

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

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA
UNIVERSITETI**

TO‘RAYEV ANVAR NORMAMATOVICH

**ALYUMINIY QOTISHMALARINING YEYILISHBARDOSHLILIGINI
OSHIRISH TEXNOLOGIYASINI TAKOMILLASHTIRISH**

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

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

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

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

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

To‘rayev Anvar Normamatovich

Alyuminiy qotishmalarining yeyilishbardoshliligini oshirish texnologiyasini
takamillashtirish3

Тураев Анвар Нормаматович

Совершенствование технологии повышения износостойкости алюминиевых
сплавов27

Turaev Anvar Normamatovich

Improvement of the technology for increasing the wear resistance of aluminum
alloys.....51

E‘lon qilingan ishlar ro‘yhati

Список опубликованных работ

List of published works.....58

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

**ISLOM KARIMOV NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA
UNIVERSITETI**

TO‘RAYEV ANVAR NORMAMATOVICH

**ALYUMINIY QOTISHMALARINING YEYILISHBARDOSHLILIGINI
OSHIRISH TEXNOLOGIYASINI TAKOMILLASHTIRISH**

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

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vaazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2025.1.PhD/T3911 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universitetida bajarilgan.
Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida (www.tdtu.uz) va «ZiyoNet» axborot ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar: **Atajanov Gapur Latibovich**
texnika fanlari nomzodi, dotsent

Rasmiy oponentlar: **Dunyashin Nikolay Sergeyeovich**
texnika fanlari doktori, professor

Abduraxmonov Xusniddin Zakirxanovich
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

Yetakchi tashkilot: **Namangan davlat texnika universiteti**

Dissertatsiya himoyasi Toshkent davlat texnika universiteti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi DSc. 03/2025.27.12.T.02.04 raqamli Ilmiy kengashning 2026 yil 1-may kuni soat 14⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100095, Toshkent, Universitet ko'chasi, 2.Tel./faks: (+998971) 227-10-32; e-mail: tadqiqotchi@edu.uz).

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat texnika universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№ 99 raqam bilan ro'yxatga olingan) (Manzil: 100095, Toshkent, Universitet ko'chasi -2. Tel: (998971) 227-10-32).

Dissertatsiya avtoreferati 2026-yil 17-aprel kuni tarqatildi (2026-yil 14-aprel № 211 raqamli reyestr 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 (DSc), dotsent

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

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda bugungi kunda alyuminiy qotishmalaridan mashinasozlik va aviatsiya sanoati uchun detallar ishlab chiqarishda ularning yengilligini ta'minlash, ishlab chiqarish sharoitlaridan kelib chiqib ularning tarkibini optimallashtirish, legirlash va modifikatorlar qo'llashning samarali usullarini ishlab chiqish hamda yeyilishbardoshliligini oshirish alohida ahamiyat kasb etmoqda. Hozirgi kunda AQSh, Xitoy, Angliya, Germaniya, Yaponiya, Hindiston, Rossiya, Ukraina kabi rivojlangan mamlakatlarning ilmiy-tadqiqot laboratoriyalarida alyuminiy qotishmalaridan mashinasozlik va aviatsiya detallarini ishlab chiqarishda ularning mexanik va quymakorlik xossalarini yaxshilash, jumladan, yeyilishga bardoshlilik ko'rsatkichlarini oshirish hamda mazkur jarayonlarga oid texnologiyalarni takomillashtirishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Jahonda alyuminiy qotishmalaridan quyma usulda mashinasozlik detallarini ishlab chiqarish jarayonida ularning talab etilgan mexanik xossalarini ta'minlash maqsadida qotishmalarni legirlash va modifikatsiyalashga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu yo'nalishda, jumladan, LM24 turidagi alyuminiy qotishmasi tarkibiga yangi elementlar qo'shish orqali uning kimyoviy tarkibini takomillashtirish hamda mexanik xossalarini yaxshilashga qaratilgan texnologiyalarni ishlab chiqish bo'yicha tadqiqotlar ustivor hisoblanmoqda. Shu bilan birga, mashinasozlik va aviatsiya sanoatida keng qo'llaniladigan ushbu qotishmadan olinadigan detallar xizmat muddatini uzaytirish uchun samarali va iqtisodiy jihatdan tejamkor texnologiyalarni yaratish bugungi kunda dolzarb vazifalardan hisoblanmoqda.

Respublikamizda mashinasozlik, transport, energetika va qurilish tarmoqlarida alyuminiy qotishmalariga bo'lgan talab tobora ortib bormoqda. O'zbekistonda sanoat tarmoqlarini modernizatsiya qilish va import o'rnini bosuvchi mahsulotlar ishlab chiqarish masalalari davlat siyosatining ustuvor yo'nalishlaridan biri etib belgilangan. Bu borada O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi "PF-60-sonli "2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekiston taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni¹,sanoat tarmoqlarida yo'qotishlarni kamaytirish va resurslarni ishlatish samaradorligini oshirish bo'yicha... qarori ushbu yo'nalishdagi tadqiqotlarning dolzarbligini yanada kuchaytirmoqda. Mazkur hujjatlarda milliy iqtisodiyotda ilg'or materiallar ishlab chiqarish, energiya tejamkor texnologiyalarni joriy etish va mahalliy xomashyo asosida yuqori sifatli mahsulotlar tayyorlash asosiy maqsadlardan biri sifatida belgilangan. Shu nuqtai nazardan, alyuminiy qotishmalarining yeyilishga bardoshligini oshirish texnologiyasini takomillashtirish masalasi mamlakat sanoati uchun strategik ahamiyatga ega.

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, 2018 yil 27 apreldagi PQ-3682-sonli "Innovatsion g'oyalar,

¹ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi "PF-60-sonli "2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekiston taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni

texnologiyalar va loyihalarni amaliy joriy qilish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida»gi, 2019 yil 17 yanvardagi PQ-4124-sonli «Kon-metallurgiya tarmog'i korxonalari faoliyatini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida», 2021 yil 24 iyundagi PQ 5159-sonli "Kon-metallurgiya sanoati va unga bog'liq sohalarni rivojlantirish bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida"gi Qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining II "Energetika, energiya va resurstejamkorlik" ustuvor yo'nalishi talablariga muvofiq bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Bugungi kunda dunyo olimlari, jumladan Germaniyalik olimlar V. Hutsaylyuk, va boshqalar tomonidan "7075 markali alyuminiy qotishmasining yeyilishbardoshlilikini oshirish" bo'yicha, Xitoyning Chongqing universiteti olimlari Xu Li va boshqalar tomonidan "Alyuminiy qotishmalarining dengiz texnikasida korroziya va yeyilishbardoshlikga chidamliligini oshirish" bo'yicha, Turkiyaning Karabuk Universiteti professori Yavuz Sun alyuminiy qotishmasiga Titan elementi 1-2% qo'shish orqali alyuminiy qotishmalarining yeyilishbardoshlilikini oshirish" bo'yicha, Hindiston olimlari Marri Bhaskar va Tamilselvam Nallusamylar "Alyuminiy qotishmalarining suyuqlantirib olish mobaynida tarkibidagi gaz miqdorini kamaytirish" bo'yicha izlanishlar olib borishgan va ijobiy natija erishgan.

MDH davlatlari xususan Rossiyaning Tolyatti davlat universiteti olimlari M.M. Krishtal va boshqalar tomonidan "Alyuminiy-kremniy qotishmalaridan quyib olingan detallarning ishqalanishning ekstremal sharoitida ishlash uchun "mikro yoy oksidlanish" usuli yordamida yeyilishbardoshlilikini ta'minlash texnologiyasi ishlab chiqilgan. Rossiyalik olimlar A.V. Ivanov, P.N. Sidorov, E.L. Kravchenko (2019) alyuminiy qotishmalariga nanozarrachalar kiritish orqali yeyilishga bardoshni oshirish mexanizmlarini o'rganganlar. Belarus olimlari L. Petrovich va O. Zhukova (2021) anodlash va ion-plazmali qoplamalar yordamida tribologik xossalarni yaxshilash ustida tadqiqotlar olib borgan. Qozog'istonlik olimlar R. Baimukhanov, N. Kuvatov (2022) hamda S. Amanov (2021) SiC, TiB₂ va grafen zarrachalari asosida tayyorlangan alyuminiy kompozitlarning yeyilishga bardoshini oshirish mexanizmlarini tajribaviy jihatdan isbotlaganlar. Shuningdek, Rossiyalik V.A. Kuznetsov, A.P. Morozov (2020) hamda T. Smirnova, I. Chernov (2021) alyuminiy qotishmalarining issiqlik ishlovidan keyingi mikrostrukturasi va sirt xususiyatlarini tahlil qilganlar. Bu ishlar MDH miqyosida ilg'or texnologiyalarni ishlab chiqish uchun ilmiy asos yaratmoqda.

O'zbekiston olimlaridan N.D.Turaxodjeyev, A.O.Shazimov, Yu.N.Mansurov, F.S.Abdullayev, G.L.Atajanov kabi yetakchi olimlar alyuminiy qotishmalarining quymakorlik hamda mexanik xossalarni yaxshilash ustida qator tadqiqotlar olib borishgan va ijobiy natijaga erishgan. Mahalliy tadqiqotchilar S. Yo'ldoshev, F. Karimov, S. G'aniev (2020–2023) alyuminiy qotishmalarining sirtini

oksidlash, modifikatsiyalash va issiqlik ishlov berish jarayonlarini tahlil qilib, optimal texnologik rejimlarni aniqlaganlar. D. Raximov, M. Abdurahmonov (2022) grafit va borli qo‘shimchalar yordamida tayyorlangan alyuminiy kompozitlarning yeyilishga bardoshini oshirish bo‘yicha tajribalar o‘tkazgan. B. Ismoilov (2021) Al-Si-Mg asosli qotishmalarda sirt mustahkamligini oshirishga xizmat qiluvchi qoplama turlarini o‘rgangan, U. Qodirov va J. Ergashev (2023) esa mexanik ishlov hamda issiqlik bilan mustahkamlashning tribologik natijalariga ta‘sirini tadqiq etganlar.

Dissertatsiya tadqiqoti dissertatsiya bajarilgan oliy ta‘lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Toshkent davlat texnika universiteti ilmiy-tadqiqot ishlari rejasiga binoan № IL-210321288 “Gaz pechlarida aluminiy qotishmalaridan olinayotgan quyma mahsulotlar tarkibidagi gaz va nometall qo‘shimchalarning miqdorini kamaytirish texnologiyasini yaratish” mavzusidagi fundamental loyiha va № IL-5421101878 “Alyuminiy qotishmalarining mexanik, fizik va ekspluatatsion xossalarni oshirishning ilmiy asoslarini yaratish” mavzusidagi Toshkent davlat texnika universiteti va Innovatsion rivojlanish agentligining o‘rtasidagi tuzilgan fundamental loyiha doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi aluminiy qotishmalarining yeyilishbardoshlilikini oshirish texnologiyasini takomillashtirishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

alyuminiy qotishmasini turli quymakorlik qoliplarida quyib olishning qotishma yeyilishbardoshlilikiga ta‘sirini tadqiq qilish;

alyuminiy qotishmalarini suyuqlantirishda legirlovchi sifatida Ni kukunlarining qotishmaga ta‘siri asosida qotishma yeyilishbardoshlilikini oshirish;

alyuminiy qotishmalarini suyuqlantirishda legirlovchi sifatida Ni kukunlarining qotishmaga ta‘siri asosida qotishma zarbiy qovushqoqligini yaxshilash;

alyuminiy qotishmalarini suyuqlantirishda legirlovchi sifatida Ni kukunlarining qotishmaga ta‘siri asosida qotishma cho‘zilishdagi mustahkamligini yaxshilash;

alyuminiy qotishmasini suyuqlantirib olishda himoya flyus asosida qotishma va unga kiritilgan legirlovchining kuyish miqdorini kamaytirish.

Tadqiqotning obykti sifatida UzAuto-INZI qo‘shma korxonasida LM24 qotishmasidan quyib olinayotgan taqsimlash valning qopqog‘i tanlab olingan.

Tadqiqotning predmeti LM24 markali alyuminiy qotishmasining yeyilishbardoshlilikini oshirish texnologiyasi tashkil etadi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot usullari sifatida mikrotuzulish tahlillari uchun LV150N modeli metallografik elektron mikroskopdan, qattiqlik tahlillari uchun “Rockwell type hardness tester FR”dan, qotishma kimyoviy tarkibi “SPEKTROMETR-M5000” modeli spektrofotometrda, zarbiy qovushqoqligini aniqlashda Charpy testi usulidan foydalanilgan hamda boshqa ko‘rsatkichlar bo‘yicha tahlillar davlat standart usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

alyuminiy qotishmasini Ni kukuni bilan legirlash texnologiyasi Al_3Ni asosidagi birikmaning qotishma matritsasi bilan hosil qiladigan birikmaning xossasi asosida ishlab chiqilgan;

alyuminiy qotishmasining zarbiy qovushqoqligini oshirish texnologiyasi Al_3Ni va Al_7Cu_4Ni fazalarini shakllanishini ta'minlash xossasi asosida ishlab chiqilgan;

alyuminiy qotishmalarining cho'zilishdagi mustahkamligini yaxshilash texnologiyasi kiritilgan Ni kukunlari qotishmada intermetallik fazalar hosil bo'lishini ta'minlashi asosida ishlab chiqilgan;

alyuminiy qotishmasini yeyilishbardoshligini oshirish texnologiyasi qolipning issiqlik o'tkazuvchanligining metal haroratiga bog'liqlik ravishda o'zgarish dinamikasi asosida ishlab chiqilgan;

alyuminiy qotishmasini suyuqlantishda unga kiritilayotgan legirlovchining kuyish miqdorini kamaytirish texnologiyasi himoya flyusi oksidlanishdan himoya qilish samaradorligining kislorodga nisbatan aktivligining farqi asosida ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

alyuminiy qotishmalarining yeyilishbardoshligini oshirish uchun legirlash texnologiyasi joriy qilingan natijada alyuminiy qotishmasining yeyilishbardoshligi sezilarli darajada oshishiga erishilgan;

alyuminiy qotishmalariga kovsh ichida ishlov berish texnologiyasi joriy qilingan va natijada olinayotgan quyma mahsulotlarining zarbiy qovushqoqligi 5 foizgachaga oshgan;

alyuminiy qotishmalarini suyuqlantirishda himoya flyusining tarkibi joriy qilingan va natijada metallning kuyish miqdori 18% ga kamayib iqtisodiy samaraga erishilgan;

alyuminiy qotishmalarini suyuqlantirishda legirlovchi sifatida Ni kukunlarining qotishmaga ta'siri asosida qotishma zarbiy qovushqoqligini yaxshilashga erishilgan.

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

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot ishi bo'yicha olingan natijalarining ilmiy ahamiyati yetakchi olimlar ilmiy izlanishlari tahlillari yordamida, alyuminiy qotishmalariga gaz pechda flyuslar bilan ishlov berilishi; kovshda rafinirlanishi va gaz pechining konstruksiyasining optimallashtirilishi

asosida resurs va energiyatejamkorlik ta'minlanishi bilan tavsiflanadi.

Tadqiqot ishi natijalarining amaliy jihatdan ahamiyati shundaki, LM24 markali alyuminiy qotishmasini eritib, undan sifatli quyma mahsulot tayyorlashda, qotishmaga kovshda modifikatsiyalab ishlov berish natijasida qotishmaning yeyilishbardoshlik xossasi oshdi hamda alyuminiy qotishmasini legirlash texnologiyasi asosida qotishmaning yeyilishbardoshliligi ortdi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Alyuminiy qotishmalarining yeyilishbardoshliligini oshirish texnologiyasini takomillashtirish bo'yicha olingan tadqiqot natijalar asosida:

alyuminiy qotishmalarining yeyilishbardoshligini oshirish uchun legirlash texnologiyasi "UzAuto-INZI" MCHJ QKda joriy qilingan ("O'zAvtosanoat" AJ ning 27.02.2025 yildagi 21/06-25-0372-sonli ma'lumotnomasi). Joriy qilish natijasida alyuminiy qotishmasining yeyilishbardoshligi 9-11% ga oshgan;

alyuminiy qotishmalariga kovsh ichida ishlov berish texnologiyasi "UzAuto-INZI" MCHJ QKda joriy qilingan ("O'zAvtosanoat" AJ ning 27.02.2025 yildagi 21/06-25-0372-sonli ma'lumotnomasi). Joriy qilish natijasida olinayotgan quyma mahsulotlarining zarbiy qovushqoqligi 4-5% ga oshgan;

alyuminiy qotishmalarini suyuqlantirishda himoya flyusining tarkibi "UzAuto-INZI" MCHJ QKda joriy qilingan ("O'zAvtosanoat" AJ ning 27.02.2025 yildagi 21/06-25-0372-sonli ma'lumotnomasi). Joriy qilish natijasida metallning kuyish miqdori 16-18% ga kamaygan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Dissertatsiya ishining tadqiqot natijalari jami 13 ta, jumladan 10 ta xalqaro miqyosda konferensiyalarida va scopus bazasida indeksatsiyalangan xalqaro konferensiyalarda 1 ta tezis, 2 ta Respublika miqyosidagi ilmiy-amaliy anjumanlarda muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha umumiy holda 20 ta ilmiy ishlar nashr qilingan. O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy Attestatsiya Komissiyasining falsafa doktori (PhD) dissertatsiyalarining asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 7 ta ilmiy maqola, jumladan 6 tasi Respublika va 1 tasi xorijiy jurnallarda nashr etilgan.

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

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurligi asoslangan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari shakllantirilgan, obykti va predmetlari tavsiflangan, respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi ko'rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy, nazariy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalari amaliyotga joriy qilingan, nashr etilgan ilmiy ishlar va dissertatsiya tuzilishi va hajmi bo'yicha ma'lumot berilgan.

Dissertatsiyaning **"Alyuminiy qotishmalarining yeyilishbardoshliligini**

oshirish texnologiyasini takomillashtirish” deb nomlangan birinchi bobida mavzu bo‘yicha adabiyotlar tahlil qilinib, alyuminiy qotishmalarining qo‘llanilish sohalari va ularning xossalari va alyuminiy qotishmalarining turlari. Alyuminiy qotishmalarining yeyilishbardoshlilikini oshirish uchun jaxonda olib borilayotgan tadqiqotlar tahlili. Alyuminiy qotishmalariga pech ichida va kovsh ichida ishlov berish texnologiyalarini takomillashtirish bo‘yicha jaxonda olib borilayotgan tadqiqotlar tahlili. Alyuminiy qotishmalarini suyuqlantirishda qo‘llaniladigan flyuslarning tarkibini takomillashtirish bo‘yicha jaxonda olib borilayotgan tadqiqotlar tahlili. Alyuminiy qotishmalarini suyuqlantirishda ekologik muammolar va ularni bartaraf etish usullari.

Alyuminiy qotishmalarining yeyilishbardoshlilik xossasini oshirish bo‘yicha jahon hamda o‘zbek olimlarining alyuminiy qotishmalari ustida olib brogan sinov-tadqiqotlari o‘rganildi.

Dissertatsiyaning **“Tadqiqot ob’ektini tanlash va metodikasini ishlab chiqish”** deb nomlangan ikkinchi bobida tadqiqot ob’ektlari uchun alyuminiy qotishmalarini suyuqlantirish uchun “UzAvto-INZI” QK da mavjud 3 tonnali gaz pechi va LM24 markali alyuminiy qotishmalari, adapter 12 va adapter 11 detallari olindi.

Xususan tadqiqot namunalarining tarkibidagi metall bo‘lmagan qo‘shimchalar hamda gaz g‘ovaklarining tahlili uchun “UzAuto-INZI” QKning markaziy laboratoriyasi Nikon Eclipse LV150N metallografik mikroskopdan foydalanilgan. Bunda ushbu mikroskop orqali tahlil qilinayotgan namunalarni 100-2000 martagacha kattalashtirilib olingan (1-rasm). Olingan mikroskopik mikrostruktura tahlillar asosida tadqiqot namunalari suyuqlantirish davrida qo‘shilishi mumkin bo‘lgan tarkibidagi metal bo‘lmagan qo‘shimchalar hamda gaz g‘ovaklarining nazorati usullari tahlil qilingan.



1 - rasm. LM 24 markali alyuminiy qotishmaning Nikon Eclipse LV150N metallografik mikroskopida olingan mikrostruktura tasvirlari.

Tadqiqot ishlari mobaynida olingan tajriba namunalarining mikrotahlilini o‘tkazish uchun mikrotahlil tizimli spektrometrdan foydalanildi. UzAuto-INZI” QKning markaziy laboratoriyasida “SPEKTROMETR-M5000” uskunasi bilan foydalangan holda qotishma ning kimyoviy tarkibi aniqlandi.

Dissertatsiyaning **“Alyuminiy qotishmasini mexanik xossalarini yaxshilash ustidagi tadqiqotlar”** deb nomlangan uchinchi bobida alyuminiy qotishmasini quyib olishning bir nechta usullari ko‘rib chiqildi. Biz bilgan keng tarqalgan qumgilli qoliplarga quyib olish usuli bu keng tarqalgan, sodda va asrlardan qolib

kelayotgan quyish usuli. Bu usulda detal modeli asosida qum-gilli aralashmadan qolip tayyorlanadi va model chiqarib olinib yoki eruvchan model bo'lsa joyida qoladi, ustiga suyuq metal quyib olinadi. Avzalligi tan narxi arzon, tajriba uchun va murakkab geometrik shaklli detallarni donali ishlab chiqarish uchun quyib olsa bo'ladi, kamchiliklari seriyalab ishlab chiqarish qiyin, yuza g'adir budurligini va o'lchamlar aniqligini ta'minlash murakkab, shuning uchun mexanik ishlov berish talab etiladi.

Metall (opoka) qoliplarga quyib olish. Bu usulda odatda suyuq qotishma qotishmasi metall, po'lat yoki cho'yandan tayyorlangan qolipga quyib olinadi. Qolip ko'p marta ishlatilishga mo'ljallangan. Avzalligi aniq o'lchamli va silliq yuzali detallarni olsa bo'ladi. Seriyali ishlab chiqarishga mo'ljallangan. Kamchiligi, murakkab shaklli detallarni quyish imkoni qiyin, qolip tan narxi qimmatga tushadi.

Bosim ostida metall qolipga quyish. Bu usulda suyuq yotishma belgilangan bosimda maxsus avtomatlashtirilgan mashinalar bilan quyiladi. Avzalligi aniq o'lchamli va silliq yuzali detallarni olsa bo'ladi. Seriyali ishlab chiqarishga mo'ljallangan. Kamchiligi, murakkab shaklli detallarni quyish imkoni qiyin, qolip tan narxi juda qimmatga tushadi.

Tadqiqotlarni LM24 alyuminiy qotishmasiga Ni kukunlari bilan legirlash orqali qotishmaning mexanik xossalarini yaxshilash bo'yicha olib bordik. LM24 (Al-Si8Cu3Fe) alyuminiy qotishmasiga nikel elementining (Ni) qo'shilishi bu qotishmaning mexanik xossalari, jumladan, yeyilishbardoshlilik va zarbiy qovushqoqligini yaxshilash uchun legirlovchi element sifatida tavsiya etiladi. Biroq, legirlovchi sifatida Ni qo'shishda uning miqdorlari dinamikasini avvaldan chuqur tahlil qilish tavsiya etiladi, chunki Ni miqdorining me'yorida ortishi natijasida Al qotishmasining mo'rtligi xaddan ziyod ortib ketishi mumkin. Shuning uchun biz quyidagi tadqiqotlarda ushbu dinamikani tadqiqotlarda qo'llab natijalarini ilmiy tahlil qilib oldik.

Tadqiqotlarimizda, LM24 (Al-Si8Cu3Fe) alyuminiy qotishmasining yeyilishbardoshligini oshirish hamda zarbiy qovushqoqligini saqlab qolishni muhim maqsad qilib olganmiz. Ishlab chiqilgan tadqiqot usullarida, qotishmaga nikel elementining 0.5–1.5% miqdorida kiritish ushbu ikki muhim ko'rsatkichlar muvozanatini ta'minlab beradi.

Shu sababli biz ushbu qiymatlarda tajriba qilishni belgilab olganmiz. Ya'ni, bunda qotishmada intermetallik birikmalar, Al₃Ni, qotishma matritsasi bo'ylab teng taqsimlanadi, bu kuchlanish konsentratsiyalarini kamaytirishi natijasida qotishma mikrostrukturasining barqarorligini oshirib beradi. Shu bilan birga, dispers kuchaytiruvchi fazalar hosil bo'ladi. Natijada abraziv va adgeziv muhitlarda yeyilishbardoshlik yaxshilanadi. Zarbiy qovushqoqlik ham kamaymaydi, ya'ni qotishma mo'rt birikma xosil qilmaydi.

Shuningdek, Ni qo'shilishi natijasida qotishmaning issiqlikka chidamliligi ham biroz oshadi, bu esa uni yuqori haroratli muhitlarda ishlatish imkoniyatini kengaytiradi. Optimal miqdordan ortiqcha Ni qo'shilishi esa ortiqcha intermetallik fazalarning ko'p miqdorda paydo bo'lishiga, mikrostrukturada mo'rtlik zonalarini vujudga keltirishga va zarbiy qovushqoqlikning keskin pasayishiga olib kelishi

mumkin.

Tadqiqotlarimizda obekt sifatida tanlab olingan LM24 (Al-Si8Cu3Fe) alyuminiy qotishmasiga legirlovchi sifatida Ni elementi turli miqdorlarda kukun shaklida kiritildi.

Tadqiqotlar “Quymakorlik texnologiyalari” ilmiy laboratoriyasida olib borildi, shixta sifatida LM24 qotishmasi olindi hamda elektr induksion pechida 1 kg sig‘imga ega grafit tigelda suyuqlantirib olindi. Legirlovchi elementning har bir miqdordagi tadqiqotlar uchun alohida plavka suyuqlantirib olindi. Tadqiqot namunalari bir martalik qum-gilli qoliplarga quyib olindi.

1-jadval

Tadqiqotlar uchun tanlab olingan qotishmalarning kimyoviy tarkibi

Marka	Elementlar, %									
	Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Ni	Zn	Pb	Ti	Sn
LM24	3.0-4.0	3.0 max	7.5-9.5	1.3 max	0.5 max	0.6 max	3.0 max	0.3 max	0.2 max	0.2 max
N1	3.0-4.0	3.0 max	7.5-9.5	1.3 max	0.5 max	0.9	3.0 max	0.3 max	0.2 max	0.2 max
N2	3.0-4.0	3.0 max	7.5-9.5	1.3 max	0.5 max	1.2	3.0 max	0.3 max	0.2 max	0.2 max
N3	3.0-4.0	3.0 max	7.5-9.5	1.3 max	0.5 max	1.5	3.0 max	0.3 max	0.2 max	0.2 max
N4	3.0-4.0	3.0 max	7.5-9.5	1.3 max	0.5 max	1.8	3.0 max	0.3 max	0.2 max	0.2 max



2-rasm. Shixta miqdoriga bog‘liq holda Ni zarralarini kiritish.

Qotishmalar suyuqlantirib olingan so‘ngra bir martalik qum-gilli qoliplarga quyib olindi. Quyib olingan namunalar qolip aralashmalaridan tozalanib, ularga 1K62 tokarlik jihozida mexanik ishlov berilib, mexanik xossalar sinovlari uchun tayyorlandi.

Yeyilishbardoshlik sinovlari. LM24 alyuminiy qotishmasiga Ni elementining turli miqdorlarida kukun xolatda kiritilgan namunalar uchun abraziv yeyilishbardoshlikni aniqlash sinovi o‘tkazildi. Namunaning abraziv yeyilish xossalarini aniqlash uchun olmos diskli mahsus jihozdan foydalanildi. Legirlovchi sifatida 5 hil miqdorda Ni elementi kiritilgan namunalar barchasi bir hil o‘lchamli va bir hil og‘irlikdagi namunalar holiga keltirilgan. Sinov boshlandi, olmos disk xarakterga keltirildi va namunaga yuk qo‘llanilib, tayanch qo‘l mexanizmi orqali aylanuvchi diskka tekkizildi.



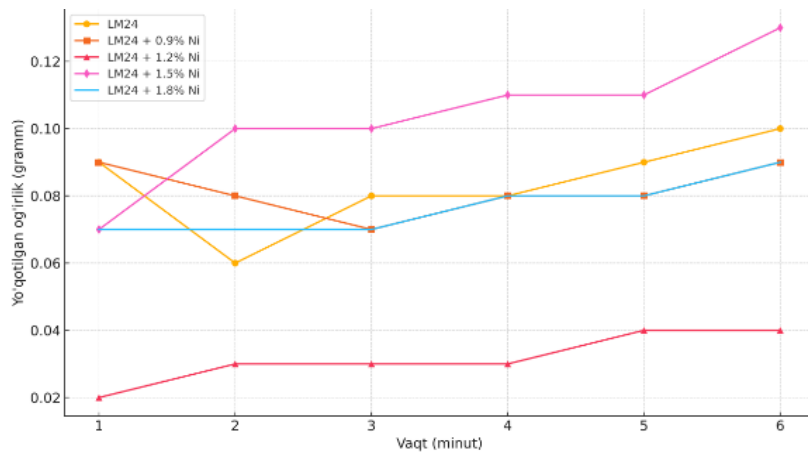
3-rasm. LM24 alyuminiy qotishmalarining quyma qolip turlariga bog‘liq holda yeyilishbardoshlik testi sinov jarayonlari.

Yuk qo‘llanganda, namunalar doimiy ravishda olmos disk bilan ta’siri ta’minlab turildi. Sinovlar 10 N yuk ostida olmos disk tezlik oralig‘i (1 m/s dan 4 m/s gacha) olib borildi. Har bir vaqt oralig‘idagi sinovlardan so‘ng, namunalarning abraziv yeyilish ta’sirida og‘irlik yo‘qotilishi qayd etib turildi. Shundan kelib chiqib, har bir namunalarning belgilangan vaqtlar davomida hajm yo‘qotilishi aniqlandi. Natijada, shunga mos ravishda yeyilish qiymatlari hisoblab chiqildi. Quyib olingan namunalarning nikel miqdoriga bog‘liq holda, vaqt birligida og‘irligining yo‘qotilishi bo‘yicha ularning yeyilishbardoshlilik qobilayati sinov jarayonlari natijalari quyidagicha.

2-jadval

Vaqt birligida sinov namunalari og‘irligining yo‘qotilishi Ni miqdoriga bog‘liqligi qiymatlari.

Vaqt, min		1	2	3	4	5	6
Yo‘qotilgan og‘irlik, gm	LM24	0.09	0.06	0.08	0.08	0.09	0.10
	LM24+0.9Ni	0.09	0.08	0.07	0.08	0.08	0.09
	LM24+1.2Ni	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04
	LM24+1.5Ni	0.07	0.10	0.10	0.11	0.11	0.13
	LM24+1.8Ni	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09



4-rasm. LM24 alyuminiy qotishmasiga kiritilgan Ni miqdoriga bog‘liq holda yeyilishbardoshlik ko‘rsatkichlari

LM24 qotishmasi Ni legirlovchisiz sof holatda sinov jarayonida, vaqt birligida og'irlik yo'qotilishining miqdori nisbatan yuqori va notekisligi kuzatildi. Natijada, LM24 qotishmasi yeyilishbardoshlik qobiliyati nisbatan sezgirlik namoyon etganligini ko'rsatdi, ya'ni yeyilishdan himoya fazalari yoki matritsada qattiq zarrachalar kamligi uchun yeyilishbardoshlilik yetarlicha emas.

0.9% nikel zarralari qo'shilgan qotishmada vaqt birligida og'irlik yo'qotilishi biroz kamaydi, lekin natija aytarli emas ya'mi, Al matritsada Al_3Ni intermetall fazalari oz miqdorda hosil bo'lishi boshlangan ammo ularning hajm bo'ylab taqsimlanganligi va zichligi yetarlicha emas. Bu qotishmada mikrostruktura biroz yaxshilangan bo'lsa ham yetarli yeyilishbardoshlik qobiliyatiga ega emas.

1.2 % nikel zarralari bilan legirlash eng yaxshi yeyilishbardoshlilik qobilayati berdi bunda, vaqt birligida og'irlik yo'qotilishi barcha belgilangan vaqtlar davomida eng past ko'rsatkichni berdi. Ya'ni, bunda Al_3Ni intermetall zarrachalari yetarlicha hosil bo'ldi. Qotishmada ular matritsa xajmi bo'ylab bir tekis taqsimlanganligini ko'rsatdi. Xosil bo'lgan fazalar qattqlik va yeyilishbardoshlikni ta'minlab, mikrostrukturani ham yaxshilab berdi, shu bilan LM24 qotishmasi uchun optimal legirlovchi sifatida 1.2 % Ni miqdori tanlab olindi.

1.5% nikel elementi qo'shilganda vaqt birligida og'irlikning yo'qotilishi ortib ketdi, bunga sabab yuqori miqdorda legirlash natijasida matritsada ortiqcha intermetall fazalar miqdori qotishmani mo'rtlashtirib yuborishidir. Mikrostrukturadagi Al_3Ni zarrachalari meyoridan ortib ketganligi sababi, ular notekis taqsimlangan. Natijada qotishmaning yeyilishbardoshligi tushib ketdi. Demak bu miqdorda legirlash optimal yechim emas deb qaraymiz.



5-rasm. Tadqiqot namunalarini Brinell usulida qattqligini aniqlash jarayoni

1.8% nikel miqdori ham yuqori lekin yeyilishbardoshlik qobiliyati 1.5 % ga nisbata ozgina yaxshiroq bo'ldi. Lekin 1.2 % miqdor bilan taqqosalgan yaxshi emas. Shu sababi bu miqdorda legirlash ham optima yeshim emas. Bu mmiqdorda ham huddi 1.5 singari qotishma matritsada intermetalitik fazalar bir tekis taqsimlanmasigi va haddan tashqari ortib ketishi natijasida mo'rtlik xosil qildi, va yeyilishbardoshlik qobilyatini ta'minlay olmadi.

Qattqlik sinovlari. LM24 qotishmasiga 5 hil miqdorlarda kiritilgan namunalar ustida qattqlik sinovlari olib borildi.

Tarkibiga 0.9 % miqdorda Ni kukunlari kiritilgan LM24 qotishmasining Brinell HB bo'yicha qattqligini baholash qiymatlari. Tadqiqot davomida LM24+0,9Ni qotishmasining Brinell bo'yicha qattqligi 5 martadan o'Ichandi hamda har bir

o'lchash jarayonida olingan qiymatlar bo'yicha ularning o'rta arifmetik qiymatlari olindi (4-jadval).

3-jadval

0.9 % miqdorda Ni kukunlari kiritilgan LM24 qotishmasining Brinell HB bo'yicha qattiqligi sinov natijalari.

0.9 % miqdorda Ni kukunlari kiritilgan namuna			
Tajriba №	Qiymati, HB	Iz chuqurligi, d mm	D/d nisbati
1	89.2	3.71	0.371
2	85.8	3.78	0.378
3	88.3	3.73	0.373
4	83.5	3.83	0.383
5	84.4	3.81	0.381
O'rtacha qiymati	86.3	-	-

Bu yerda Brinell bo'yicha qattiqlik qiymatlarini aniqlashda foydalaniladigan formulalar parametrlari, D – sharcha diametri (10 mm) va d – qoldirilgan iz chuqurchasining diametri, mm.

Tadqiqot natijalariga asoslanib, qotishmaning HB bo'yicha o'rtacha qiymati 86.3 HB ga teng deb belgilab oldik.

Tarkibiga 1.2 % miqdorda Ni kukunlari kiritilgan LM24 qotishmasining Brinell HB bo'yicha qattiqligini baholash qiymatlari. Tadqiqot davomida LM24+1.2Ni qotishmasining Brinell bo'yicha qattiqligi 5 martadan o'lchandi hamda har bir o'lchash jarayonida olingan qiymatlar bo'yicha ularning o'rta arifmetik qiymatlari olindi (4-jadval).

4-jadval

1.2 % miqdorda Ni kukunlari kiritilgan LM24 qotishmasining Brinell HB bo'yicha qattiqligi sinov natijalari.

1.2 % miqdorda Ni kukunlari kiritilgan namuna			
Tajriba №	Qiymati, HB	Iz chuqurligi, d mm	D/d nisbati
1	88.8	3.72	0.372
2	89.2	3.71	0.371
3	89.8	3.70	0.370
4	90.3	3.69	0.369
5	89.2	3.71	0.371
O'rtacha qiymati	89.5	-	-

Tarkibiga 1.5 % miqdorda Ni kukunlari kiritilgan LM24 qotishmasining Brinell HB bo'yicha qattiqligini baholash qiymatlari. Tadqiqot davomida LM24+1.5Ni qotishmasining Brinell bo'yicha qattiqligi 5 martadan o'lchandi hamda har bir o'lchash jarayonida olingan qiymatlar bo'yicha ularning o'rta arifmetik qiymatlari olindi (5-jadval).

5-jadval**1.5 % miqdorda Ni kukunlari kiritilgan LM24 qotishmasining Brinell HB bo'yicha qattiqligi sinov natijalari.**

1.5 % miqdorda Ni kukunlari kiritilgan namuna			
Tajriba №	Qiymati, HB	Iz chuqurligi, d mm	D/d nisbati
1	95.0	3.6	0.360
2	90.8	3.68	0.368
3	94.5	3.61	0.361
4	90.8	3.68	0.368
5	94.5	3.6	0.360
O'rtacha qiymati	93.1	-	-

Tarkibiga 1.8 % miqdorda Ni kukunlari kiritilgan LM24 qotishmasining Brinell HB bo'yicha qattiqligini baholash qiymatlari. Tadqiqot davomida LM24+1.5Ni qotishmasining Brinell bo'yicha qattiqligi 5 martadan o'lchandi hamda har bir o'lchash jarayonida olingan qiymatlar bo'yicha ularning o'rta arifmetik qiymatlari olindi (6-jadval).

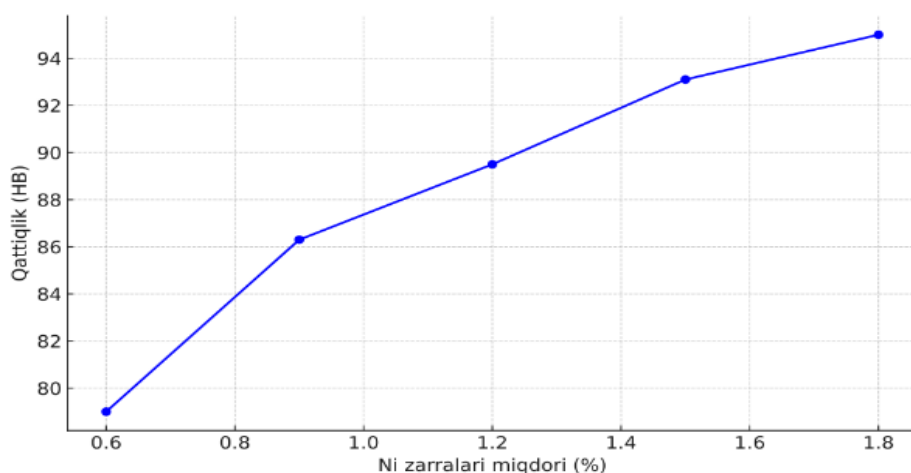
6-jadval**1.8 % miqdorda Ni kukunlari kiritilgan LM24 qotishmasining Brinell HB bo'yicha qattiqligi sinov natijalari.**

1.8 % miqdorda Ni kukunlari kiritilgan namuna			
Tajriba №	Qiymati, HB	Iz chuqurligi, d mm	D/d nisbati
1	95.5	3.59	0.359
2	95.0	3.6	0.360
3	95.5	3.59	0.359
4	94.5	3.6	0.360
5	94.5	3.6	0.360
O'rtacha qiymati	95.0	-	-

Demak, LM24 alyuminiy qotishmasi tarkibiga legirlovchi sifatida 5 hil miqdorda Ni zarralari kiritilgan qotishmalarning HB bo'yicha qattiqlik qiymatlari quyidagi garfikda keltirildi. Ushbu tadqiqotlar UzAuto-INZI ishlab chiqarish korxonasida olib borildi (7-jadval).

7-jadval**Kiritilgan Ni miqdoriga bog'liq holda sinov namunalari HB bo'yicha qattiqligining o'rtacha qiymatlari**

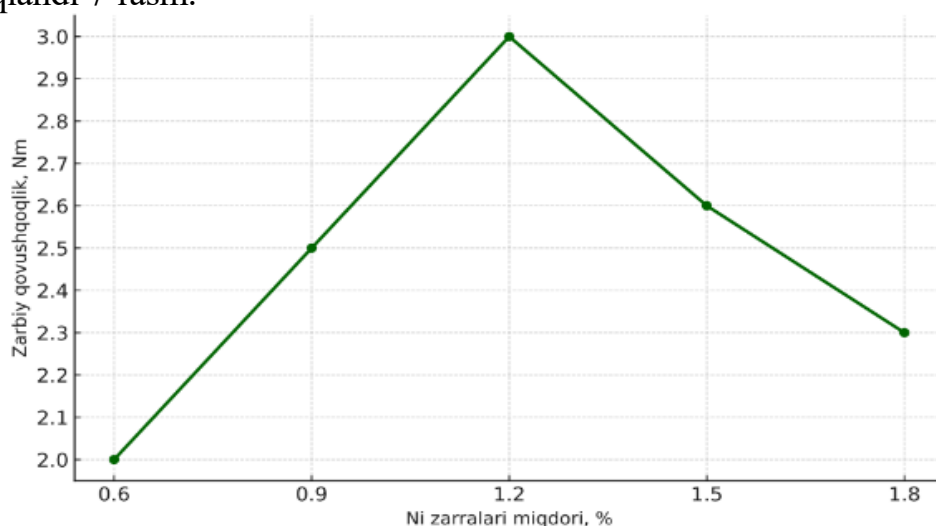
Ni zarralari miqdori, %	LM24	LM24+0.9Ni	LM24+1.2Ni	LM24+1.5Ni	LM24+1.8Ni
Qattiqlik HB	79	86.3	89.5	93.1	95.0



6-rasm. LM24 qotishmasiga kiritilgan Ni elementi zarralari miqdorining qattqlikka bog‘liqligi

Yuqoridagi grafikdan ko‘rinadiki, qotishma tarkibida Ni zarralari miqdori ortgani bilan qotishmaning qattqligi ham ortib bordi. Bu qotishmaning qattqligini Ni zarralari kiritish natijasida uning qattqligini yaxshilash mumkunligi xulosasini beradi.

Charpy testi sinovi. LM24 alyuminiy qotishmasiga turli miqdorlarda legirlovchi sifatida Ni kukunlari kiritilib tayyorlangan o‘lchami 10x10 mm bo‘lgan tadqiqot namunalari ushlagich bilan asosiy plastinka ustiga joylashtirildi. Tebranma mayatnik namunaning markaziga zarba bilan ta’sir ko‘rsatdi. Mayatnik zarba berganda namunalar siljib ketmasligi uchun mahkam ushlab turildi. Hamda mayatnik ma’lum bir balandlikdan tebranish bilan xarakatga keltirildi. Namunalar sinish vaqtida mayatnikning qanday balandlikdan qo‘yib yuborilganini qayd etilib, tegishli ta’sir kuchi aniqlandi 7-rasm.



7-rasm. Ni kukunlari turli miqdorlarining LM24 qotishmasining zarbiy qovushqoqligiga ta’siri

8-jadval

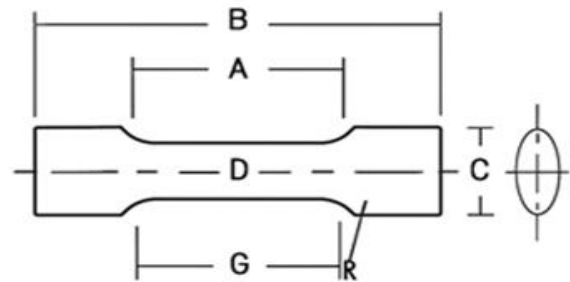
Kiritilgan Ni miqdoriga bog‘liq holda sinov namunalari zarbiy qovushqoqligining o‘rtacha qiymatlari

Ni zarralari miqdori, %	LM24	LM24+0.9Ni	LM24+1.2Ni	LM24+1.5Ni	LM24+1.8Ni
Zarbiy qovushqoqlik, Nm	2.0	2.5	3.0	2.6	2.3

LM24 alyuminiy qotishmasi yaxshi quymakorlik va mexanik xossalariga ega. Biroq ba'zi ma'suliyatli joylarda foydalanish uchun uning zarbiy qovushqoqligini nisbata yaxshilash talab etiladi. Yuqrida turli qoliplarga quyib olganimizda kuzatganimizdek qotishmani qum-gilli qolipga quyib olganimizdagi qotishmaning o'rtacha zarbiy qovushqoqligi 2.0 Nm bo'lganligini tajriba usuli bilan aniqladik (8-jadval). Bu qotishma odatda nisbatan mo'rtroq va sinishga moyil.

Biz bu qotishma mexanik xossalarini, jumladan zarbiy qovushqoqligini yaxshilash maqsadida tadqiqotlar olib bordik. Ya'ni, qotishma tarkibiga Ni elementi kukunlarini 0.9%, 1.2%, 1.5%, 1.8% miqdorda kiritdik. Bunda Ni kukunlari qotishmada termik barqaror intermetallik fazalar shakllantirib berdi. Jumladan Al_3Ni , Al_7Cu_4Ni kabi qattiq va barqaror zarrachalarning hosil bo'lishiga olib keldi. Qotishma tarkibida Ni zarrachalari kuchlanishni teng taqsimlab qolmasdan, qotishma mikrostrukturasi ham barqarorlashtirib, yuklamalar bilan ishlovchi qismlarda zarb ta'sirida energiyani so'ndirishga ham yordam beradi.

Tadqiqot natijalariga ko'ra, 0.9–1.2% Ni kukunlari kiritilgan qotishmaning zarbiy qovushqoqligi sezilarli yaxshilanganligi kuzatildi, ayniqsa 1.2 % kiritilgan qotishmada bu ko'rsatkich o'rtacha 3.0 Nm ni tashkil qildi. Ya'ni, bu qotishmada Al_3Ni zarrachalarining xajm bo'ylab bir tekis taqsimlanishi bilan ta'minlandi. Ni kukunlari miqdori 1.5% va 1.8% kiritilgan qotishmada esa teskari natija kuzatildi. 1.5% dan keyin zarbiy qovushqoqlik ko'rsatkichlari pastlab o'rtacha 2.6 Nm ni tashkil etdi. 1.8% miqdorda kiritilgan qotishmada esa bu ko'rsatkich yana o'rtacha 2.3 Nm ni tashkil etganini ko'rishimiz mumkun. Bunday holatga asosiy sabab qilib qotishm matritsasida intermetallitik fazalarning me'yoridan ortib ketishi va xajm bo'ylab teng taqsimlanmasigidir. Bu esa mo'rt fazalar xosil qilib, mikrodarzlar xosil bo'lishiga ham olib keladi.



A = 36 mm	D = 6 mm
B = 100 mm	G = 30 mm
C = 9 mm	R = 6 mm

8-rasm. Universal test jihozida qotishmaning cho'zilishdagi mustahkamlik ko'rsatkichlarini aniqlash.

Cho‘zilishdagi mustahkamlik sinovlari. Konstruksiya qismlari mustahkam bo‘lishi uchun uning xavfli ko‘ndalang kesimlarida hosil bo‘ladigan maksimal normal kuchlanish shu namuna materiali uchun ruxsat etilgan normal kuchlanishdan ortib ketmasligi zarur.

Test sinovlari uchun “Quymakorlik texnologiyalari” ilmiy laboratoriyasi 0.9%, 1.2%, 1.5%, 1.8% miqdorda Ni kukunlari kiritilib har miqdor bo‘yicha 5 donadan quyma namunalari tayyorlab olindi. Quyib olingan namunalarga mexanik ishlov berilib belgilangan o‘lchamlarga keltirildi.

Tadqiqotlarda har bir namunalarning cho‘zilishdagi mustahkamlik chegarasi (UTS), elastiklik chegarasi (YS) hamda cho‘zilishdagi uzayish foizi (EL) ekani ko‘rsatkichlarini aniqlab oldik. Qotishmaga qo‘yilgan standart ko‘rsatkichlar, UTS \geq 155 MPa; YS \geq 130 MPa; EL \geq 0.5 % (9-jadval).

9 – jadval

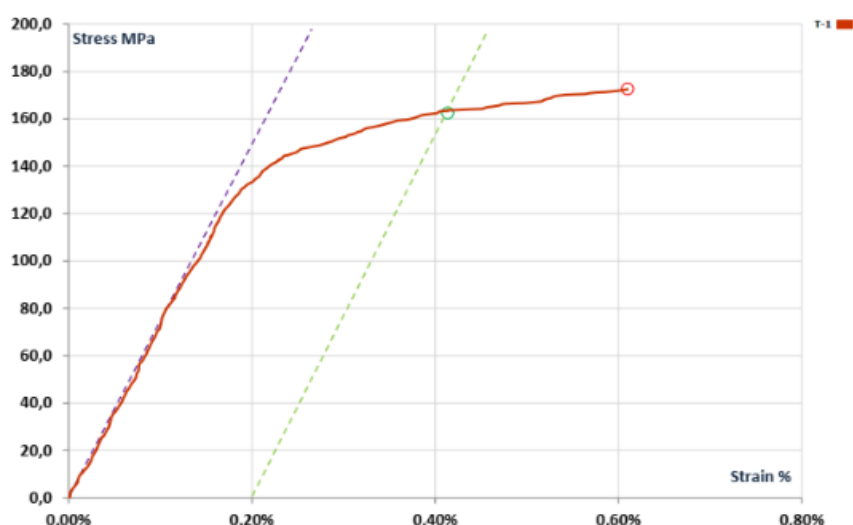
Tadqiqot namunalarining o‘rtacha cho‘zilishdagi mustahkamlik ko‘rsatkichlari.

Ni zarralari miqdori, %	LM24	LM24+0.9Ni	LM24+1.2Ni	LM24+1.5Ni	LM24+1.8Ni
Cho‘zilishdagi mustahkamlik chegarasi (UTS), MPa	172.57	176.25	182.51	181.43	179.66
Elastiklik chegarasi, (YS) MPa	162.42	161.32	169.39	168.21	164.18
Cho‘zilishdagi uzayish foizi (EL), %	0.61	0.69	0.73	0.74	0.67

10 – jadval

Tarkibiga Ni kukunlari kiritilmagan tadqiqot namunalarining statik test sinov natijalari

Namuna	Kesim yuzasi, mm ²	Qo‘yilgan maksimal kuch, kgF	Mustahkamlik chegarasi, MPa	Cho‘zilishdagi uzayish, %	Elastiklik chegarasidagi kuch, KgF	Elastiklik chegarasi, MPa
LM24	28.26	497.26	172.57	0.61	468.01	162.42

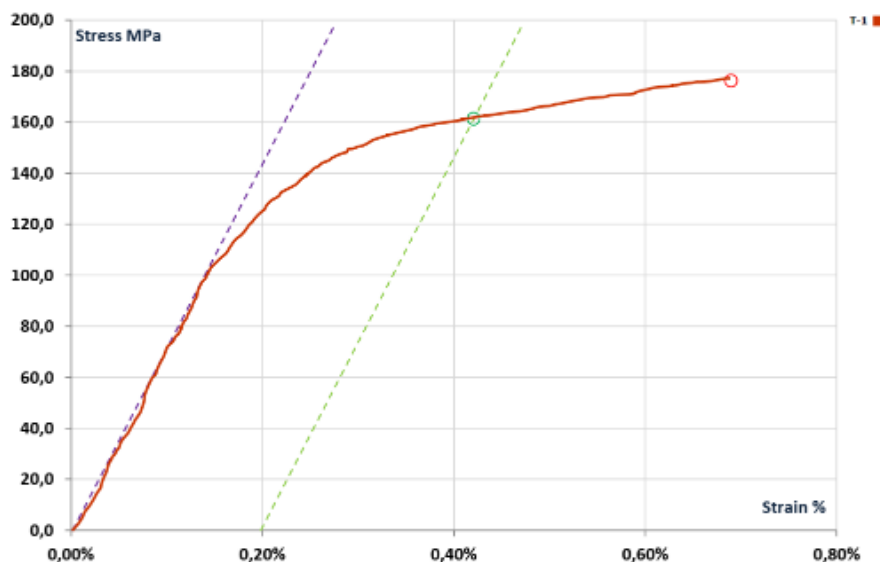


9-rasm. Ni kiritilmagan namunaning kuchlanish–deformatsiya grafigi

11-jadval

Tarkibiga 0.9 % miqdorda Ni kukunlari kiritilgan tadqiqot namunalarining statik test sinov natijalari

Namuna	Kesim yuzasi, mm ²	Qo'yilgan maksimal kuch, kgF	Mustahkamlik chegarasi, MPa	Cho'zilish-dagi uzayish, %	Elastiklik chegarasidagi kuch, KgF	Elastiklik chegarasi, MPa
LM24 +0.9Ni	28.26	507.86	176.25	0.69	464.84	161.32

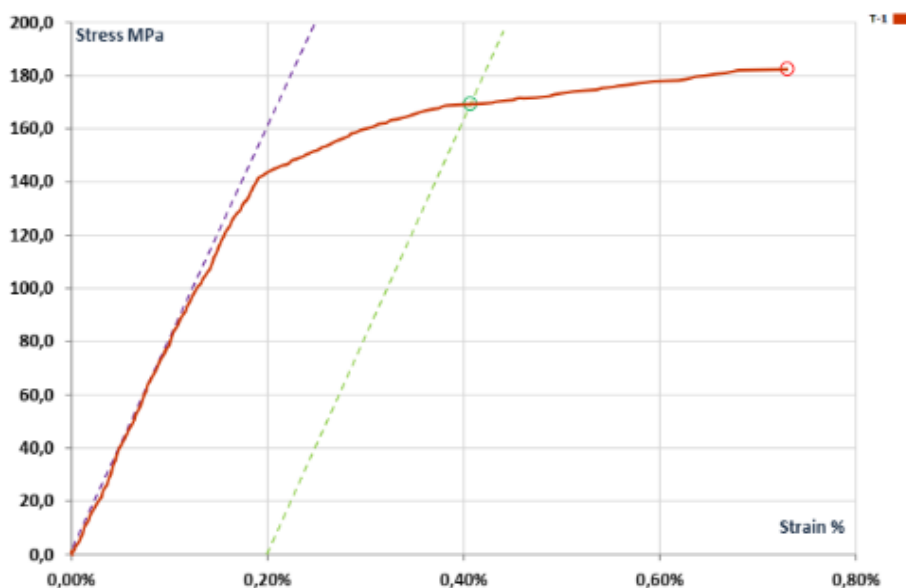


10-rasm. 0.9 % Ni kiritilgan namunaning kuchlanish–deformatsiya grafigi

12-jadval

Tarkibiga 1.2 % miqdorda Ni kukunlari kiritilgan tadqiqot namunalarining statik test sinov natijalari

Namuna	Kesim yuzasi, mm ²	Qo'yilgan maksimal kuch, kgF	Mustahkamlik chegarasi, MPa	Cho'zilish-dagi uzayish, %	Elastiklik chegarasidagi kuch, KgF	Elastiklik chegarasi, MPa
LM24 +1.2Ni	28.26	525.90	182.51	0.73	488.09	169.39

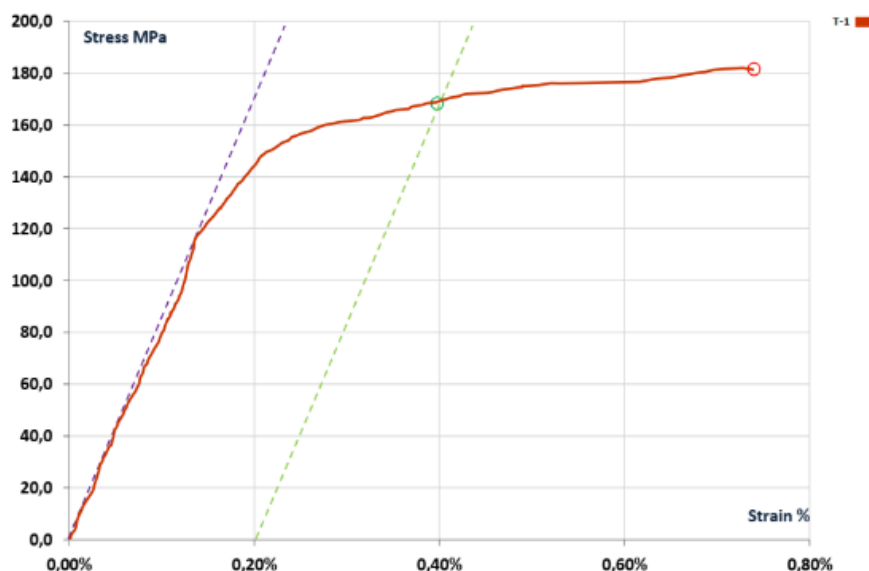


11-rasm. 1.2 % Ni kiritilgan namunaning kuchlanish–deformatsiya grafigi

13 – jadval

Tarkibiga 1.5 % miqdorda Ni kukunlari kiritilgan tadqiqot namunalarining statik test sinov natijalari

Namuna	Kesim yuzasi, mm ²	Qo‘yilgan maksimal kuch, kgF	Mustahkamlik chegarasi, MPa	Cho‘zilish-dagi uzayish, %	Elastiklik chegarasidagi kuch, KgF	Elastiklik chegarasi, MPa
LM24 +1.5Ni	28.26	522.79	181.43	0.74	168.21	484.69

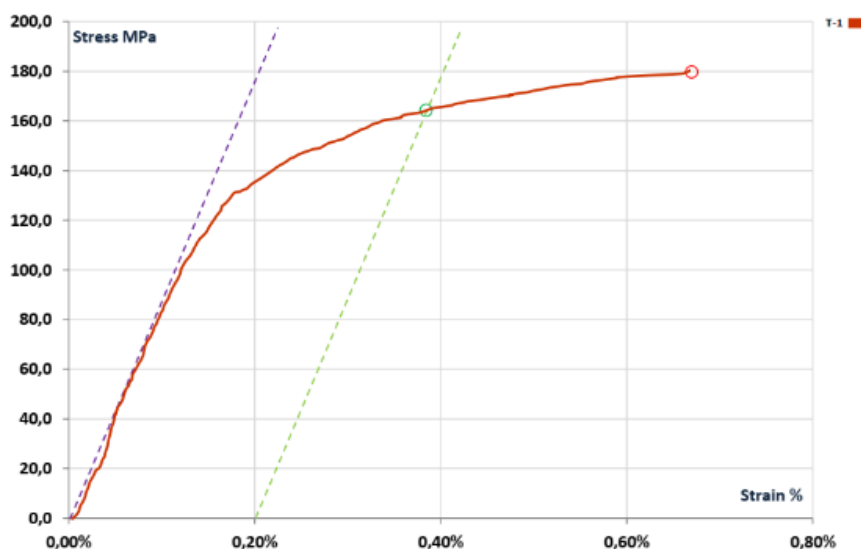


12-rasm. 1.5 % Ni kiritilgan namunaning kuchlanish–deformatsiya grafigi

14 – jadval

Tarkibiga 1.8 % miqdorda Ni kukunlari kiritilgan tadqiqot namunalarining statik test sinov natijalari

Namuna	Kesim yuzasi, mm ²	Qo‘yilgan maksimal kuch, kgF	Mustahkamlik chegarasi, MPa	Cho‘zilish-dagi uzayish, %	Elastiklik chegarasidagi kuch, KgF	Elastiklik chegarasi, MPa
LM24 +1.8Ni	28.26	517.69	179.66	0.67	473.08	164.18



13-rasm. 1.8 % Ni kiritilgan namunaning kuchlanish–deformatsiya grafigi

Ni elementining suyuqlanish harorati juda yuqori hisoblanadi, ammo uni Al qotishmasida kukun shaklida bir tekis taqsimlanishini ta'minlash bu qiyib jarayondir. Qotishmani suyuqlantirib Ni kiritish davrida uning bir qismi oksidlanib shlakka chiqib ketib qolishi yoki qotishmada notekis taqsimlanishi mumkin. Bu esa qotishmaning mexanik xossalariga salbiy ta'sir ko'rsatadi.

Biz ushbu tadqiqotlarda legirlovchi sifatida LM24 alyuminiy qotishmasiga 0.6, 0.9, 1.2, 1.5, 1.8 % miqdorda Ni kukunlari qo'shib va suyuqlantirish jarayonida flyuslardan foydalangan holda Ni elementining kuyish foizini kamaytirish ustida tadqiqotlar o'tkazdik. Tadqiqotlar ikki hil usulda olib borildi. Dastlabki bosqichda qotishma 660-670 °C da to'liq suyuqlantirib olindi hamda Ni kukunlari kiritildi hamda harorai 710 °C chiqarilib 8 daqiqa vaqt davomida tutib turildi, so'ngra qotishma og'irligidan kelib chiqib 2 % miqdorda flyus (47.5% NaCl, 47.5% KCl, va 5% Na₃AlF₆ yoki CaF₂) suyuq qotishmaning yuzasiga sepildi va haroratni yana +10 °C ga ko'tarib 720 °C da 3 daqiqa turib turildi. 3 daqiqadan so'ng qotishma aralastirildi va yana qotishma og'irligidan kelib chiqib 5 % miqdorda flyus (47.5% NaCl, 47.5% KCl, va 5% Na₃AlF₆ yoki CaF₂) suyuq qotishma yuzasiga sepilib 4 daqiqa davomida shu haroratda tutib turildi. Bunda flyus (47.5% NaCl, 47.5% KCl, va 5% Na₃AlF₆ yoki CaF₂) himoya qatlami hosil qilib gazlarni tashqariga chiqarib hamda Ni elementini yo'qotilishini ta'minlab berdi.

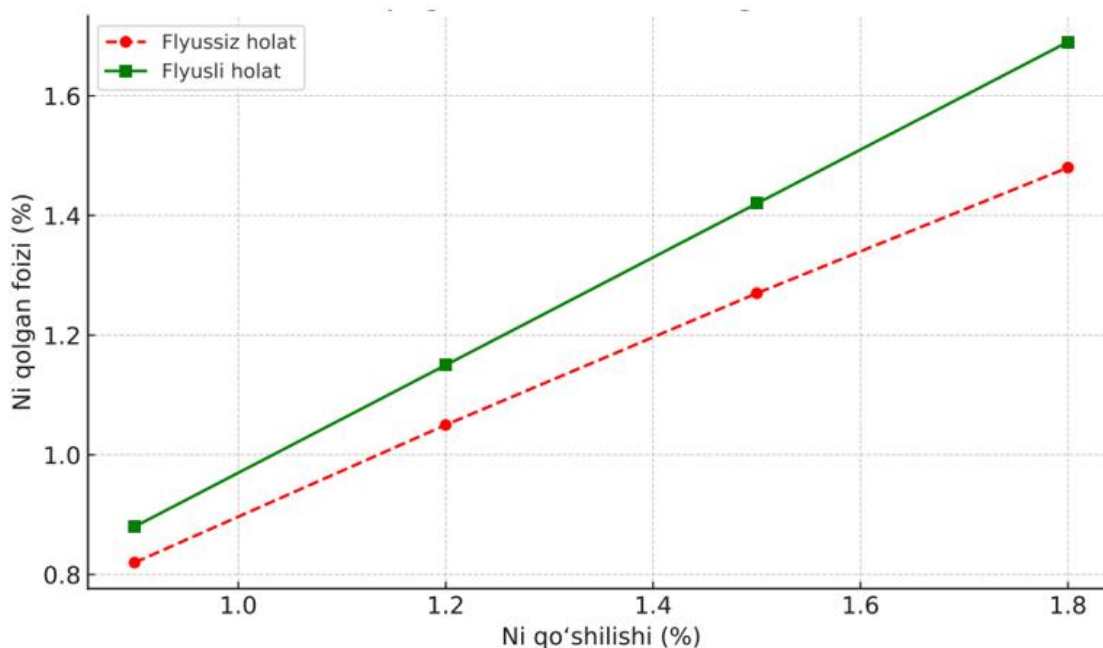
15-jadval

Tadqiqotlar uchun flyus qo'llanilgan va qo'llanilmagan natijalarning taqqoslash tahlillari

Namunalar	Flyus qo'llanilganda Ni miqdori, %	Flyus qo'llanilmaganda Ni miqdori, %
LM24+0.9Ni	0.88	0.82
LM24+1.2Ni	1.15	1.05
LM24+1.5Ni	1.42	1.27
LM24+1.8Ni	1.69	1.48



14-rasm. SPEKTROMETR-M5000 jihozida namunalarning kimyoviy tarkibi tahlil qilish jarayoni



15-rasm. Suyuqlantirishda kiritilgan Ni zarralarining flyus bog‘liqlik grafigi

Yuqoridagi grafikda qotishmaga legirlovchi sifatida Ni kiritilishida suyuqlan tirish jarayonida flyus qo‘llanilgan va qo‘llanilmagan holatlarda qolgan Ni miqdori taqqoslash tahlillari keltirilgan. Grafikdan ko‘rinadiki, flyus ishlatilganda Ni yo‘qotilishi sezilarli miqdorda kamaygan, bunda flyus oksidlanishga qarshi himoya qiluvchi bo‘lib xizmat qildi.

Dissertatsiyaning “**Alyuminiy qotishmalarining yeyilishbardoshligini oshirish texnologiyasini takamillashtirishning matematik modelini ishlab chiqish**” deb nomlangan to‘rtinchi bobida tadqiqot tahlillari asosida olingan natijalardan foydalangan holda matematik modellashtirish natijalari keltirilgan.

Ishlab chiqarish sharoitida o‘tkazilgan murakkab amaliy tajribalar natijasida olingan 16-jadvaldagi sonli ma‘lumotlar asosida matematik modellashtirish amalga oshiriladi. Yuqori aniqlikka ega bo‘lgan bunday model tajriba natijalarini tahlil qilish va umumlashtirish jarayonini ancha soddalashtiradi.

16-jadvalda keltirilgan miqdoriy ko‘rsatkichlarni matematik jihatdan talqin etish maqsadida, ularni funksional bog‘lanish shaklida ifodalovchi ko‘phad (polinom) tenglamalari quriladi. Umumiy nazariyaga ko‘ra, bu jarayon interpolyatsion ko‘phad tuzish orqali amalga oshiriladi.

16-jadval

Vaqt birligida yeyilishbardoshlikning qolip turlariga bog‘liqligi qiymatlari

Vaqt, min		1	2	3	4	5	6
Yo‘qotilgan og‘irlik, gm	Gips asosli qolip	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.16
	Qum-gilli qolip	0.11	0.14	0.17	0.20	0.22	0.30
	Metall qolip	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.16

Lagranj interpolyatsion ko‘phadini $P(x)$ desak, $P(x_0) = y_0, P(x_1) = y_1, \dots, P(x_n) = y_n$ tenglamalar sistemasini yechish lozim bo‘ladi. Oshkor ko‘rinishda bu tenglamalar sistemasi quyidagi ko‘rinishga ega:

Agar turli qoliplarni bitta umumiy tenglama bilan ifodalamoqchi bo'lsak, quyidagi ko'p omilli maqsad funksiyasini tuzishimiz zarur bo'ladi:

$$G(t, K) = (a_0 + a_1K) + (b_0 + b_1K)t + (c_0 + c_1K)t^2, \quad (6)$$

bunda K – qolip turi uchun empirik koeffitsiyent (masalan: metall = 1, gips = 2, qum-gil = 3); a_i, b_i, c_i – regressiya natijalariga ko'ra aniqlanadigan parametrlar.

Tuzilgan matematik model asosida ta'kidlash lozimki, yeyilish jarayoni vaqt davomida avval chiziqli o'sadi, so'ngra turg'unlashib boradi. (3), (4) va (5) maqsad funksiyalari orqali yeyilish tezligi, qolip materiali ta'siri va qotishma chidamliligi miqdoran baholanadi. Bu modellar alyuminiy qotishmasining yeyilish bardoshligini oshirish bo'yicha qolip materiali, issiqlik almashinuvi va ishqalanish sharoitlarining ta'sirini baholashga xizmat qiladi.

(3), (4) va (5) ifodadagi funktsiyaning ishonchliligini maxsus mezonlar, masalan, Fisher mezoni yordamida o'tkazilgan tahlil natijasida ishlab chiqamiz.

Gips asosli qolip uchun $R^2 = 0,991$. Qum-gilli qolip uchun $R^2 = 0,9727$. Metall qolip uchun $R^2 = 0,9624$ bo'lib, modelning aniqligi 96,2 % dan kam emasligini ko'rish mumkin. Bu esa yaratilgan matematik model ishlab chiqarish sharoitidagi murakkab amaliy tajribalarni sezilarli darajada soddalashtirib, keyingi o'xshash tajribalarning natijalarini ularni bevosita o'tkazmasdan oldindan aniqlash imkonini berishini ko'rsatadi. Natijada, bu yondashuv yuqori iqtisodiy samaradorlikni ta'minlaydi.

Xulosa

Alyuminiy qotishmalarining yeyilishbardoshligini oshirish texnologiyasini takamillashtirish bo'yicha o'tkazilgan ilmiy-tadqiqotlar natijalarining tahlillari asosida quyidagi asosiy xulosalar berilgan:

1. Alyuminiy qotishmasini turli quymakorlik qoliplarida quyib olishning qotishma yeyilishbardoshligiga ta'siri tadqiq qilingan. Bu qotishma uchun quymakorlik qoliplarini tanlab olish uchun xizmat qiladi.

2. Alyuminiy qotishmasini suyuqlantirishda legirlash texnologiyasi ishlab chiqilgan. Natijada qotishmaning yeyilishbardoshlik ko'rsatkichi 1.2 marta yaxshilandi. Bu yeyilishbardosh qotishmalarni ishlab chiqish uchun xizmat qiladi.

3. Alyuminiy qotishmasini suyuqlantirishda Ni kukunlarini kiritish texnologiyasi ishlab chiqilgan. Natijada qotishmaning qattiqligi 1.1 marta zarbiy qovushqoqlik ko'rsatkichi esa 1.5 marta yaxshilangan. Bu qotishmaga optimal Ni kukunlarini miqdorini tanlash uchun xizmat qiladi.

4. Alyuminiy qotishmasini suyuqlantirishda Ni kukunlarini kiritish texnologiyasi ishlab chiqilgan. Natijada qotishmaning cho'zilishdagi mustahkamlik chegarasi hamda elastiklik chegarasi ko'rsatkichlari 1.1 marta yaxshilangan.

5. Alyuminiy qotishmasini suyuqlantirishda qotishma va unga kiritilgan legirlovchining kuyish miqdorini kamaytirish uchun himoya flyusini ikki bosqichda kiritish texnologiyasi ishlab chiqilgan. Bu suyuqlantirish davomida foydali

elementlarni oksidlanishdan himoya qilish samaradorligini oshirish uchun xizmat qiladi.

6. Alyuminiy qotishmasining yeyilishbardoshlik va bosgqa mexanik xossalarinini oshirish texnologiyasining joriy qilish natijasida yillik samaradorlik 720 million so‘mni tashkil qildi.

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

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

ТУРАЕВ АНВАР НОРМАМатович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ
ИЗНОСОСТОЙКОСТИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

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

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

Ташкент – 2026

Тема диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2025.1.PhD/T3911

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на двух языках (узбекский, русский и английский (резюме)) размещен на веб – странице (www.tdtu.uz) и информационно – образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель: Атажанов Гапур Латибович
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: Дуняшин Николай Сергеевич
доктор технических наук, профессор

Абдурахмонов Хусниддин Закирханович
доктор философии (PhD) по техническим наукам, доцент

Ведущая организация: Наманганский государственный технический университет

Защита диссертации состоится «1» «мая» 2026 г. в 14⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc. 03/2025.27.12.T.02.04 при Ташкентского государственного технического университета (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2.Тел./факс: (99871)227- 10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz)

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрирована за № 99) (Адрес: 100095, г. Ташкент, Алмазарский район, ул. Университетская, 2. Тел./факс: (99871) 227-10-32).

Автореферат диссертации разослан 17.04.2026 года.
(реестр протокол рассылки № 211 от 14 апреля. 2026 года).



К.А. Каримов
Председатель научного совета
по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор

Ш.Б. Ташбулатов
Ученый секретарь научного совета
по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук (DSc), доцент

Н.Д. Тураходжаев
Председатель научного семинара при научном
совете по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (автореферат диссертации доктора философии (PhD))

Необходимость и актуальность темы диссертации. В мире на сегодняшний день при производстве деталей для машиностроения и авиационной промышленности из алюминиевых сплавов особое значение приобретает повышение их износостойкости. В то же время одной из важных задач является обеспечение их легкости, оптимизация их состава в зависимости от условий производства, разработка эффективных способов легирования и применения модификаторов. В связи с этим в научно-исследовательских лабораториях развитых стран, в том числе США, Китая, Англии, Германии, Японии, Индии, России, Украины и других стран, особое внимание уделяется совершенствованию технологий производства деталей машиностроения и авиации из алюминиевых сплавов, улучшению их механических и литейных свойств, повышению износостойкости.

В мире ведутся масштабные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по легированию и модифицированию сплавов с целью обеспечения требуемых механических свойств при литье деталей машин из алюминиевых сплавов. В частности, большое значение имеет разработка технологий, направленных на улучшение химического состава и механических свойств алюминиевого сплава LM24 путём введения в него новых элементов. Кроме того, создание эффективных и экономически выгодных технологий продления срока службы деталей из этого сплава, широко применяемого в машиностроении и авиационной промышленности, является актуальной задачей.

В Республики растёт спрос на алюминиевые сплавы в машиностроении, транспорте, энергетике и строительстве нашей республики. В Узбекистане модернизация промышленных отраслей и производство импортозамещающей продукции определены в качестве одного из приоритетных направлений государственной политики. В этой связи Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № ПФ-60 «О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы», ...по снижению потерь в отраслях промышленности и повышению эффективности использования ресурсов... ещё больше повышают актуальность исследований в данной области. В этих документах одной из основных задач обозначено производство прогрессивных материалов в народном хозяйстве, внедрение энергосберегающих технологий и выпуск высококачественной продукции на основе местного сырья. В связи с этим вопрос совершенствования технологий повышения коррозионной стойкости алюминиевых сплавов имеет стратегическое значение для промышленности страны.

Диссертационное исследование в определённой степени служит реализации задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан № ПФ-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы», Постановлением № ПК-3682 от 27 апреля 2018 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов», Постановлением № ПК-4124 от 17 января 2019 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности

предприятий горно-металлургической отрасли», Постановлением № ПК-5159 от 24 июня 2021 года «О дополнительных мерах по развитию горно-металлургической промышленности и связанных с ней отраслей», а также другими нормативно-правовыми документами, относящимися к данной сфере деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с требованиями приоритетного направления развития науки и технологий республики II «Энергетика, энерго-и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. На сегодняшний день учеными мира, в том числе немецкими учеными В. Хуцайлюком и другими проведены исследования по "Повышению износостойкости алюминиевого сплава марки 7075," учеными Чунцинского университета Китая Ху Ли и другими проведены исследования по "Повышению коррозионной и износостойкости алюминиевых сплавов в морской технике," профессором Карабукского университета Турции Явуз Сун проведены исследования по "Повышению износостойкости алюминиевых сплавов путем добавления 1-2% элемента Титана в алюминиевый сплав," индийскими учеными Марри Бхаскар и Тамилселвамом Наллусами проведены исследования по "Снижению содержания газа в алюминиевых сплавах при плавке" и получены положительные результаты.

В странах СНГ, в частности, учеными Тольяттинского государственного университета России М.М. Кришталем и другими разработана технология обеспечения износостойкости деталей, отлитых из алюминивно-кремниевых сплавов, методом "микродугового окисления" для работы в экстремальных условиях трения. Российские ученые А.В. Иванов, П.Н. Сидоров, Е.Л. Кравченко (2019) изучали механизмы повышения износостойкости путем введения наночастиц в алюминиевые сплавы. Белорусские ученые Л. Петрович и О. Жукова (2021) проводили исследования по улучшению трибологических свойств с помощью анодирования и ионно-плазменных покрытий. Казахстанские ученые Р. Баймуханов, Н. Куатов (2022) и С. Аманов (2021) экспериментально доказали механизмы повышения износостойкости алюминиевых композитов на основе частиц SiC, TiB₂ и графена. Также российские ученые В.А. Кузнецов, А.П. Морозов (2020) и Т. Смирнова, И. Чернов (2021) проанализировали микроструктуру и поверхностные свойства алюминиевых сплавов после термической обработки. Эти работы создают научную основу для разработки передовых технологий в масштабах СНГ.

Ведущие ученые Узбекистана, такие как Н.Д.Тураходжаев, А.О.Шазимов, Ю.Н.Мансуров, Ф.С.Абдуллаев, Г.Л.Атажанов провели ряд исследований по улучшению литейных и механических свойств алюминиевых сплавов и добились положительных результатов. Отечественные исследователи С. Юлдашев, Ф. Каримов, С. Ганиев (2020-2023) проанализировали процессы окисления, модификации и термической обработки поверхности алюминиевых сплавов и определили оптимальные технологические режимы. Д. Рахимов, М. Абдурахмонов (2022) провели эксперименты по повышению износостойкости

алюминиевых композитов, изготовленных с использованием графита и борных добавок. Б. Исмаилов (2021) изучал типы покрытий, служащих для повышения поверхностной прочности сплавов на основе Al-Si-Mg, а У. Кадыров и Ж. Эргашев (2023) исследовали влияние механической обработки и термического упрочнения на трибологические результаты.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ Ташкентского государственного технического университета в рамках фундаментального проекта № IL-210321288 "Разработка технологии снижения количества газовых и неметаллических примесей в литых изделиях, получаемых из алюминиевых сплавов в газовых печах" и фундаментального проекта № IL-5421101878 "Разработка научных основ повышения механических, физических и эксплуатационных свойств алюминиевых сплавов" между Ташкентским государственным техническим университетом и Агентством инновационного развития.

Целью исследований является совершенствование технологии повышения коррозионной стойкости алюминиевых сплавов.

Задачи исследования:

исследование влияния литья алюминиевого сплава в различных литейных формах на износостойкость сплава;

повышение износостойкости сплава на основе воздействия на сплав порошков Ni в качестве легирующего при плавке алюминиевых сплавов;

улучшение ударной вязкости сплава на основе воздействия на сплав порошков Ni в качестве легирующего при плавке алюминиевых сплавов;

улучшение прочности сплава при растяжении на основе воздействия на сплав порошков Ni в качестве легирующего при плавке алюминиевых сплавов;

уменьшение количества выгорания сплава на основе защитного флюса и вводимого в него легирующего при плавке алюминиевого сплава.

Объектом исследования является крышка распределительного вала, отливаемая из сплава LM24 на СП UzAuto-INZI.

Предметом исследования является технология повышения износостойкости алюминиевого сплава марки LM24.

Методы исследования. Для структурного анализа исследуемых образцов использовали металлографический электронный микроскоп модели LV150N. Твердость образцов по методу Бриннеля Химический состав сплава определяли методом спектрофотометра модели "СПЕКТРОМЕТР-М5000" Для определения ударной вязкости исследуемых образцов использовался метод теста Чарпи. Для определения предела прочности образцов при растяжении использовался метод универсальных статических испытаний. Для определения износостойкости исследуемых образцов использовался метод горизонтального алмазного дискового истирания.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана технология легирования алюминиевого сплава порошком Ni на основе свойств сплава, образуемого сплавом на основе Al_3Ni с матрицей сплава;

разработана технология повышения ударной вязкости алюминиевого сплава на основе свойства обеспечения формирования фаз Al_3Ni и Al_7Cu_4Ni ;

разработана технология улучшения прочности на растяжение алюминиевых сплавов на основе того, что порошки Ni обеспечивают образование интерметаллических фаз в сплаве;

разработана технология повышения износостойкости алюминиевого сплава на основе динамики изменения теплопроводности формы в зависимости от температуры металла;

разработана технология снижения количества вводимого легирующего вещества при плавке алюминиевого сплава на основе разности эффективности защиты защитного флюса от окисления и его активности по отношению к кислороду.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

в результате внедрения технологии легирования для повышения износостойкости алюминиевых сплавов достигнуто значительное повышение износостойкости алюминиевого сплава;

внедрена технология внутриковшовой обработки алюминиевых сплавов, в результате чего ударная вязкость получаемых литых изделий увеличилась до 5 процентов;

внедрен состав защитного флюса при плавке алюминиевых сплавов, в результате чего экономический эффект достигнут за счет снижения расхода металла на 18%;

улучшение ударной вязкости сплава на основе воздействия порошков Ni на сплав в качестве легирующего вещества при плавлении алюминиевых сплавов.

Достоверность результатов исследования. В качестве методов исследования для анализа микроструктуры использовался металлографический электронный микроскоп модели LV150N, для определения твердости — прибор типа «Rockwell type hardness tester FR», химический состав сплава определялся с помощью спектрофотометра модели «СПЕКТРОМЕТР-М5000», ударная вязкость оценивалась методом испытания Шарпи (Charpy), а также для определения других показателей применялись методы, предусмотренные государственными стандартами.

Научная и практическая значимость результатов исследований. Научная значимость результатов, полученных в ходе исследования, характеризуется обеспечением ресурсо-и энергосбережения на основе анализа научных исследований ведущих ученых, обработки алюминиевых сплавов флюсами в газовой печи; рафинирования в ковше и оптимизации конструкции газовой печи.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что при плавлении алюминиевого сплава марки ЛМ24 и изготовлении из него качественного литого изделия, в результате модифицированной ковшовой обработки сплава повысились износостойкие свойства сплава, а также за счет

разработки режимов предварительного нагрева алюминиевой шихты перед загрузкой в газовые печи повысилась энергоэффективность газовой печи.

Внедрение результатов исследования. По результатам исследований по совершенствованию технологии повышения износостойкости алюминиевых сплавов:

Технология легирования для повышения износостойкости алюминиевых сплавов внедрена в СП ООО "UzAuto-INZI," принадлежащем (справка АО "УзАвтосаноат" № 21/06-25-0372 от 27.02.2025). В результате внедрения износостойкость алюминиевого сплава увеличилась на 9-11%;

Технология внутриковшовой обработки алюминиевых сплавов внедрена в СП ООО "UzAuto-INZI," принадлежащем (справка АО "УзАвтосаноат" № 21/06-25-0372 от 27.02.2025). В результате внедрения ударная вязкость получаемых литейных изделий увеличилась на 4-5%;

Состав защитного флюса для плавки алюминиевых сплавов внедрен в СП ООО "UzAuto-INZI," принадлежащем (справка АО "УзАвтосаноат" № 21/06-25-0372 от 27.02.2025). В результате внедрения количество отжига металла уменьшилось на 16-18%.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования диссертационной работы были обсуждены в общей сложности на 13 конференциях, 10 международных конференциях и 1 тезисе на международных конференциях, индексированных в базе Scopus, 2 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. Всего по теме диссертации опубликовано 20 научных работ. В научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций доктора философии (PhD), опубликовано 7 научных статей, в том числе 6 в республиканских и 1 в зарубежных журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы, перечня условных обозначений и терминов, а также приложений, общий объём составляет 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность и необходимость темы диссертации, формулируются цели и задачи исследования, описываются его объект и предметы, республика наука и технологии разработка приоритет. Показана актуальность исследования по отношению к интересующим направлениям, описаны научная новизна и практические результаты исследования, раскрыта научно-теоретическая и практическая значимость полученных результатов, реализованы результаты исследования на практике, приведены сведения о структуре и объеме опубликованных научных трудов и диссертаций.

В первой главе диссертации под названием **«Разработка технологии повышения коррозионной стойкости алюминиевых сплавов»** проведён анализ литературы по теме, описаны области применения алюминиевых сплавов и их свойства, виды алюминиевых сплавов. Анализ исследований, проводимых в мире по повышению коррозионной стойкости алюминиевых сплавов. Анализ исследований, проводимых в мире по совершенствованию технологий обработки алюминиевых сплавов в печи и в ковше. Анализ исследований, проводимых в мире по совершенствованию состава флюсов, используемых при сжижении алюминиевых сплавов. Экологические проблемы при плавке алюминиевых сплавов и методы их устранения.

Изучены исследования и испытания алюминиевых сплавов зарубежными и узбекскими учеными по повышению износостойкости алюминиевых сплавов.

«Выбор объекта исследования и разработка методологии» диссертации что названный второй в главе для плавки алюминиевых сплавов для исследовательских объектов у СП «УзАвто-ИНЗИ» приобретены 3-тонная газовая печь, алюминиевые сплавы марки ЛМ24, детали переходника 12 и переходника 11, для анализа неметаллических включений и газовых пор в составе исследуемых образцов центральная лаборатория СП «УЗАвто-ИНЗИ» использовала металлографический микроскоп Nikon Eclipse LV150N. В данном случае данный микроскоп через анализ делается образцы 100-2000 до одного раза (Рисунок 1). На основе полученных микроскопических исследований микроструктуры были проанализированы методы контроля неметаллических включений, которые могут вводиться в состав образцов в процессе плавки, а также газовых пор.

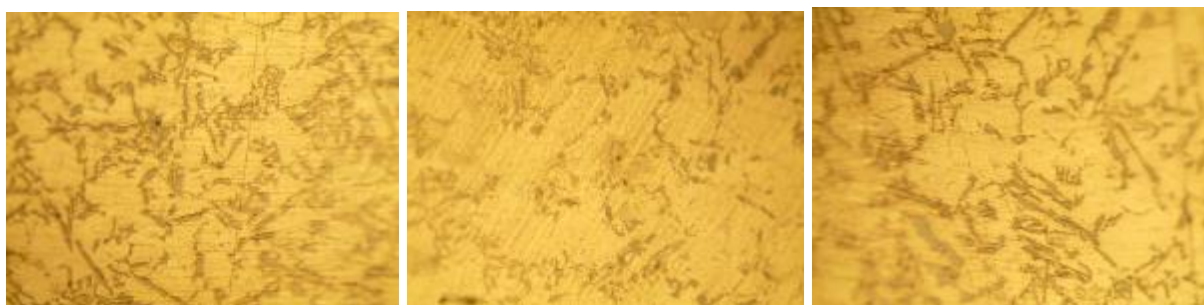


Рисунок 1. ЛМ 24 фирменный алюминий Микроструктурные изображения сплава, полученные на металлографическом микроскопе Nikon Eclipse LV150N

Для проведения микроанализа экспериментальных образцов, полученных в ходе научно-исследовательской работы, использовался спектрометр системы микроанализа. Химический состав сплава определялся на установке «СПЕКТРОМЕТР-М5000» в центральной лаборатории СП «УЗАвто-ИНЗИ».

В третьей главе диссертации **“Исследования по улучшению механических свойств алюминиевых сплавов”** рассмотрено несколько способов литья алюминиевых сплавов. Широко распространённый способ литья в песчано-глинистые формы — это простой и применяемый на протяжении веков метод. В данном способе форма изготавливается из песчано-глинистой смеси на основе модели детали, после чего модель извлекается (либо остаётся на месте,

если она выполнена из плавкого материала), и в форму заливается жидкий металл. Преимущества: низкая себестоимость, возможность использования в экспериментальных целях и для единичного производства деталей сложной геометрической формы. Недостатки: затруднено серийное производство, сложно обеспечить высокую точность размеров и низкую шероховатость поверхности, поэтому требуется дополнительная механическая обработка.

Литьё в металлические формы (кокили). В этом способе расплавленный сплав заливается в форму, изготовленную из металла — стали или чугуна. Форма предназначена для многократного использования. Преимущества: можно получать детали с высокой точностью размеров и гладкой поверхностью, подходит для серийного производства. Недостатки: затруднено получение деталей сложной формы, высокая стоимость изготовления формы.

Литьё под давлением в металлические формы. В этом способе расплавленный сплав заливается под заданным давлением с использованием специальных автоматизированных машин. Преимущества: получение деталей с высокой точностью размеров и гладкой поверхностью, подходит для массового производства. Недостатки: ограниченные возможности получения деталей сложной формы, очень высокая стоимость формы.

Мы провели исследования по улучшению механических свойств сплава путем легирования алюминиевого сплава LM24 порошками Ni. Добавление никеля (Ni) в алюминиевый сплав LM24 (Al-Si8Cu3Fe) рекомендуется в качестве легирующего элемента для улучшения механических свойств этого сплава, в том числе износостойкости и ударной вязкости. Однако при введении в качестве легирующего Ni рекомендуется заранее провести углубленный анализ динамики его содержания, так как в результате превышения нормы содержания Ni хрупкость сплава Al может значительно увеличиться. Поэтому в следующих исследованиях мы применили эту динамику в исследованиях и провели научный анализ результатов.

В наших исследованиях важной целью является повышение износостойкости и сохранение ударной вязкости алюминиевого сплава LM24 (Al-Si8Cu3Fe). В разработанных методах исследований введение в сплав элемента никеля в количестве 0,5-1,5% обеспечивает равновесие этих двух важных показателей. Поэтому мы решили экспериментировать с этими значениями. То есть, при этом интерметаллические соединения в сплаве, Al₃Ni, равномерно распределяются по матрице сплава, что повышает устойчивость микроструктуры сплава за счет снижения концентраций напряжений. При этом образуются дисперсные усиливающие фазы. В результате повышается износостойкость в абразивных и адгезивных средах. Ударная вязкость также не уменьшается, то есть сплав не образует хрупкого соединения. Кроме того, добавление Ni несколько повышает термостойкость сплава, что расширяет возможности его использования в высокотемпературных средах. Добавление Ni сверх оптимального количества может привести к появлению большого количества избыточных интерметаллических фаз, образованию зон хрупкости в микроструктуре и резкому снижению ударной вязкости.

В качестве легирующего элемента в алюминиевый сплав LM24 (Al-Si8Cu3Fe), выбранный в качестве объекта в наших исследованиях, вводили элемент Ni в виде порошка в различных количествах.

Исследования проводились в научной лаборатории "Технологии литья," в качестве шихты использовали сплав LM24 и плавил в графитовом тигле емкостью 1 кг в электроиндукционной печи. Для каждого содержания легирующего элемента исследования проводились с отдельной плавкой. Образцы исследования отливались в одноразовые песчано-глинистые формы.

Таблица 1

Химический состав сплавов, отобранных для исследований

Марка	Элементы, %									
	Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Ni	Zn	Pb	Ti	Sn
LM24	3.0-	3.0	7.5-	1.3	0.5	0.6	3.0	0.3	0.2	0.2
	4.0	max	9.5	max	max	max	max	max	max	max
N1	3.0-	3.0	7.5-	1.3	0.5	0.9	3.0	0.3	0.2	0.2
	4.0	max	9.5	max	max		max	max	max	max
N2	3.0-	3.0	7.5-	1.3	0.5	1.2	3.0	0.3	0.2	0.2
	4.0	max	9.5	max	max		max	max	max	max
N3	3.0-	3.0	7.5-	1.3	0.5	1.5	3.0	0.3	0.2	0.2
	4.0	max	9.5	max	max		max	max	max	max
N4	3.0-	3.0	7.5-	1.3	0.5	1.8	3.0	0.3	0.2	0.2
	4.0	max	9.5	max	max		max	max	max	max



Рисунок 2. Введение частиц Ni в зависимости от количества шихты

Сплавы расплавляли и заливали в одноразовые песчано-глинистые формы. Отлитые образцы были очищены от формовочных примесей, подвергнуты механической обработке на токарном станке 1К62 и подготовлены к испытаниям механических свойств.

Испытания на износостойкость. Проведены испытания на абразивную износостойкость образцов, введенных в алюминиевый сплав LM24 в

порошкообразном состоянии при различных количествах элемента Ni. Для определения свойств абразивного износа образца использовалось специальное оборудование с алмазным диском. Образцы, содержащие 5 различных количеств элемента Ni в качестве легирующего вещества, были приведены к образцам одинакового размера и веса. Испытание началось, алмазный диск был приведён в движение, и на образец была приложена нагрузка, которая через механизм опорной руки касалась вращающегося диска.



Рисунок 3. Процессы испытаний алюминиевых сплавов LM24 на износостойкость в зависимости от типов литых форм

При нагрузке образцы постоянно подвергались воздействию алмазного диска. Испытания проводились в диапазоне скоростей алмазного диска (от 1 м/с до 4 м/с) под нагрузкой 10 Н. После каждого временного интервала испытаний отмечалась потеря веса образцов под воздействием абразивного износа. Исходя из этого, было определено, что каждый образец теряет объем в течение заданного времени. В результате были рассчитаны значения износа соответственно. Результаты испытаний износостойкости литых образцов в зависимости от содержания никеля по потере веса за единицу времени следующие.

Таблица 2

Зависимость потери массы образцов за единицу времени от содержания Ni.

Время, мин		1	2	3	4	5	6
Потерянный вес, гм	LM24	0.09	0.06	0.08	0.08	0.09	0.10
	LM24+0.9Ni	0.09	0.08	0.07	0.08	0.08	0.09
	LM24+1.2Ni	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04
	LM24+1.5Ni	0.07	0.10	0.10	0.11	0.11	0.13
	LM24+1.8Ni	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09

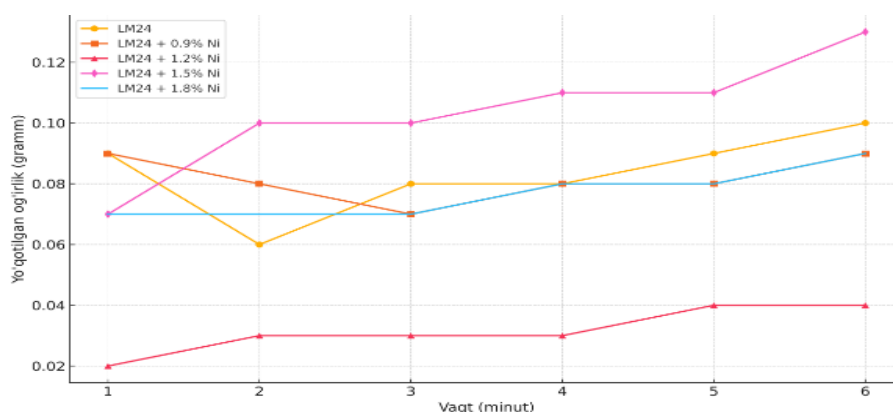


Рисунок 4. Показатели износостойкости в зависимости от количества введенного в алюминиевый сплав LM24 Ni

В процессе испытаний сплава LM24 в чистом состоянии без легирующего Ni наблюдалась относительно высокая и неравномерная величина потери веса в единицу времени. В результате износостойкость сплава LM24 показала относительную чувствительность, т.е. износостойкость недостаточна из-за отсутствия защитных фаз от изнашивания или твердых частиц в матрице (таб.2).

В сплаве с добавлением 0.9% частиц никеля потеря веса за единицу времени несколько уменьшилась, но результат незначителен, т.е. в матрице Al интерметаллические фазы Al₃Ni начинают образовываться в небольшом количестве, но их распределение по объему и плотность недостаточны. Хотя микроструктура в этом сплаве несколько улучшена, он не обладает достаточной износостойкостью. Легирование 1,2% частицами никеля дало наилучшую износостойкость, при этом потеря веса за единицу времени была самой низкой за все установленные сроки. То есть, при этом образовалось достаточное количество частиц интерметаллического Al₃Ni. В сплаве они показали равномерное распределение по объему матрицы. Полученные фазы обеспечивают твердость и износостойкость, а также улучшают микроструктуру, тем самым в качестве оптимального легирующего для сплава LM24 выбрано 1,2% Ni.

При добавлении 1,5% элемента никеля увеличивается потеря веса в единицу времени, что связано с тем, что избыточное количество интерметаллических фаз в матрице в результате высокого количества легирования делает сплав хрупким. Из-за превышения нормы содержания частиц Al₃Ni в микроструктуре они распределены неравномерно. В результате износостойкость сплава снизилась. Следовательно, мы считаем, что такое количество легирования не является оптимальным решением.



Рисунок 5. Процесс определения твердости исследуемых образцов методом Бринелля

Содержание никеля 1,8% также было высоким, но износостойкость была немного лучше по сравнению с 1,5%. Но по сравнению с количеством 1,2%, это не очень хорошо. Поэтому такое количество легирования также не является оптимальным решением. В этом количестве, как и в 1.5, в результате неравномерного распределения и чрезмерного увеличения интерметаллических фаз в матрице сплава возникла хрупкость и не смогла обеспечить износостойкость.

Испытания на твердость. Испытания твердости проводились на образцах, введенных в сплав LM24 в 5 различных количествах.

Оценочные значения твердости по Бринеллю HB сплава LM24, содержащего 0,9% порошка Ni. В ходе исследования твердость по Бринеллю сплава LM24+0,9Ni измерялась 5 раз, и по значениям, полученным в каждом процессе измерения, были получены их средние арифметические значения (табл.3).

Таблица 3

Результаты испытаний твердости по Бринеллю (HB) сплава LM24 с добавлением 0,9 % порошка Ni.

Образец, содержащий 0,9% порошка Ni			
Опыт No	Значение, HB	Глубина следа, d мм	Соотношение D/d
1	89.2	3.71	0.371
2	85.8	3.78	0.378
3	88.3	3.73	0.373
4	83.5	3.83	0.383
5	84.4	3.81	0.381
Среднее значение	86.3	-	-

Здесь параметры формул, используемых для определения значений твердости по Бринеллю, D - диаметр шарика (10 мм) и d - диаметр оставленного следа, мм.

Основываясь на результатах исследования, мы установили, что среднее значение сплава по HB равно 86,3 HB.

Оценочные значения твердости по Бринеллю HB сплава LM24, содержащего порошки Ni в количестве 1,2%. В ходе исследования твердость по Бринеллю сплава LM24+1.2Ni измерялась 5 раз, и по значениям, полученным в каждом процессе измерения, были получены их средние арифметические значения.

Таблица 4

Результаты испытаний твердости по Бринеллю HB сплава LM24, содержащего 1,2% порошка Ni.

Образец, содержащий 1,2% порошка Ni			
Опыт No	Значение, HB	Глубина следа, d мм	Соотношение D/d
1	88.8	3.72	0.372
2	89.2	3.71	0.371
3	89.8	3.70	0.370
4	90.3	3.69	0.369
5	89.2	3.71	0.371
Среднее значение	86.3	-	-

Оценочные значения твердости по Бринеллу HB сплава LM24, содержащего порошки Ni в количестве 1,5%. В ходе исследования твердость по Бринеллю сплава LM24+1.5Ni измерялась 5 раз, и по значениям, полученным в каждом процессе измерения, были получены их средние арифметические значения (табл.5).

Таблица 5

Результаты испытаний твердости по Бринеллу HB сплава LM24, содержащего 1,5% порошка Ni.

Образец, содержащий 1,5% порошка Ni			
Опыт No	Значение, HB	Глубина следа, d мм	Соотношение D/d
1	95.0	3.6	0.360
2	90.8	3.68	0.368
3	94.5	3.61	0.361
4	90.8	3.68	0.368
5	94.5	3.6	0.360
Среднее значение	86.3	-	-

Оценочные значения твердости по Бринеллу HB сплава LM24, содержащего 1,8% порошка Ni. В ходе исследования твердость по Бринеллю сплава LM24+1.5Ni измерялась 5 раз, и по значениям, полученным в каждом процессе измерения, были получены их средние арифметические значения (табл. 6).

Таблица 6

Результаты испытаний твердости по Бринеллу HB сплава LM24, содержащего 1,8% порошка Ni.

Образец, содержащий 1,8% порошка Ni			
Опыт No	Значение, HB	Глубина следа, d мм	Соотношение D/d
1	95.5	3.59	0.359
2	95.0	3.6	0.360
3	95.5	3.59	0.359
4	94.5	3.6	0.360
5	94.5	3.6	0.360
Среднее значение	86.3	-	-

Следовательно, значения твердости по HB сплавов, содержащих в качестве легирующего элемента 5 различных количеств частиц Ni в алюминиевом сплаве LM24, приведены на следующем графике. Эти исследования проводились на производственном предприятии UzAuto-INZI. (табл. 7)

Таблица 7

Средние значения твердости (HB) образцов в зависимости от введённого содержания Ni.

Содержание частиц Ni, %	LM24	LM24+0.9Ni	LM24+1.2Ni	LM24+1.5Ni	LM24+1.8Ni
Твёрдость HB	79	86.3	89.5	93.1	95.0

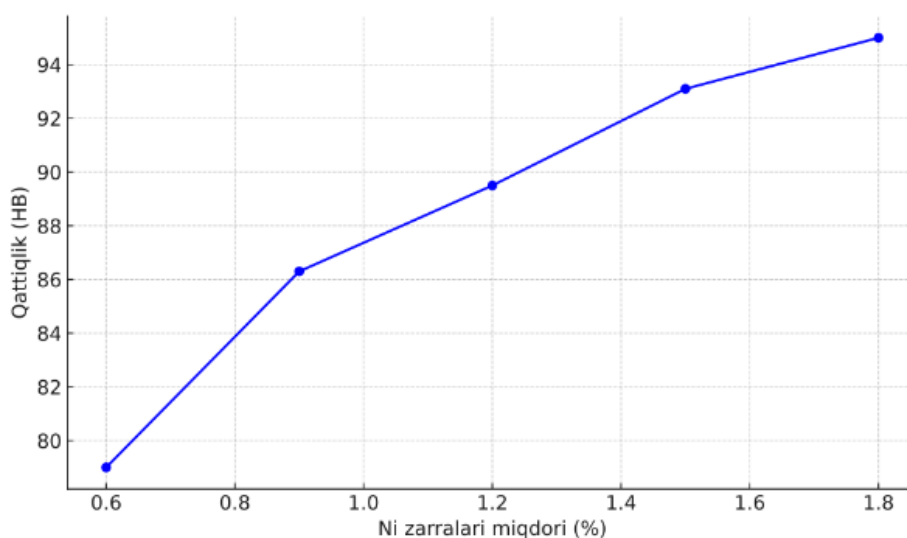


Рисунок 6. Зависимость количества частиц элемента Ni, введенного в сплав LM24 от твердости

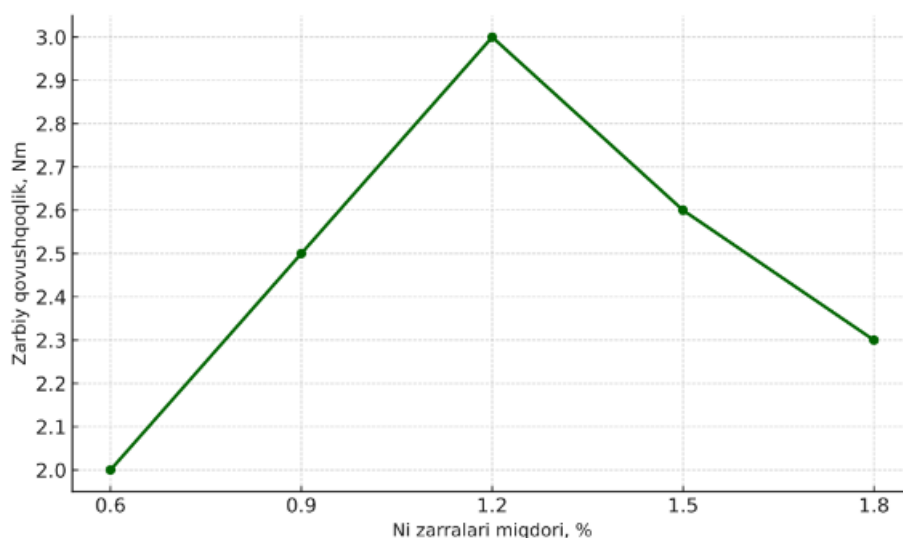


Рисунок 7. Влияние различных количеств порошков Ni на ударную вязкость сплава LM24

Таблица 8

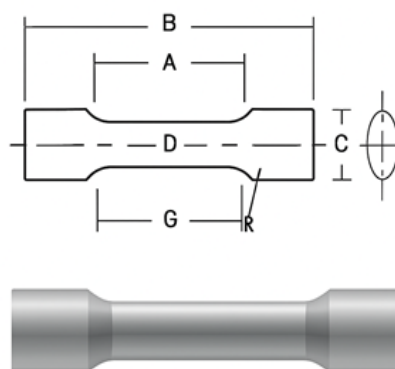
Средние значения ударной вязкости образцов в зависимости от введённого содержания Ni.

Содержание частиц Ni, %	LM24	LM24+0.9Ni	LM24+1.2Ni	LM24+1.5Ni	LM24+1.8Ni
Ударная вязкость, Нм	2.0	2.5	3.0	2.6	2.3

Алюминиевый сплав LM24 обладает хорошими литейными и механическими свойствами. Однако для некоторых ответственных применений требуется относительное улучшение его ударной вязкости. Как мы наблюдали выше при заливке в различные формы, мы экспериментально определили, что средняя ударная вязкость сплава при заливке в песчано-глинистую форму составила 2,0 Нм. Этот сплав обычно относительно хрупкий и подвержен разрушению.

Мы провели исследования с целью улучшения механических свойств этого сплава, в том числе ударной вязкости. То есть, мы добавили порошок элемента Ni в состав сплава в количествах 0,9%, 1,2%, 1,5%, 1,8%. В этом случае порошки Ni образовали термостабильные интерметаллические фазы в сплаве. В частности, это привело к образованию твердых и стабильных частиц, таких как Al₃Ni, Al₇Cu₄Ni. Частицы Ni в сплаве не только равномерно распределяют напряжение, но и стабилизируют микроструктуру сплава, а также помогают гасить энергию под воздействием удара в частях, работающих с нагрузками.

По результатам исследований было замечено, что ударная вязкость сплава, содержащего 0,9-1,2% порошка Ni, значительно улучшилась, особенно в сплаве, содержащем 1,2%, этот показатель составил в среднем 3,0 Нм. То есть, в этом сплаве обеспечивалось равномерное распределение частиц Al₃Ni по объему. В сплаве с содержанием порошков Ni 1,5% и 1,8% наблюдается обратный результат. После 1,5% показатели ударной вязкости снизились и составили в среднем 2,6 Нм. В сплаве, добавленном в количестве 1,8%, мы видим, что этот показатель снова составляет в среднем 2,3 Нм. Основной причиной такой ситуации является превышение нормы интерметаллических фаз в матрице сплава и неравномерное распределение по объему. Это приводит к образованию хрупких фаз и образованию микротрещин.



A = 36 мм	D = 6 мм
B = 100 мм	G = 30 мм
C = 9 мм	R = 6 мм

Рисунок 8. Определение прочностных показателей сплава при растяжении на универсальном тестовом оборудовании.

Испытания на прочность при растяжении. Для прочности частей конструкции максимальное нормальное напряжение, возникающее в ее опасных поперечных сечениях, не должно превышать допустимого нормального напряжения для материала данного образца.

Для тестовых испытаний в научную лабораторию "Технологии литья" вводили порошки Ni в количестве 0,9%, 1,2%, 1,5%, 1,8% и подготавливали 5 образцов литья по каждому количеству. Отливленные образцы подвергались механической обработке и доводились до заданных размеров.

В ходе исследований были определены показатели предела прочности при растяжении (ППР), предела упругости (ПУ) и процента удлинения при растяжении (ПУ) каждого образца. Стандартные показатели на сплав, УТС ≥ 155 МПа; $Y_S \geq 130$ МПа; $EL \geq 0,5\%$. (табл.9)

Таблица 9

Показатели прочности при среднем растяжении исследуемых образцов.

Содержание частиц Ni, %	LM24	LM24+0.9Ni	LM24+1.2Ni	LM24+1.5Ni	LM24+1.8Ni
Предел прочности при растяжении (ППР), МПа	172.57	176.25	182.51	181.43	179.66
Предел упругости, (YS) МПа	162.42	161.32	169.39	168.21	164.18
Процент удлинения при растяжении (EL), %	0.61	0.69	0.73	0.74	0.67

Таблица 10

Результаты статических испытаний исследуемых образцов, содержащих 0,9% порошка Ni

Образец	Площадь сечения, мм ²	Максимальное приложенное усилие, кгФ	Предел прочности, МПа	Удлинение при растяжении, %	Сила на пределе упругости, КгФ Предел	упругости, МПа
LM24	28.26	497.26	172.57	0.61	468.01	162.42

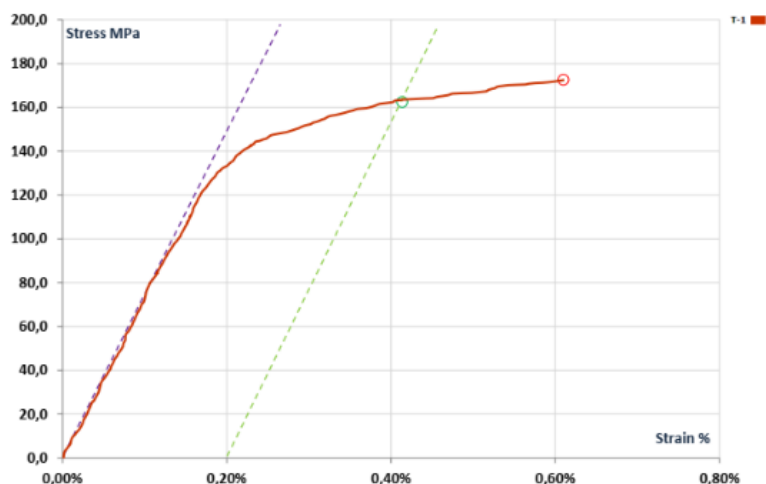


Рисунок 9. Диаграмма напряжение–деформация образца без добавления Ni.

Таблица 11

Результаты статических испытаний исследуемых образцов с добавлением 0,9 % порошка Ni.

Образец	Площадь сечения, мм ²	Максимальное приложенное усилие, кгФ	Предел прочности, МПа	Удлинение при растяжении, %	Сила на пределе упругости, КгФ Предел	упругости, МПа
LM24 +0.9Ni	28.26	507.86	176.25	0.69	464.84	161.32

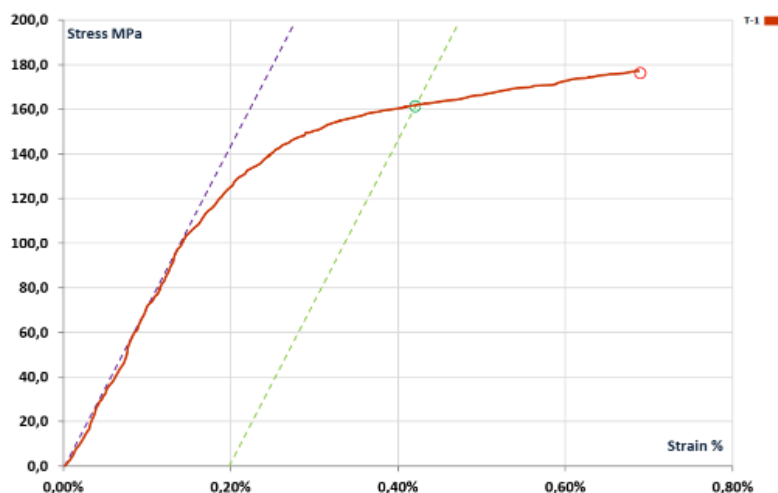


Рисунок 10. Диаграмма напряжение–деформация образца с добавлением 0,9 % Ni.

Таблица 12

Результаты статических испытаний исследуемых образцов с добавлением 1,2 % порошка Ni.

Образец	Площадь сечения, мм ²	Максимальное приложенное усилие, кгФ	Предел прочности, МПа	Удлинение при растяжении, %	Сила на пределе упругости, КгФ Предел	упругост, МПа
LM24 +1.2Ni	28.26	525.90	182.51	0.73	488.09	169.39

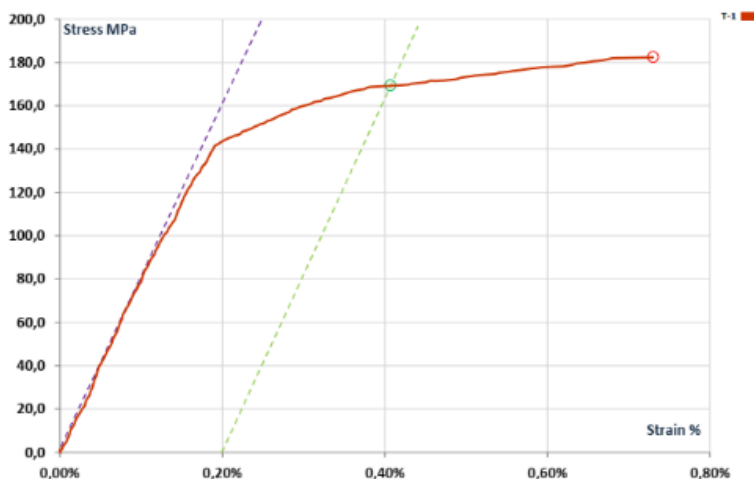


Рисунок 11. Диаграмма напряжение–деформация образца с добавлением 1,2 % Ni.

Таблица 13

Результаты статических испытаний исследуемых образцов с добавлением 1,5 % порошка Ni.

Образец	Площадь сечения, мм ²	Максимальное приложенное усилие, кгФ	Предел прочности, МПа	Удлинение при растяжении, %	Сила на пределе упругости, КгФ Предел	упругост, МПа
LM24 +1.5Ni	28.26	522.79	181.43	0.74	168.21	484.69

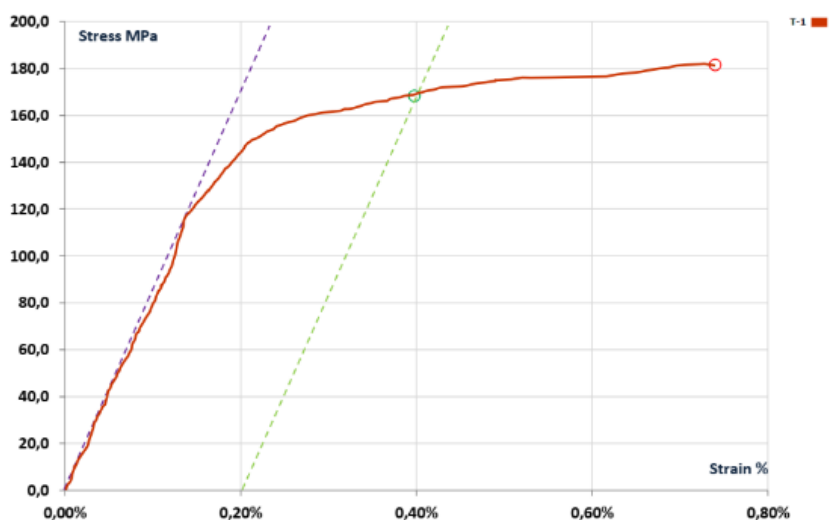


Рисунок 12. Диаграмма напряжение–деформация образца с добавлением 1,5 % Ni.

Таблица 14

Результаты статических испытаний исследуемых образцов с добавлением 1,8 % порошка Ni.

Образец	Площадь сечения, мм ²	Максимальное приложенное усилие, кгФ	Предел прочности, МПа	Удлинение при растяжении, %	Сила на пределе упругости, КгФ Предел	упругост, МПа
LM24 +1.8Ni	28.26	517.69	179.66	0.67	473.08	164.18

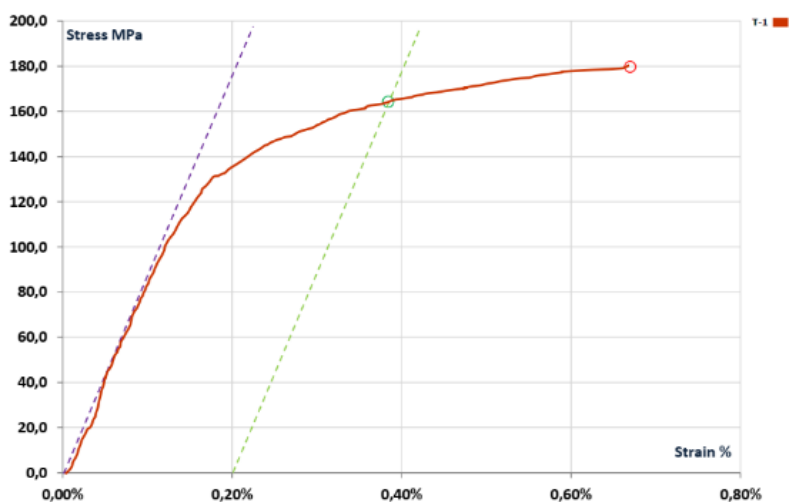


Рисунок 13. Диаграмма напряжение–деформация образца с добавлением 1,8 % Ni.

Температура плавления элемента Ni считается очень высокой, но обеспечение его равномерного распределения в виде порошка в сплаве Al является сложным процессом. При введении расплавленного Ni часть его может окислиться и выйти в шлак, или он может быть неравномерно распределен в сплаве. Это отрицательно сказывается на механических свойствах сплава.

В этих исследованиях мы провели исследования по снижению процентного выгорания элемента Ni путем добавления порошков Ni в количестве 0.6, 0.9, 1.2, 1.5, 1.8% к алюминиевому сплаву LM24 в качестве легирующего и с использованием флюсов в процессе плавки. Исследования проводились двумя методами. На начальном этапе сплав полностью расплавляли при 660-670 °С и вводили порошки Ni и выдерживали при температуре 710 °С в течение 8 минут, затем, в зависимости от веса сплава, на поверхность жидкого сплава наносили 2% флюса (47.5% NaCl, 47.5% KCl и 5% Na₃AlF₆ или CaF₂) и выдерживали при 720 °С в течение 3 минут с дальнейшим повышением температуры до +10 °С. Через 3 минуты сплав перемешивали и снова, в зависимости от веса сплава, на поверхность жидкого сплава распыляли 5% флюса (47,5% NaCl, 47,5% KCl и 5% Na₃AlF₆ или CaF₂) и выдерживали при этой температуре в течение 4 минут. При этом флюс (47,5% NaCl, 47,5% KCl и 5% Na₃AlF₆ или CaF₂) образовывал защитный слой, который выводил газы наружу и обеспечивал удаление элемента Ni.

Таблица 15

Сравнительный анализ результатов исследований с применением флюса и без его применения.

Образцы	При применении флюса Содержание Ni, %	Без применения флюса Содержание Ni, %
LM24+0.9Ni	0.88	0.82
LM24+1.2Ni	1.15	1.05
LM24+1.5Ni	1.42	1.27
LM24+1.8Ni	1.69	1.48



Рисунок 14. Процесс анализа химического состава образцов на приборе СПЕКТРОМЕТР-М5000 Сравнительный анализ результатов с использованием и без использования флюса для исследований

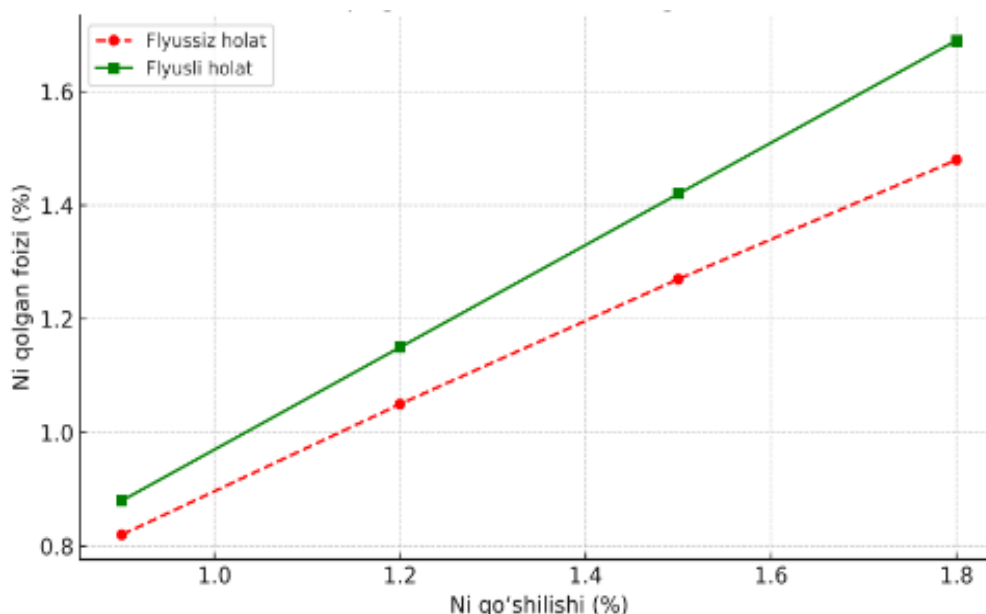


Рисунок 15. График зависимости флюса частиц Ni, введенных при плавлении

На приведенном выше графике представлен сравнительный анализ количество оставшегося Ni при введении в сплав Ni в качестве легирующего вещества в случае использования флюса в процессе плавки и без него. Из графика видно, что при использовании флюса потери Ni значительно уменьшились, при этом флюс служил антиокислительной защитой.

В четвертой главе диссертации “Разработка математической модели совершенствования технологии повышения износостойкости алюминиевых сплавов” представлены результаты математического моделирования с использованием результатов, полученных на основе анализа исследований.

Таблица 16

Зависимость износостойкости за единицу времени от типов форм.

Время, мин		1	2	3	4	5	6
Потерянный вес, гм	Гипсовая опалубка	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.16
	Песчано-глинистая опалубка	0.11	0.14	0.17	0.20	0.22	0.30
	Металлическая форма	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.16

Математическое моделирование осуществляется на основе численных данных, приведенных в таблице 16, полученных в результате сложных практических экспериментов, проведенных в производственных условиях. Такая модель с высокой точностью значительно упрощает процесс анализа и обобщения результатов эксперимента.

Для математической интерпретации количественных показателей, приведенных в таблице 16, строятся уравнения многочленов (полиномов), выражающих их в виде функциональных зависимостей. Согласно общей теории, этот процесс осуществляется путём построения интерполяционного многочлена.

Если мы хотим выразить различные шаблоны одним общим уравнением, нам нужно построить следующую многофакторную целевую функцию:

$$G(t, K) = (a_0 + a_1 K) + (b_0 + b_1 K)t + (c_0 + c_1 K)t^2, \quad (6)$$

где K - эмпирический коэффициент для типа формы (например: металл = 1, гипс = 2, песок-глина = 3); a_i, b_i, c_i - параметры, определяемые по результатам регрессии.

На основе построенной математической модели следует отметить, что процесс износа во времени сначала растет линейно, а затем стабилизируется. С помощью целевых функций (3), (4) и (5) количественно оценивается скорость износа, влияние материала формы и долговечность сплава. Эти модели служат для оценки влияния материала формы, теплообмена и условий трения на повышение износостойкости алюминиевого сплава.

На основе построенной математической модели следует отметить, что процесс износа во времени сначала линейно возрастает, а затем стабилизируется. С помощью целевых функций (3), (4) и (5) количественно оцениваются скорость износа, влияние материала формы и долговечность сплава. Эти модели служат для оценки влияния материала формы, теплообмена и условий трения на повышение износостойкости алюминиевого сплава.

Разработаем надежность функции в выражениях (3), (4) и (5) в результате анализа, проведенного с использованием специальных критериев, например, критерия Фишера.

Для гипсовой опалубки. Для песчано-глинистых форм. Для металлической формы видно, что точность модели составляет не менее 96,2%. Это показывает, что созданная математическая модель значительно упрощает сложные практические эксперименты в производственных условиях и позволяет заранее определять результаты последующих аналогичных экспериментов без их непосредственного проведения. В результате такой подход обеспечивает высокую экономическую эффективность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа результатов проведенных исследований по совершенствованию технологии повышения износостойкости алюминиевых сплавов сделаны следующие основные выводы:

1. Исследовано влияние литья алюминиевого сплава в различных литейных формах на износостойкость сплава. Это служит для подбора литейных форм для сплава.

2. Разработана технология легирования при плавке алюминиевого сплава. В результате показатель износостойкости сплава улучшился в 1,2 раза. Это служит для разработки износостойких сплавов.

3. Разработана технология введения порошков никеля при плавке алюминиевого сплава. В результате твердость сплава улучшилась в 1,1 раза, а

ударная вязкость - в 1,5 раза. Это служит для выбора оптимального количества порошков никеля в сплаве.

4. Разработана технология введения порошков никеля при плавке алюминиевого сплава. В результате показатели предела прочности при растяжении и предела упругости сплава улучшились в 1,1 раза.

5. Разработана технология введения защитного флюса в два этапа для снижения количества выгорания сплава и вводимого в него легирующего вещества при плавке алюминиевого сплава. Это служит для повышения эффективности защиты полезных элементов от окисления при плавлении.

6. В результате внедрения технологии повышения износостойкости и других механических свойств алюминиевого сплава годовая эффективность составила 720 миллионов сумов.

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

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

TURAEV ANVAR NORMAMATOVICH

**IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY FOR INCREASING THE
WEAR RESISTANCE OF ALUMINUM ALLOYS**

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

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

Tashkent – 2026

The topic of the dissertation of Doctor of Philosophy (PhD) is registered in the Higher Attestation Commission under the Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under the number B2025.1.PhD/T3911

The dissertation was completed at Tashkent State Technical University.

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

Scientific adviser: **Atajanov Gapur Latibovich**
Candidate of technical sciences, Associate Professor

Official opponents: **Dunyashin Nikolay Sergeevich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Abduraxmonov Xusniddin Zakirxanovich
doctor of philosophy in technical sciences, associate professor

Leading organization: **Namangan State Technical University**

The defense of the dissertation consists of «1» may 2026 at 14⁰⁰ hours at a meeting of the Scientific Council DSc. 03/2025.27.12.T.02.04 under the Tashkent State Technical University of Uzbekistan (Address: 100095, Tashkent, Universitet St., 2. Tel./fax: (99871) 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz)

The dissertation can be found in the Information Resource Center of Tashkent State Technical University (registered for No.281) (Address: 100095, Tashkent, Universitetskaya St., 2. Tel. / Fax: (99871) 227-10-32)

Abstract of the dissertation sent «17» april 2026
(register of the distribution protocol №. 211 from April 14 2026)



K.A. Karimov

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

Sh.B. Tashbulatov

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

N.D. Turakhodjaev

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

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

The necessity and relevance of the dissertation topic. In the world today, increasing the wear resistance of aluminum alloys in the production of parts for mechanical engineering and the aviation industry is of particular importance. At the same time, one of the important tasks is to ensure their lightness, optimize their composition based on production conditions, and develop effective methods for doping and the use of modifiers. In this regard, in the research laboratories of developed countries, including the USA, China, England, Germany, Japan, India, Russia, Ukraine, and others, special attention is paid to improving the mechanical and casting properties of machine-building and aircraft parts from aluminum alloys, increasing wear resistance indicators, and improving technologies.

In the world, large-scale research and development work is being carried out on alloying and modifying alloys in order to ensure their required mechanical properties in the process of casting machine parts from aluminum alloys. In particular, the development of technologies aimed at improving the chemical composition and mechanical properties of the LM24 aluminum alloy by adding new elements to it is of great importance. In addition, the creation of effective and cost-effective technologies to extend the service life of parts made from this alloy, which is widely used in the mechanical engineering and aviation industries, is an urgent task.

The demand for aluminum alloys in the mechanical engineering, transport, energy and construction sectors of our republic is growing. In Uzbekistan, the modernization of industrial sectors and the production of import-substituting products have been identified as one of the priority areas of state policy. In this regard, the Decree of the President of the Republic of Uzbekistan dated January 28, 2022 No. PF-60 “On the Development Strategy of New Uzbekistan for 2022-2026”, as well as the Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan dated May 31, 2023 No. PQ-199 “On measures to develop industry and expand the production of high-value-added products” further increase the relevance of research in this area. These documents set the production of advanced materials in the national economy, the introduction of energy-saving technologies, and the production of high-quality products based on local raw materials as one of the main goals. In this regard, the issue of improving the technology for increasing the corrosion resistance of aluminum alloys is of strategic importance for the country's industry.

The dissertation research, to a certain extent, contributes to the implementation of the tasks outlined in the Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. PF-60 dated January 28, 2022, “On the Development Strategy of New Uzbekistan for 2022–2026,” Resolution No. PQ-3682 dated April 27, 2018, “On measures to further improve the system for the practical implementation of innovative ideas, technologies, and projects,” Resolution No. PQ-4124 dated January 17, 2019, “On measures to further improve the activities of enterprises in the mining and metallurgical sector,” Resolution No. PQ-5159 dated June 24, 2021, “On additional measures for the development of the mining and metallurgical

industry and related sectors," as well as other regulatory legal documents related to this field of activity.

Degree of study of the problem. Today, world scientists, including German scientists V. Hutsayluk and others, have conducted research on "increasing the wear resistance of 7075 grade aluminum alloys," scientists from Chongqing University of China Hu Li and others on "increasing the corrosion and wear resistance of aluminum alloys in marine equipment," Professor Yavuz Sun of Karabuk University in Turkey on "increasing the wear resistance of aluminum alloys by adding 1-2% of the element titanium to the aluminum alloy," Indian scientists Marri Bhaskar and Tamilselvam Nallusamy on "reducing the amount of gas in aluminum alloys during melting" and have achieved positive results.

Scientists of the CIS countries, in particular, the Tolyatti State University of Russia, M.M. Krishtal, and others, have developed a technology for ensuring the wear resistance of parts cast from aluminum-silicon alloys using the "microarc oxidation" method for operation under extreme friction conditions. Russian scientists A.V. Ivanov, P.N. Sidorov, E.L. Kravchenko (2019) studied the mechanisms of increasing wear resistance by introducing nanoparticles into aluminum alloys. Belarusian scientists L. Petrovich and O. Zhukova (2021) conducted research on improving tribological properties using anodization and ion-plasma coatings. Scientists from Kazakhstan R. Baimukhanov, N. Kuatov (2022) and S. Amanov (2021) experimentally proved the mechanisms for increasing the wear resistance of aluminum composites based on SiC, TiB₂, and graphene particles. Also, Russian scientists V.A. Kuznetsov, A.P. Morozov (2020) and T. Smirnova, I. Chernov (2021) analyzed the microstructure and surface properties of aluminum alloys after heat treatment. This work creates a scientific basis for the development of advanced technologies in the CIS.

Leading scientists of Uzbekistan, such as N.D. Turakhodzhaev, A.O. Shazimov, Yu.N. Mansurov, F.S. Abdullaev, G.L. Atajanov, conducted a number of studies to improve the casting and mechanical properties of aluminum alloys and achieved positive results. Local researchers S. Yuldashev, F. Karimov, S. Ganiev (2020-2023) analyzed the processes of oxidation, modification, and heat treatment of the surface of aluminum alloys and determined the optimal technological modes. D. Rakhimov, M. Abdurakhmanov (2022) conducted experiments to increase the wear resistance of aluminum composites made with graphite and boron additives. B. Ismailov (2021) studied the types of coatings that serve to increase surface strength in Al-Si-Mg-based alloys, and U. Kadyrov and J. Ergashev (2023) investigated the influence of mechanical treatment and heat hardening on tribological results.

Compliance of the research with the priority areas of the republican science and technology development. This research was carried out in accordance with the requirements of the II priority area of the republican science and technology development "Power, energy and resource efficiency".

Connection of the dissertation research with the plans of scientific research work of the higher educational institution where the dissertation was carried out. The dissertation research was carried out in accordance with the research plan

of the Tashkent State Technical University within the framework of the fundamental project IL-210321288 "Creation of technology for reducing the content of gas and non-metallic impurities in cast products obtained from aluminum alloys in gas furnaces" and the fundamental project IL-5421101878 "Creation of scientific foundations for improving the mechanical, physical, and operational properties of aluminum alloys" between the Tashkent State Technical University and the Agency for Innovative Development.

The purpose of the research is to improve the technology for increasing the corrosion resistance of aluminum alloys.

The research tasks:

study of the influence of casting aluminum alloys in various casting molds on the wear resistance of the alloy;

increasing the wear resistance of the alloy based on the influence of Ni powders as an alloying agent during the melting of aluminum alloys;

improvement of the impact viscosity of the alloy based on the influence of Ni powders as a dopant on the alloy during the melting of aluminum alloys;

improvement of the tensile strength of the alloy based on the influence of Ni powders as an alloying agent during the melting of aluminum alloys;

reduction of the amount of burning of the alloy based on protective flux and the alloying added to it during the melting of an aluminum alloy.

The object of the research work is the cover of the camshaft cast from LM24 alloy at UzAuto-INZI JV.

The subject of the research is the technology for increasing the wear resistance of LM24 aluminum alloy.

Research methods. As research methods, a metallographic electron microscope model LV150N was used for microstructural analysis; a "Rockwell type hardness tester FR" was employed to determine hardness; the chemical composition of the alloy was analyzed using a spectrophotometer model "SPEKTROMETR-M5000"; impact toughness was evaluated using the Charpy test method; and other parameters were determined in accordance with state standard methods.

The research scientific novelty of the following consists of:

The technology of alloying an aluminum alloy with Ni powder has been developed based on the properties of the alloy matrix formed by the Al₃Ni-based compound;

The technology for increasing the impact viscosity of aluminum alloys has been developed based on the property of forming Al₃Ni and Al₇Cu₄Ni phases;

The technology for improving the tensile strength of aluminum alloys has been developed based on the fact that Ni powders ensure the formation of intermetallic phases in the alloy;

The technology for increasing the wear resistance of aluminum alloys has been developed based on the dynamics of changes in the thermal conductivity of the mold depending on the temperature of the metal;

a technology for reducing the amount of leaching introduced into the aluminum alloy during its melting has been developed based on the difference in the

effectiveness of the protective flux against oxidation and its activity against oxygen.

The research practical the results are as follows consists of:

Alloying technology has been introduced to increase the wear resistance of aluminum alloys.

In-ladle processing technology has been introduced for aluminum alloys.

The composition of the protective flux has been introduced when melting aluminum alloys .

Reliability of the research results. The reliability of the research results is explained by the fact that the study of the mechanical, physical, and technological properties of the products obtained as a result of numerous studies (5-7) was carried out on the basis of a specific task, modern IR spectroscopy, phase identification, as well as the formation of one or more clear images and the determination of surface properties were carried out on the basis of a scanning electron microscope (SEM-Zeiss EVO MA 10 (Carl Zeiss)) and an intelligent diffractometer (Empyrean Malvern Panalytical), the determination of the mechanical properties of alloys was carried out using the "R-50 M" digital autotechnical machine, the hardness of the obtained sample was determined by comparison with the results obtained using methods designed to measure the hardness of metals and alloys (Dura Vision-20).

Scientific and practical significance of the research results. The scientific significance of the research results is characterized by the fact that, based on the analysis of scientific research of leading scientists, the processing of aluminum alloys with fluxes in a gas furnace; refining in a ladle and optimization of the design of the gas furnace, resource and energy saving are ensured.

The practical significance of the research results lies in the fact that when melting aluminum alloy LM24 and producing high-quality cast products from it, as a result of modifying the alloy in a bucket, the wear resistance of the alloy increased, and the wear resistance of the alloy increased based on the technology of alloying aluminum alloys.

Research of the results current to be done.

Based on the results of research on improving the technology for increasing the wear resistance of aluminum alloys:

Alloying technology for increasing the wear resistance of aluminum alloys has been implemented in JV LLC "UzAuto-INZI," owned (certificate of JSC "UzAvtosanoat" №. 21/06-25-0372 dated February 27, 2025). As a result of the implementation, the wear resistance of the aluminum alloy increased by 9-11%;

The technology of in-bucket processing of aluminum alloys has been implemented in JV LLC "UzAuto-INZI," belonging (certificate of JSC "UzAvtosanoat" №. 21/06-25-0372 dated February 27, 2025). As a result of the implementation, the impact toughness of the resulting casting products increased by 4-5%;

The composition of the protective flux during the melting of aluminum alloys has been introduced in JV LLC "UzAuto-INZI," belonging (certificate of JSC "UzAvtosanoat" №. 21/06-25-0372 dated February 27, 2025). As a result of the introduction, the amount of metal casting decreased by 16-18%.

Approbation of research results. The research results of the dissertation work were discussed at 13 conferences, including 10 international conferences, 1 thesis at international conferences indexed in the scopus database, and 2 republican scientific and practical conferences.

Publication of research results. A total of 20 scientific works have been published on the topic of the dissertation. 7 scientific articles have been published in scientific publications recommended by the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan for the publication of the main scientific results of dissertations of Doctor of Philosophy (PhD), including 6 in republican and 1 in foreign journals.

Structure and size of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, a list of symbols and terms, as well as appendices, with a total length of 120 pages.

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

I – bo'lim (I – часть; I – part)

1. A.N. To'rayev, R.X. Murodqosimov, N.D. Turaxodjayev, Sh.N. Saidxodjayeva, Sh. Xudoyqulov, Sh.N. To'raxo'jayeva. Kompozitsion materiallar №1/2024. "Alyuminiy qirindilaridan ferroqotishma olish texnologiyasini ishlab chiqish", 101-103 b. (05.00.00. № 13).

2. A.N. To'rayev, R.X. Murodqosimov, N.D. Turaxodjayev, M.E. Axmedova, Z.B. Nurdinov. Kompozitsion materiallar №4/2024. "Yuqori bosim ostida ADC 12 markali alyuminiy qotishmasidan quyib olingan avtomobil detallarining mexanik va mikrostrukturaviy xossalarini tadqiqot qilish", 68-71 b. (05.00.00. № 13).

3. Turaev Anvar, Murodqosimov Ravshanbek, Tursunbaev Sarvar, Turakhujaeva Azizakhon, Mardonakulov Sharofuddin, Murodov Sobirjon, Rakhmonova Mokhinur, "THE EFFECT OF GERMANIUM ON THE MICROSTRUCTURE OF ALUMINUM ALLOY", European Journal of Technical and Natural Sciences 2025, No 1. <https://doi.org/10.29013/EJTNS-25-2-19-23> (SJIF Impact Factor: 4.489, CrossRef)

4. To'rayev A.N., Murodqosimov R.X., Turaxodjayev N.D., Axmedova M.E., Nosirxo'jayev I.S.A., Almardonov S.A., Kompozitsion materiallar №1/2025. "Alyuminiy qotishmalarini suyuqlantirish uchun gaz pechlarini qoplashda o'tga chidamli materiallardan foydalanish", 69-72 b. (05.00.00. № 13).

5. To'rayev A.N., Murodqosimov R.X., Turaxodjayev N.D., Nurdinov Z.B., Raximboyev Sh.I., Axmedova M.E., Kompozitsion materiallar №1/2025. "Gaz pechlarida alyuminiy qotishmalarini suyuqlantirish texnologiyasini ishlab chiqish va pech konstruksiyasini takomillashtirish", 82-84 b. (05.00.00. № 13).

6. To'rayev A.N., Murodqosimov R.X., Turaxodjayev N.D., Axmedova M.E., Nosirxo'jayev I.S.A., Xudayarov A.SH., Axmedova M.E., Kompozitsion materiallar №1/2025. "ADC 12 markali alyuminiy qotishmalarini suyuqlantirish uchun gaz pechlariga qoplangan o'tga chidamli materiallarni yeyilishbardoshligini sinash", 159-162 b. (05.00.00. № 13).

7. To'rayev A.N., Murodqosimov R.X., Tursunbayev S.A., Mardonaqulov Sh.O., Saidxodjayeva Sh.N., Odilov F.U., Kompozitsion materiallar №2/2025. "Al-Cu-Mg tizimidagi qotishmalarni legirlovchi elementlar (Ge va Si) ta'sirida fazalar o'zgarishi", 97-99 b (05.00.00. № 13).

II – bo'lim (II – часть; II – part)

8. Anvar Turaev, Ravshanbek Murodqosimov, Azizakhon Turakhujaeva, Sarvar Tursunbaev, Sharofuddin Mardonakulov, Sherzod Tashbulatov, Furkat Odilov, Mokhinur Rakhmonova, Sobirjon Murodov,. "Mathematical Modeling of

the Effect of the Lithium Element on the Fluidity of Al-Si and Al-Cu Alloys” International Conference on Reliable Systems Engineering (ICoRSE) – 2025. © The Author(s), under exclusive license to Springer Nature Switzerland AG 2025 D. D. Cioboatã and J. Machado (Eds.): ICoRSE 2025, LNNS 1592, pp. 62–69, 2025. https://doi.org/10.1007/978-3-032-02508-1_6

9. To‘rayev A.N., R.X. Murodqosimov, N.D. Turaxodjayev, G.L. Atajanov, O.Ch. Yo‘ldoshev, F.M. Mahmudov, “Gaz pechlarida suyuqlantirib olingan adc 12 markali alyuminiy qotishmasiga flyus qo‘shilgandan keyingi cho‘zilishga sinash va uning natijalari”, International scientific and scientific-technical conference on «Innovations aimed at energy and resource savings in the field of casting and metal processing» Tashkent – 2025, 22-23 bet.

10. To‘rayev A.N., R.X. Murodqosimov, N.D. Turaxodjayev, G.L. Atajanov, O.Ch. Yo‘ldoshev, F.M. Mahmudov, “Gaz pechlarida suyuqlantirib olingan adc 12 markali alyuminiy qotishmasiga flyus qo‘shilgandan keyingi qattqlikga sinash va uning natijalari.”, International scientific and scientific-technical conference on «Innovations aimed at energy and resource savings in the field of casting and metal processing» Tashkent – 2025, 54-55 bet.

11. To‘rayev A.N., Murodqosimov R.X, Turaxodjayev N.D, Axmedova M.E, Xudayarov A.Sh, Jaxonov Sh.A., “Alyuminiy qotishmalarini suyuqlantirish uchun gaz pechlariga qoplangan materiallarni yeyilish bardoshlilikini sinash”, «O‘zbekistonda kon-metallurgiya xomashyolarini qayta ishlash texnologiyalarining dolzarb muammolari va yechimlari» mavzusidagi respublika ilmiy-amaliy konferensiya (2025 y, 8 – aprel, Olmaliq sh., O‘zbekiston), 250-251 bet.

12. To‘rayev A.N., Murodqosimov R.X, Turaxodjayev N.D, Axmedova M.E, Almardonov S.A, Jaxonov Sh.A., “Gaz pechlariga qoplangan o‘tga chidamli materiallarni yeyilishbardoshlilikini sinash”, «O‘zbekistonda kon-metallurgiya xomashyolarini qayta ishlash texnologiyalarining dolzarb muammolari va yechimlari» mavzusidagi respublika ilmiy-amaliy konferensiya (2025 y, 8 – aprel, Olmaliq sh., O‘zbekiston), 254-255 bet.

13. To‘rayev A.N., R.X. Murodqosimov, N.D. Turaxodjayev, G.L. Atajanov, M.E. Axmedova, S.A. Nosirxo‘jayev, “Yuqori bosim ostida adc 12 markali alyuminiy qotishmasidan quyib olingan avtomobil detallarining mexanik va mikrostrukturaviy xossalari tahlil qilish”, “O‘zbekistonda mashinasozlikning zamonaviy yo‘nalishlari va dolzarb muammolari”, mavzusidagi xalqaro miqyosidagi ilmiy va ilmiy-texnik anjuman, 2025-yil 13-14 may, Olmaliq sh, 8-9 bet.

14. To‘rayev A.N., R.X. Murodqosimov, N.D. Turaxodjayev, G.L. Atajanov, M.E. Axmedova, O.Ch. Yo‘ldoshev, “ADC 12 markali alyuminiy qotishmasidan quyib olingan avtomobil detallarining mexanik va fizik xossalari”, “o‘zbekistonda mashinasozlikning zamonaviy yo‘nalishlari va dolzarb muammolari”, mavzusidagi xalqaro miqyosidagi ilmiy va ilmiy-texnik anjuman, 2025-yil 13-14 may, Olmaliq sh, 17-18 bet.

15. To‘rayev A.N., R.X. Murodqosimov, N.D. Turaxodjayev, G.L. Atajanov, M.E. Axmedova, A.Sh.Saydullayev, “Alyuminiy qotishmasining quyib olish

jarayonida natriy asosidagi flyuslar orqali oksidli qo‘shimchalardan tozalash hamda metallning oquvchanlik xossasini oshirish”, “O‘zbekistonda mashinasozlikning zamonaviy yo‘nalishlari va dolzarb muammolari”, mavzusidagi xalqaro miqyosidagi ilmiy va ilmiy-texnik anjuman, 2025-yil 13-14 may, Olmaliq sh, 347-349 bet.

16. A.N.To‘rayev., G.L. Atajanov., M.E.Axmedova., R.X. Murodqosimov., F.F.Omonov., M.M.Xashimov., “Aluminiy qirindilaridan ferroqotishma olish” «Quymakorlik ishlab chiqarish sohasida resurs va energiyatejamkor innovatsion texnologiyalar» mavzusidagi xalqaro miqyosidagi ilmiy va ilmiy-texnik anjuman, Toshkent – 2024, 158-160 bet.

17. To‘rayev A.N., Murodqosimov R.X., N.D. Turaxodjayev, Atajanov G.L., “Alyuminiy qotishmalariga Ni elementini qo‘shgan holda uning yeyilishbardoshlilikini sinash va uning natijalari” mavzusidagi Respublika ilmiy-texnik konferensiya, 2025-yil 26-iyun, Toshkent sh, 33-35 bet.

18. To‘rayev A.N., Murodqosimov R.X., Axmedova M.E., Yulchiyeva S.B., To‘rayev A.N., Xolmirzayev N.B., Madiyev T.M., “Alyuminiy qotishmalari asosida yuqori mustahkamlikka ega kompozitsion materiallar tarkibini ishlab chiqish: tahlil”, “Yangi kompozitsion va nanokompozitsion materiallar: tuzilishi, xossalari va qo‘llanilishi” mavzusidagi xalqaro ilmiy-texnik konferensiya, 2025-yil 17-18 sentyabr, Toshkent sh, 59-60 bet.

19. To‘rayev A.N., Murodqosimov R.X., Axmedova M.E., Yulchiyeva S.B., To‘rayev A.N., Xolmirzayev N.B., Mirkamolov Sh, “Development of high-strength composite materials based on aluminum alloys: a review, xossalari va qo‘llanilishi” mavzusidagi xalqaro ilmiy-texnik konferensiya, 2025-yil 17-18 sentyabr, Toshkent sh, 107-108 bet.

20. To‘rayev A.N., Murodqosimov R.X., Axmedova M.E., Yulchiyeva S.B., Normurodov B., Atajanov G.L., Madiyev T.M., “Alyuminiy qotishmalarining mexanik xossalari yaxshilash”, “Yangi kompozitsion va nanokompozitsion materiallar: tuzilishi, xossalari va qo‘llanilishi” mavzusidagi xalqaro ilmiy-texnik konferensiya, 2025-yil 17-18 sentyabr, Toshkent sh, 163-164 bet.

Avtoreferat «Kompozitsion materiallar» jurnali tahririyatida tahrirdan o'tkazilib,
o'zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlar o'zaro muvofiqlashtirildi.

Bosmaxona litsenziyasi:



9338

Bichimi: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» garniturası.
Raqamli bosma usulda bosildi.
Shartli bosma tabog'i: 4. Adadi 100 dona. Buyurtma № 31/26.

Guvohnoma № 851684.
«Tipograff» MCHJ bosmaxonasida chop etilgan.
Bosmaxona manzili: 100011, Toshkent sh., Alisher Navoiy ko'chasi, 36 uy.
Tel: +99894-600-44-07