внедрения решения зависит от степени проработанности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана и обоснована технология модифицирования стали марки 110Г13Л алюминием, обеспечивающая достижение оптимального сочетания механических свойств, необходимых для эффективной работы зубьев экскаватора в условиях интенсивного абразивного изнашивания и циклических нагрузок.

2. Установлено влияние алюминия на микроструктуру и фазовый состав стали 110Г13Л, проявляющееся в формировании более мелкозернистой структуры, повышении однородности аустенитной матрицы и упрочнении областей границ зерен.

3. Выявлено значительное улучшение механических свойств модифицированной стали по сравнению с базовым составом: ударная вязкость (КСУ) повысилась на 40%, твердость по Бринеллю (НВ) – на 60%, предел прочности (σ_B) – на 70%.

4. Промышленные испытания модифицированных зубьев экскаватора, проведенные непосредственно на Кальмакырском месторождении, показали прирост производительности зубьев экскаватора более чем на 35% и значительное снижение интенсивности их износа.

5. Рекомендовано внедрение разработанной технологии модифицирования стали марки 110Г13Л алюминием в промышленное производство зубьев экскаваторов, используемых в горнодобывающей промышленности.

6. Рассчитано, что применение метода модифицирования стали алюминием, позволяющего повысить надежность и долговечность экскаватора в условиях интенсивного износа, даст экономический эффект в размере примерно 888,4 млн сумов или 185 тонн готовой продукции.

7. Показано, что повышение производительности труда за счет оптимизации формы зубьев экскаватора и расширение номенклатуры типов зубьев, соответствующих различным условиям, имеет особое значение для мировой промышленности в области изготовления высокопрочных деталей из модифицированной стали.

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

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

ALIEV KHAKIM BOKHODIR OGLI

**IMPROVING THE MECHANICAL PROPERTIES OF EXCAVATOR
TEETH MADE FROM 110G13L STEEL, USED AT THE KALMAKYR
FIELD, BY CHANGING THE CHEMICAL COMPOSITION**

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

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

Tashkent – 2025

The theme of dissertation doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2025.2.PhD/T3474

The dissertation has been carried out at the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (russian, uzbek, english (resume)) on the scientific council website (www.tdtu.uz) and on the website of «Ziyonet» Information and educational portal (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor: **Jumaev Elyorjon Erkin ogli**
Doctor of technical sciences, professor

Official opponents: **Usmankulov Orifjon Naziraliyevich**
Doctor of Philosophy of Technical Sciences (PhD)

Dunyashin Nikolay Sergeevich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Leading organization: **Ferghana State Technical University**

The defense of the dissertation will be held at “16⁰⁰” on “4” december in 2025 at the meeting of the Scientific Council DSc.03.30.12.2019.T.03.04 at the Tashkent State Technical University (Address: 100095, Tashkent, University street, 2, tel/fax.: (99871) 227–10–32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz).

The dissertation has been registered at the Information Resource Center (IRC) of the Tashkent State Technical University under № 55 (Address: 100095, Tashkent, University street, 2, tel/fax.: (99871) 227– 10–32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz).

The abstract of the dissertation is distributed on “21” november in 2025 year.
Protocol at the register № 200 dated on “21” november in 2025 year.

K.A. Karimov
Chairman of the scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

Sh.B. Toshbulatov
Scientific Secretary of the Scientific Council
for Awarding Academic Degrees,
doctor of technical sciences, docent

N.D. Turakhodjaev
Chairman of scientific seminar at scientific
council on awarding of scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The purpose of the research consists of improving the mechanical properties of excavator teeth made of 110G13L steel used at the Kalmakyr mine by changing their chemical composition, as well as further improving technologies for modifying wear-resistant steels.

The object of the research

Excavator teeth made of 110G13L steel, their chemical composition, mechanical properties, the existing steel casting technology and operating conditions of teeth on Kalmakyr mine.

The scientific novelty of the research is as follows:

an optimal chemical composition of 110G13L steel has been developed to improve its alloying properties by adding up to 2% aluminum;

it is substantiated that adding aluminum to the casting ladle during the tapping of steel from the furnace facilitates the almost complete participation of manganese as an alloying element in the steel, saves ferromanganese consumption, and allows for the saving of 4.5 thousand tons of finished product;

it was determined that chemical modification of 110G13L steel with aluminum increases the fluidity of the alloy melt, and due to the formation of a finer dendritic structure of the cast metal, its corrosion resistance and tensile strength increase by 2 times;

it is substantiated that introducing aluminum as a modifier into the composition of 110G13L steel increases steel hardness (Brinell) by 60% and impact toughness (KCU) by 40%; furthermore, the formation of steel with a hetero-axial, fine-grained structure and the absence of transcrystallization in castings contribute to the enhancement of high mechanical properties of wear resistance;

modes of a new resource-saving technology for modifying 110G13L steel used in the manufacture of excavator teeth have been developed: it was determined that the metal melting temperature is 1480 °C, the total melting time is 3 hours, and the aluminum content is up to 2%.

Implementation of research results.

Based on the results obtained on improving the mechanical properties of excavator teeth made of 110G13L steel used at the Kalmakyr mine by changing their chemical composition:

excavator teeth made of modified 110G13L steel have been implemented in practice at the Central Repair and Mechanical Plant, which produces excavator teeth for the Kalmakyr mine (Reference of JSC “Almalyk MMC” No. 09-24/42-00018 dated September 4, 2024). As a result, this allowed increasing the mechanical properties and wear resistance of the excavator teeth by up to 2 times;

the technology for modifying 110G13L steel has been implemented in practice at the “Central Repair and Mechanical Plant” under JSC “Almalyk MMC” (Reference of JSC “Almalyk MMC” No. 09-24/42-00018 dated September 4, 2024). As a result, this allowed increasing the volume of loaded ore by 60,000 m³ compared to standard teeth.

The structure and scope of the dissertation. The structure of the dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The volume of the dissertation is 118 pages.

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

I часть (I bo'lim; I part)

1. Kh. Aliev, Sh. Turdiev, A. Abidov, E. Jumaev Improving the mechanical properties of parts made of high-manganese steel with metalloids type modifier // Science and Innovation International Scientific Journal. – 2024. – Т. 3, № 4. – С. 51–54. – DOI: 10.5281/zenodo.10968906 (№12, Index Copernicus).
2. Khakim Aliev, Shakhzodjon Turdiev Prospects for recycling solid metall waste // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. – 2024. – № 8 (125). – DOI: 10.32743/UniTech.2024.125.8.18030. (№1, 02.00.00)
3. Abdullayev B., Kurbanov M., Nimchik A., Toshkodirova R., Rifky M., Aliev Kh., Shabarova U., Samadiy M., Study of the influence of evaporation of solutions of the Karaumbet and Barsakelmes // New Materials, Compounds and applications (Azerbaijan Research journal, Q4) – 2025 – Vol.9 – № 2 – С. 298–308 – DOI:10.62476/nmca.92298.
4. Aliev Kh., Sh. Turdiev. Обзор влияние легирующих элементов на механические свойства высокомарганцевых сталей Композиционные материалы, 2025, №3, – С.224–227 (05.00.00; №13).

II часть (II bo'lim; II part)

5. Naumova M., Basyrov I., Aliev Kh. Reengineering of the ore preparation production process in the context of “Almalyk MMC” JSC // MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 224. – P. 01030 (№3, Scopus).
6. Naumova M.G., Morozova I.G., Aliev Kh.B. Creating a project for modernizing the feeding balls device to a ball mill using 3D modeling // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 971. – P. 052025 (№3, Scopus).
7. Khakim Aliev, Shakhzodjon Turdiev, Nozimjon Kholmiraev, Shokhista Saidkhodjaeva, Ravshan Tashmatov, Bekzod Yusupov, Nargiza Sadikova, Zarip Sadullaev, Abduaziz Abdulkakhkarov, Sherali Abdullajonov Optimizing mining excavator performance: tooth shape analysis and innovative design // V International Conference on Geotechnology, Mining and Rational Use of Natural Resources (GEOTECH–2024) Navoi, Uzbekistan. – 2024.
8. Алиев Х. Б. Выбор рациональной схемы дробления на обогатительных фабриках // 73-и Дни науки студентов НИТУ «МИСиС» международные, межвузовские и институтские научно-технические конференции. Москва–2018, 242–243 С.
9. Алиев Х. Б., Наумова М.Г. Сравнительный анализ технологических процессов и оборудования дробления и измельчения руды // В сборнике: Инжиниринг технологического оборудования и процессов. Сборник научных

трудов студентов и аспирантов НИТУ «МИСиС». Под редакцией С.М. Горбатюка. – Киров: Издательство НИТУ «МИСиС», 2018. – С. 95–101.

10. Алиев Х. Б. Анализ устройств для подачи шаров в мельницу //74–и Дни науки студентов НИТУ «МИСиС» международные, межвузовские и институтские научно–технические конференции. Москва–2019, 22–23 С.

11. Алиев Х. Б. Выбор материала для изготовления автоматизированного устройства для подачи шаров в барабан мельницы//75–и Дни науки студентов НИТУ «МИСиС» международные, межвузовские и институтские научно–технические конференции. Москва–2020, 260–261 С.

12. Алиев Х., Абидов А., Жумаев Э. Повышение физических свойств зубьев экскаватора из стали 110Г13Л путем изменения их химических свойств в условиях АО «Алмалыкский ГМК» // Интеграция науки, образования и производства в машиностроении: тенденции, методы и решения. – Ташкент: Тошкент давлат техника университети, 2023. – С. 16–17.

13. Турдиев Ш., Абидов А., Алиев Х., Жумаев Э. Повторное использование быстрорежущей стали путем переработки отходов в условиях АО «Алмалыкский ГМК». // Интеграция науки, образования и производства в машиностроении: тенденции, методы и решения. – Ташкент: Тошкент давлат техника университети, 2023. – С. 14–15.

14. Kh. Aliev, Sh. Turdiev, E. Jumaev Effect of carbon and manganese content on the mechanical properties of Hadfield steel // Resource and Energy–Saving Innovative Technologies in the Field of Foundry. – 2024. – С. 452.

Avtoreferat O‘zMPU «Ilmiy axborotlari» jurnali tahriryati
tomonidan 2025-yil 12-noyabrda tahrirdan o‘tkazildi.



Bosishga ruxsat etildi. 13.11.2025 y.
Qog‘oz bichimi 60x84 1/16. Times New Roman
garniturasida terildi.
Ofset uslubida oq qog‘ozda chop etildi.
Nashriyot hisob tabog‘i 3.0, Adadi 100. Buyurtma № 24-11
Bahosi kelishuv asosida

«ZUXRO BARAKA BIZNES» MChJ
bosmaxonasida chop etildi.
Manzil: Toshkent shahar Chilonzor tumani,
Bunyodkor shoh ko‘chasi 27 A–uy.