

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

---

**НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ВА ТЕХНОЛОГИЯЛАР  
УНИВЕРСИТЕТИ**

**ОБИТОВ НАСРИДДИН МЕХРИЕВИЧ**

**ЮҚОРИ МИҚДОРДА АРАЛАШМАЛАР БЎЛГАН АЛЮМИНИЙ  
ҚОТИШМАЛАРНИНГ ТАРКИБИ ВА СТРУКТУРАСИНИ  
ОПТИМАЛЛАШТИРИШ**

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

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

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
автореферати мундарижаси**

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

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

**Обитов Насриддин Мехриевич**

Юқори миқдорда аралашмалар бўлган алюминий қотишмаларнинг таркиби ва  
структурасини оптималлаштириш.....3

**Обитов Насриддин Мехриевич**

Оптимизация состава и структуры алюминиевых сплавов с повышенным  
содержанием примесей.....23

**Obitov Nasriddin Mekhrievich**

Optimization of the composition and structure of aluminum alloys with a high  
content of impurities .....43

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ

List of published works.....47

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

---

**НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ВА ТЕХНОЛОГИЯЛАР  
УНИВЕРСИТЕТИ**

**ОБИТОВ НАСРИДДИН МЕХРИЕВИЧ**

**ЮҚОРИ МИҚДОРДА АРАЛАШМАЛАР БЎЛГАН АЛЮМИНИЙ  
ҚОТИШМАЛАРНИНГ ТАРКИБИ ВА СТРУКТУРАСИНИ  
ОПТИМАЛЛАШТИРИШ**

**05.02.01- «Машинасозликда материалшунослик. Қуймачилик. Металларга термик ва  
босим остида ишлов бериш. Қора, рангли ва ноёб металлар металлургияси. Камёб,  
нодир ва радиоактив элементлар технологияси (қуймачилик ва металларга ишлов  
бериш йўналиши)**

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

**Тошкент – 2023**

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2022.3.PhD/Г 2853. рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Навоий давлат кончилиги ва технологиялар университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) ва «ZiyoNet» ахборот таълим порталида ([www.ziyounet.uz](http://www.ziyounet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:**

**Мансуров Юлбарсхон Набиевич**  
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:**

**Нурмуродов Салоҳиддин Дусмуродович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Шазимов Анартай Олжабаевич**  
техника фанлари номзоди, доцент

**Етакчи ташкилот:**

**Миллий технологик тадқиқотлар университети МИСиС» нинг Олмалиқ шаҳридаги филиали**

Диссертация химояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.03/30.12.2019.T.03.04 рақамли Илмий кенгашнинг 2023 йил «4» Март соат 14<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳар, Олмазор тумани, Университет кўчаси 2-уй. Тел./факс.: (99871)277-10-32, e-mail: [tadqiqotchi@tdtu.uz](mailto:tadqiqotchi@tdtu.uz)).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин ( 305 рақамли билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент шаҳар, Олмазор тумани, Университет кўчаси 2-уй. Тел.:факс.: (99871)277-10-32).

Диссертация автореферати 2023 йил «17» февраль куни тарқатилди.  
(2023 йил «15» февралдаги № 159 рақамли реестр баённомаси).



*Handwritten signature of K.A. Karimov*

**К.А.Каримов**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси,  
техника фанлари доктори, профессор

*Handwritten signature of Sh.B. Tashbulatov*

**Ш.Б.Ташбулатов**

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

*Handwritten signature of N.D. Turahodjaev*

**Н.Дж.Тураходжаев**

Илмий кенгаш ҳузуридаги илмий  
даражалар берувчи илмий семинар раиси,  
техника фанлари доктори, профессор

## КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертациясининг аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Дунёда алюминий ўзининг юкори пластиклиги, мустаҳкамлиги, яхши коррозия турғунлик хоссалари туфайли машинасозлик, автомобилсозлик, авиасозлик, космик техникада, қурилиш соҳасида ва ҳатто идишлар ва қадоклаш воситаларни ишлаб чиқаришда фойдаланиш имкониятларини кенгайтди. Шунингдек физик хусусиятлари ва технологиклиги туфайли қўлланилиш соҳаси бўйича бошқа рангли металллар билан рақобатлаша олади. Рангли металлургияда алюминийнинг энг оммабоп металлга айланиши катта металл фондининг шаклланишига замин яратди. Алюминий энг ёш металл бўлишига карамай, бугунги кунда унга бўлган эҳтиёж хар йили 5-6% га ортиб бормокда. Хозирги кунда алюминийнинг энг кўп қўлланилиш даражаси дунёнинг ривожланган мамлакатлари, жумладан автомобилсозлик саноати юкори даражада ривожланган Германия, Жанубий Кореяда бўлиб, уларда ахоли жон бошига алюминий истеъмол даражаси йилига 26 кгдан ошиб бормокда, АКШ, Швеция, БАА, Хитой, Японияда эса 15-16 кгни ташкил килмокда. Умуман, жаҳонда алюминий қўлланилиш даражасининг энг юкори кўсаткичи транспорт соҳасида бўлиб, унинг улуши 27%, қурилиш соҳасида 26%, қадоклаш 16%, электротехника соҳаси 14%, истеъмол товарлари 5%, машинасозлик 9% ни ташкил килади.

Жаҳоннинг ривожланган мамлакатларида рангли металллар парчалари ва чиқиндиларидан ишлаб чиқаришни ривожлантириш бўйича чуқур назарий ва экспериментал тадқиқотлар олиб борилмокда. Иқтисодий ва ижтимоий ривожланишнинг асосий йўналишларида маҳсулот турини кенгайтириш, энг тежамкор турдаги металл буюмлар ишлаб чиқаришни кўпайтириш металл чиқиндиларидан ҳамда илгари фойдаланилмаган, қайта ишланиши қийин бўлган иккиламчи хом ашёлардан рангли металллар ишлаб чиқаришни йўлга қўйиш, унинг ҳажмини йилдан йилга ошириб бориш назарда тутилган.

Республикамизда бу йўналишда олиб борилаётган тадқиқотлар энергия ва ресурс сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежовчи технологияларни кенг жорий этиш, металл маҳсулотларининг физик-кимёвий хоссаларини яхшилаш каби вазифаларни амалга ошириш билан изоҳланади ва бу ушбу диссертация мавзусининг асосий долзарб вазифалардан бири ҳисобланади. Янги Ўзбекистонни янада ривожлантириш бўйича тараққиёт стратегиясида «...саноатни сифат жиҳатдан янги босқичга кўтариш, маҳаллий хомашё манбаларини чуқур қайта ишлаш, тайёр маҳсулотлар ишлаб чиқаришни жадаллаштириш, янги турдаги маҳсулотлар ва технологияларни ўзлаштириш...»<sup>1</sup> бўйича муҳим вазифалар белгилаб берилган. Бу борада, алюминий буюмларининг яроқлилиқ муддати тугаганидан сўнг уларни қайта ишлаш ва саноатда қўллаш технологиясини ишлаб чиқиш муҳим аҳамиятга эга.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 24 августдаги №ПҚ-4426-сон «Давлат ва хўжалик бошқаруви органлари ва маҳаллий ижро

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг "2022 — 2026 йилларга мўлжалланган янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида»ги 2022 йил 28 январдаги №ПФ-60-сонли Фармони

этувчи ҳокимият органларининг ишлаб чиқаришни маҳаллийлаштириш ҳамда ишлаб чиқариш соҳасида кооперацияни жадаллаштиришнинг янги тизимини жорий этишдаги масъулиятини янада ошириш тўғрисида»ги, 2019 йил 4 октябрдаги №ПҚ-4477-сон «Ўзбекистон Республикасининг 2019-2030 йилларга мўлжалланган «яшил» иқтисодиётга ўтиш стратегиясини тасдиқлаш тўғрисида»ги, 2020 йил 15 мартдаги №ПҚ-6079-сон «Рақамли Ўзбекистон - 2030» Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг Республика фан ва технологиялар ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг II “Энергетика, энергия-ресурс тежамкорлик, транспорт, машина ва асбобсозлик” устувор йўналишлари талабларига мувофиқ бажарилган.

**Муаммони ўрганилганлик даражаси.** Дунё олимлари томонидан алюминий қотишмаларининг таркиби ва тузилишини такомиллаштириш борасида кўплаб тадқиқотлар олиб борилган. Фан ва амалиёт ривожига катта ҳисса қўшган жаҳоннинг етакчи олимлари, жумладан, М. Огава, Дж. Е. Хэтч, каби япон олимлари томонидан алюминий қотишмаларнинг хоссаларини ўрганиш бўйича кўп сонли тадқиқотлар ўтказилган. А.М. Бочвар, М.В. Захаров, И.И. Новиков, Г.М. Кузнецов, В.С. Золоторевский, В.К. Портной, Б.А.Колачев, В.П. Ливанов, В.И.Елагин, Н.А. Белов каби Россия ва Украина олимлари алюминий қотишмалари тизимининг механик хусусиятларини яхшилаш бўйича мураккаб тадқиқот ишлари олиб борилган.

Ўзбекистонлик олимлар А.С.Турахонов, Р.М.Мирбобоев, Н.Ж.Тураходжаев, Р.Саидов, Ю.Н.Мансуров, Ж.У.Рахмоновлар алюминий қотишмасини суюқлантиришда сифатли структура шаклланиши учун шихтанинг юклаш режимини, суюқ алюминий қотишмаси юзасидаги флюс таркибини ва қотишмага юқори ҳароратларда ишлов бериш технологиясини ишлаб чиқишган.

Мавжуд ишлар таҳлилига кўра, Al-Mg тизими асосида ушбу тизимнинг асосий қотишмаларидан кам бўлмаган механик хусусиятлар мажмуасига эга бўлган янги иккиламчи қуймабоп қотишмасини тадқиқ қилиш ва ишлаб чиқиш орқали алюминий ва унинг асосий қотишмаларидан фойдаланиш коэффициентини ошириш, бу йўналишда кейинги тадқиқотларни технологиясини ишлаб чиқиш каби муаммолар батафсил ёритилмаган.

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

Диссертация тадқиқотлари Навоий давлат кончилик институтининг (ҳозирги кунда НДК ва ТУ) БВ-Атех-2018-514 сон: “Совуқлайин штамплаш штамплари чидамлилигини ошириш технологиясини ишлаб чиқиш ва илмий асослаш” илмий -тадқиқот режаси доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади -** Al-Mg тизими асосида ушбу тизимнинг асосий қотишмаларидан кам бўлмаган механик хусусиятлар мажмуасига эга бўлган янги иккиламчи қуймабоп қотишмасини тадқиқ қилиш ва ишлаб чиқиш орқали

алюминий металл ва унинг асосий қотишмаларидан фойдаланиш коэффициентини оширишдан иборат

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

аралашмаларнинг алюминий қотишмалари тузилиши ва хусусиятларига, шунингдек термик ишлов бериш режимларининг Al-Mg тизими қотишмаларининг фазали таркиби, тузилиши ва ишлаш хусусиятларига таъсирини таҳлил қилиш;

алоҳида ва биргаликда киритилган кремний, темир, мис, рух, қалай, кўрғошин, никел, марганец қўшимчалари миқдори юқори бўлган тизимдаги қотишмаларининг фазавий таркибини аниқлаш;

юқори миқдорда қўшимчалари бўлган магналияларнинг таркиби ва тузилишига кичик қўшимчаларнинг таъсирини аниқлаш;

юқори миқдорда аралашмалари бўлган магналияларнинг тузилиши ва механик хоссалари ўртасидаги боғлиқликни аниқлаш;

энг кўп эҳтимоллий қўшилмалари бўлган алюминий-магний қотишмаларига термик ишлов бериш усулларини ишлаб чиқиш;

Al-Mg тизими асосида иккиламчи қуймабоп қотишма ва унга термик ишлов бериш режимларини ишлаб чиқиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида таркибида юқори миқдорда аралашмалар бўлган алюминий-магний қотишмалари олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** сифатида юқори миқдорда қўшилмалари бўлган алюминий қотишмаларнинг таркиби ва тузилишига қўшимчаларнинг таъсири ва термик ишлов бериш режимларининг Al-Mg тизимидаги қотишмалар фазавий таркиби, тузилиши ва ишлаш хусусиятларига таъсирини ҳамда ушбу тизим асосида янги иккиламчи қуймабоп қотишма ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Диссертация ишини бажаришда оптик ва электрон микроскопларидан, шунингдек таҳлилнинг замонавий физик-кимёвий стандарт усуллари ҳамда воситалардан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

аралашмаларнинг алюминий қотишмалари тузилиши ва хусусиятларига, шунингдек термик ишлов бериш режимларининг Al-Mg тизими қотишмаларининг фазали таркибига боғлиқлик даражаси асосида ишлаб чиқилган;

аралашмалари юқори миқдорда  $Mg - Si - Fe - Cu - Zn - Sn - Pb - Ni$  4-8%*Mg*, 0,6-1,5% *Si*, 1,5% гача *Fe*, 0,6-0,8% *Cu*, 0,6-1,0% *Zn*, ҳар бири 0,3-0,5% *Sn* ва *Pb*, 0,1-0,3% *Mn*, 0,2% гача *Ni* бўлган, қолгани *Al* биргаликда ва алоҳида киритилган тизимдаги қотишманинг механик хусусиятларга боғлиқлик даражаси асосида уларнинг фазавий таркиби ишлаб чиқилган.

магналияларнинг таркиби юқори миқдорда қўшимчалари бўлган ва тузилишига кам миқдордаги аралашмаларнинг таъсири микро ва рентгенструктура ўзгаришига боғлиқлик даражаси асосида аниқланган. *Al-Mg* ларнинг таркибий тузилиши ва механик хоссалари термик ишлов бериш ҳолатларига боғлиқлик даражаси асосида аниқланган.

эҳтимолий қўшимчалари энг кўп бўлган алюминий магний қотишмаларига термик ишлов бериш тартиби бирикиш зонасининг шаклланиш қонуниятлари асосида ишлаб чиқилган.

*Al-Mg* тизимидаги иккиламчи қотишма ва унга термик ишлов бериш тартиби тоблаш ҳароратига боғлиқлиги асосида ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

қотишма тузилиши ва хусусиятларини ўрганиш учун алюминий-магнийли қотишма тайёрлаш технологияси ишлаб чиқилди. Қотишма графит-шамот тигелларда қуйилган иситгичли шахтали лаборатория электр қаршилик печида тайёрланган;

қотишмага термик ишлов бериш технологияси МП2У ёки СНОЛ 1.6. 2.0. 0,8/9-МІ. лаборатория муфел печларида ишлаб чиқилди. Тоблаш учун қиздириш  $435 \pm 5$  °С,  $460 \pm 5$  °С,  $520 \pm 5$  °С ва  $540 \pm 5$  °С ҳароратларда амалга оширилди. Ҳароратни назорат қилиш ЭПД-12 потенциометри ёрдамида  $\pm 1-2$  °С аниқликдаги хром-алюмнийли терможуфт ёрдамида амалга оширилган;

УМЭ-101М чўзиш машинасида, ишчи қисми диаметри 6 мм бўлган стандарт намуналарда 1 мм/мин деформация тезлигида, чўзилиш диаграммаси ёзиб олиган ҳолда вақт қаршилик  $\sigma_B$ , шартли оқувчанлик чегараси  $\sigma_{0,2}$ , нисбий чўзилиш  $\delta$  ларни аниқлаш технологияси ишлаб чиқилган;

ёруғлик ва электрон микроскопия (ёруғлик ўтказиш ва сканерлаш) усулларида, шунингдек, “IEDL” фирмасининг ISM-35CF рентген микроанализаторида - қотишмаларнинг тузилиши ва фазавий таркиби аниқланган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги** ишнинг рангли қотишмалар учун умумий бўлган материалшунослик ва механик хусусиятларини ошириш назариясига асосланганлиги билан тасдиқланади. Олинган маълумотларнинг ишончлилиги НГМКнинг Навоий машинасозлик заводи лабораторияларида ўтказилган ишончли синовлар билан тасдиқланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.**

Тадқиқотнинг илмий аҳамияти қуйма ва термик ишлов берилган магналияларнинг механик хусусиятларига энг кучли салбий таъсир кўрсатувчи ортиқча фазалар қўшимчалари шаклланишига олиб келадиган игна ва иероглифлар кўринишидаги темир ва кремний қўшимчаларнинг оптимал концентрациясини аниқлаш технологиясининг ишлаб чиқилиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти *Al-Mg* тизими асосида ушбу тизимнинг бирламчи қотишмаларидан кам бўлмаган механик хусусиятлар тўпламига яъни,  $\delta$ -нисбий чўзилишнинг 3-5% га ва шартли оқувчанлик чегарасининг 13-15% ошиши билан изоҳланади

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Таркибида юқори миқдорда қўшимчалари бўлган алюминий қотишмаларининг таркиби ва тузилишини оптималлаштириш технологияларини ишлаб чиқиш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

қуйма ва термик ишлов берилган алюминий қолдиқлари ва бўлакларидан тайёрланган қотишмалари тузилишини ташкил этувчиларнинг шакл коэффициентини оптималлаштириш усуллари, қотишмаларининг кристалланиш босқичлари, “Навоий кон-металлургия комбинати” ДК НМЗ ИЧБда жорий этилган. (Навоий кон-металлургия комбинати 2021 йил 30 ноябрдаги 02-06-07/11540-сон маълумотномаси). Натижада нисбий чўзилиш 3-5% га, шартли оқувчанлик чегараси 13-15% га ошириш имконини берган;

асосий легирловчи элементи магний ва таркибида юқори миқдорда аралашмалар бўлган алюминий қотишмаларини юқори ҳароратда қиздиришни назарда тутувчи термик ишлов бериш усулини қўллаш, “Навоий кон-металлургия комбинати” ДК НМЗ ИЧБда жорий этилган. (Навоий кон-металлургия комбинати 2021 йил 30 ноябрдаги 02-06-07/11540-сон маълумотномаси). Натижада термик ишлов берилмайдиган алюминий-магнийли қотишмаларнинг термик мустаҳкамланиши таъминланди ва уларнинг механик хусусиятлари 1,20-1,25 гача ошириш имконини берган;

янги қотишмани мувозанатлашган қаттиқ ҳолатдан 3-5°C юқори ҳароратгача тоблаб қиздириш “Навоий кон-металлургия комбинати” НМЗ ишлаб чиқариш бирлашмасида жорий этилди (Навоий кон-металлургия комбинати 2021 йил 30 ноябрдаги 02-06-07/11540-сон маълумотномаси). Натижада қотишмани 3-5 соат давомида қиздириб тоблаш нисбий чўзилишни 10-12% га ошишига, компонентлар концентрацияси юқори чегаравий миқдорига эга бўлган қотишма учун эса вақт қаршилиқ ва оқувчанлик чегараси 15-18% гача ошириш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Ушбу тадқиқот натижалари 5 та республика ва 3 та халқаро илмий-амалий анжуманларда апробациядан ўтказилди.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича 14 та илмий мақола чоп этилган, шундан, 6 таси Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси томонидан диссертацияларнинг асосий илмий натижаларини чоп этиш учун тавсия этилган илмий нашрларда, жумладан, 4 таси республика, 2 таси хорижий илмий журналларда чоп этилган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, беш боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат бўлиб, 120 саҳифани ташкил этади.

## **ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ**

**Кириш** қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари, объекти, предмети, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига боғлиқлиги кўрсатилган, илмий янгилиги ва амалий аҳамияти ёритилган, тадқиқотнинг жорий этилиши, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши ҳақида маълумот берилган.

Диссертациянинг **“Юқори миқдорда аралашмалари бўлган алюминий қотишмалари”** деб номланган биринчи бобида, Al-Mg тизими асосидаги

қотишмаларнинг тузилиши ва хоссаларига легирловчи элементлар ва қўшимчаларнинг таъсири” ўрганилди.

Тоблангандан сўнг бу қотишмалар атмосфера, денгиз шароитида, ишқорий эритмаларда ва нитрат кислота асосидаги агрессив муҳитларда юқори коррозия чидамлилигига эга бўлади.

Умуман олганда, эксплуатация хусусиятларини яхшилаш учун асосий легирловчи элементлари магний бўлган алюминий қотишмаларига 10 дан ортиқ элементлар киритилади. Бу Si, Fe, Cu, Mn, Zn, Sn, Pb элементлар бўлаклар ва чиқиндиларидан олинган бирламчи қотишмаларда мавжуд бўлиб, уларнинг иккиламчи қўйма қотишмасини эритишда ишлатилиши мумкин.

Алюминий-магний қотишмаларининг тузилиши ва хусусиятларига термик ишлов беришнинг таъсири. Саноатда ишлатилган магналиялар учун тоблашда эксперимент йўли орқали ўрнатилган 435 да 5° С, 20 соат (АЛ8 қотишма учун – 8 соат) қиздириш меъёри ёки янада жадал икки босқичли қиздириш - 435 да 5° С, 4 соат + 460 да 5° С, 4 соат [25,48,49]. тавсия этилади. Гомогенизация пайтида қўйма магналияларда механик хусусиятларнинг асосий яхшиланиши ортиқча фазаларнинг эриши туфайли содир бўлади деб ҳисобланади, чунки кўпчилик саноат қотишмаларида донадорлик тузилиши кам ўзгаради.

Диссертациянинг **“Тадқиқотнинг материаллари ва усуллари”** деб номланган иккинчи боби қотишмаларнинг тузилиши ва хусусиятларини ўрганишга қаратилган.

Қотишмаларни тайёрлаш учун, олдиндан қиздирилган тоза тигелга алюминий юкланди. Металл ҳарорати 700-720°С га етгандан кейин унга лигатуралар киритилди. Ҳарорат 690-700°С бўлганда, пухта аралаштирилгандан кейин ойнадек ялтироқ ҳолатдаги эритмага соф элементлар киритилди. Юқори оксидловчи элементлар, масалан, магний ва рух, эритма ҳарорати 680-700 °С бўлганда киритилди.

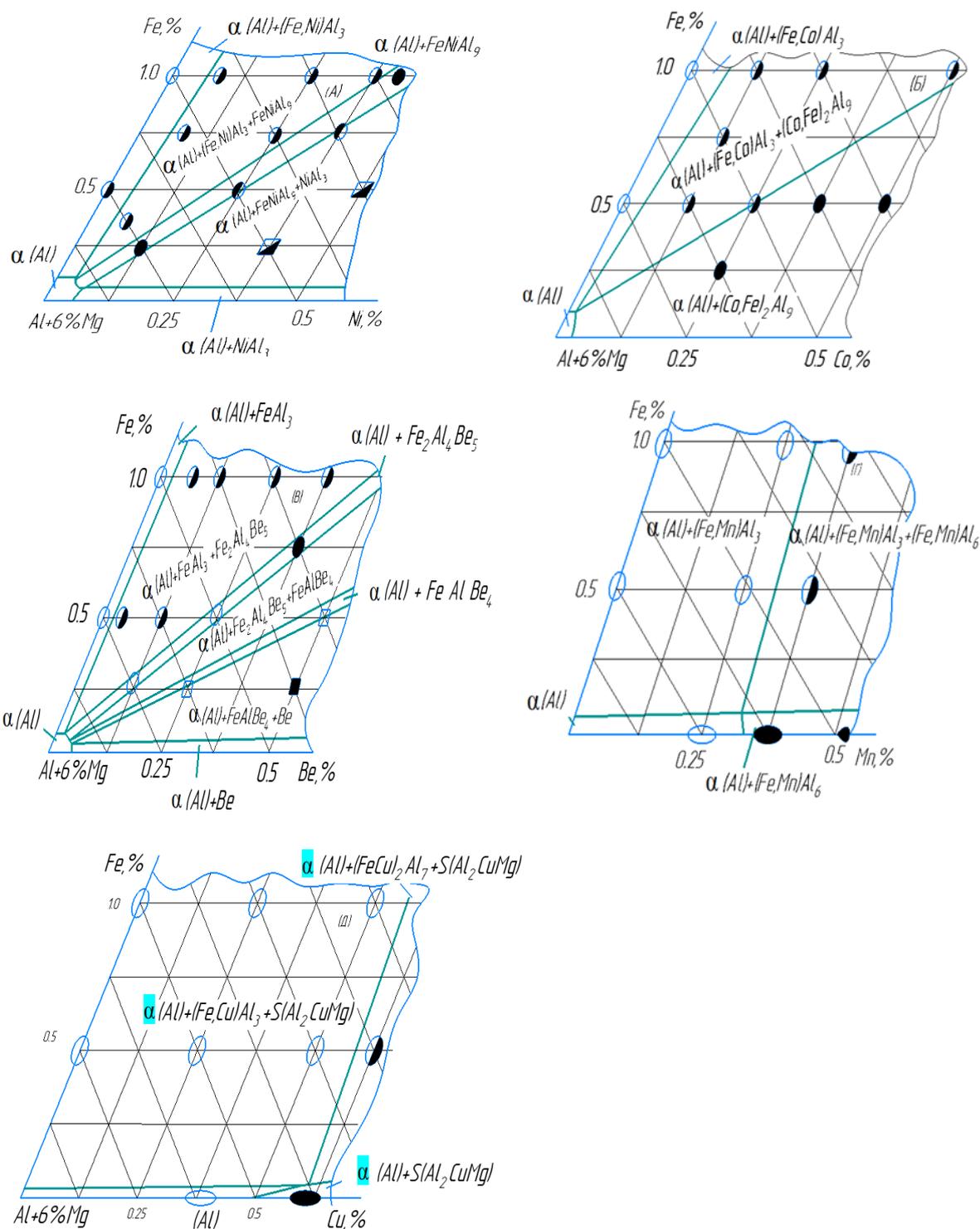
Янги қотишмаларни термик ишлов бериш тартиби. Заготовканинг бир қисми МП2У ёки СНОЛ 1,6, 2,0. 0,8 / 9-МІ лаборатория муфел печларида термик ишлов берилди. Тоблаш учун қиздириш 435 ± 5° С, 460 ± 5° С, 520 ± 5° С, 540 ± 5°С да ҳароратда олиб борилди. Тоблаш 20-100°С ҳароратда сувда олиб борилди.

Қотишманнинг механик хусусиятларни аниқлаш. Вақт қаршилиқ  $\sigma_v$ , шартли оқувчанлик чегараси  $\sigma_{0,2}$  ва нисбий чўзилиш ишчи қисми диаметри 6 мм бўлган (ГОСТ 1497-73) стандарт намуналарда олиб борилди. Чизикли чўзилишга синаш УМЭ -101 М узиш машинасида 1 мм/мин деформация тезлигида чўзилиш диаграммасини қайд этиш орқали амалга оширилди

Диссертациянинг **“Магналияларнинг структураси ва механик хусусиятларига қўшимчаларнинг таъсирини тақиқ қилиш”** деб номланган учинчи бобида аралашмаларнинг магналиялар тузилиши ва механик хусусиятлари таъсири кўриб чиқилган.

Ўрганилган қотишмаларнинг хоссаларига аралашмаларнинг таъсир сабабларини яхшироқ тушуниш учун уларнинг фазали таркиби Al – Mg тизими асосида

тахлил қилинди. Дастлаб, уч, тўрт ва кўп компонентли тизимлар ҳолат диаграммаларининг тегишли кесимлари қурилди.



1-расм. Al – 6% Mg – Fe қотишмаларида никель (а), кобальт, (б), бериллий (в) ва марганец (г), темир фазалари мавжуд бўлган диаграммалари.

Марганец ва мис деярли темирли фазаларнинг морфологиясини ўзгартирмайди, гарчи тегишли концентрацияларда (расм. 1 г) улар фазалар ҳосил қилса-да, уларнинг таркиби FeAl<sub>3</sub> заррачалари таркибидан фарқ қилади.

Алюминий-магний қотишмасининг фаза таркибига 1% Fe билан икки бирикмаларининг биргаликдаги таъсирини ўрганиш куйидаги натижаларни берди.

Марганец ва никель, уларнинг қотишма таркибида 0,15% гача миқдорда бўлса, FeAl<sub>3</sub> фазасида эрийди. Ушбу элементларнинг юқори концентрацияларида темир марганец фазасининг шаклланиши эҳтимоли кўпроқ эканлиги кўринади.

Марганецли ва мис қўшимчали қотишмаларнинг тузилиши Al – 6%Mg – Fe – Mn қотишмаларининг тузилишидан кам фарқ қилади. Мис қисман (Fe,Mn)Al<sub>6</sub> фазага (ўндан бир %) киради. Қотишмада сезиларли мис миқдори (0,8% ва ундан кўп) киритилиши никель билан биргаликда магналияда темир бўлмаган фаза (Al,Ni,Cu) нинг ҳосил бўлишига олиб келади. Табиийки, кўпол томирлар шаклидаги кераксиз (Al,Ni,Cu) фазанинг ажралиб чиқиши ярамайди. Шунинг учун Al – Mg мис тизимининг қуймабоп қотишмаларида мис ва никель концентрациясини 0,6-0,8% гача; никелни 0,2% гача чеклаш керак.

Ўрганилаётган қотишмалар фазаларида биргаликда киритилган элементларнинг таркиби 1 жадвалда аниқ ифодаланган.

Кам миқдордаги қўшимчаларнинг, яъни темир фазали морфологиянинг чўзилишдаги механик хоссаларига таъсири қуйма ва термик ишлов берилган ҳолатда Al+ 6%Mg + 1%Si + 1%Fe<sup>x</sup> қотишмаси мисолида аниқланди. (Т4 – тоблаш режими бўйича 520°С да 10 соат давомида таъсирлангандан сўнг).

#### 1-жадвал

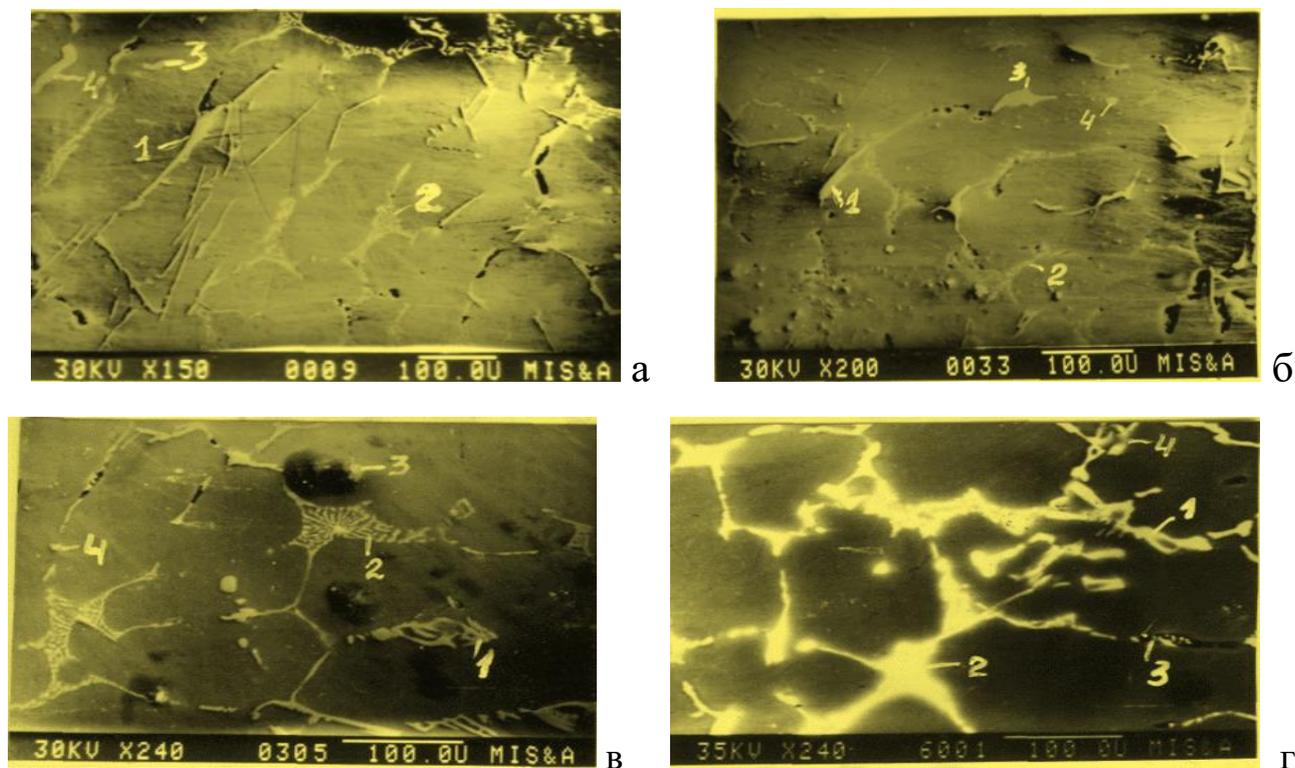
#### Никель, кобальт ва бериллий қўшимчаларининг Al + 6%Mg + 1%Si + 1%Fe<sup>2</sup> қотишмасининг механик хоссаларига таъсири

	Қўшимчалар миқдори			Бирикмаларнинг механик хоссалари					
	Ni <sup>3</sup>	Co	Fe	Қуйилган ҳолда			Тобланган ҳолда <sup>4</sup>		
				σ <sub>B</sub> , МПа	σ <sub>0,2</sub> , МПа	δ, %	σ <sub>B</sub> , МПа	σ <sub>0,2</sub> , МПа	δ, %
1	0,15	-	-	250	173	2,0	272	178	3,5
2	0,4	-	-	245	166	2,5	284	181	4,2
3	0,5	-	-	251	170	2,5	301	173	5,5
4	0,6	-	-	232	173	1,9	270	177	5,0
5	-	0,1	-	257	175	2,8	287	169	4,3
6	-	0,3	-	259	178	2,5	295	178	6,0
7	-	0,6	-	250	198	1,4	290	175	5,8
8	-	-	0,25	240	177	1,5	295	183	4,6
9	-	-	0,5	220	171	1,2	305	184	5,8

Дастлабки қотишмага 0.2-0.5% миқдорда бериллий, кобальт ва никелнинг киритилиши, механик синовлар натижалари (1-жадвал) тоблангандан кейин

$\delta$  нисбий чўзилишнинг 20-35% га ошишини таъминлайди. Қуйилган ҳолда пластикликнинг ошиши кузатилмади.

Термик ишлов берилган ҳолатдаги қўшимчалар билан қотишмаларнинг нисбий чўзилувчанлигининг ортиши юқорида баён этилган темирли фазаларга бериллий, кобальт ва никелнинг модификацион таъсири билан изоҳланади.



**2-расм. Қотишманинг қуйилган ҳолдаги микроструктураси.**

*Al+ 6%Mg (а,б), Al+ 4%Mg (в), Al+ 8%Mg (г)*

*а – қўшимчаларнинг юқори даражасида;*

*б - қўшимчаларнинг ўрта даражасида;*

*в - қўшимчаларнинг юқори даражасида;*

*г - қўшимчаларнинг юқори даражасида;*

Аралашмаларнинг магналиялар механик хусусиятларига таъсирини ўрганиш. 2-жадвалда ўрганилган қотишмаларнинг композициялари келтирилган. Бу механик синовлар натижаларидан келиб чиқадики, (15-расм) аралашмаларнинг биргаликда киритилиши ва улар миқдорининг оширилиши қотишмаларнинг ( $\delta$ ) пластиклигини сезиларли даражада пасайтиради, шу вақтнинг ўзида эса мустаҳкамлик хоссалари ( $\sigma_B$ ,  $\sigma_{0,2}$ , НВ) эса бирламчи саноат қотишмаларига хос даражада қолади.

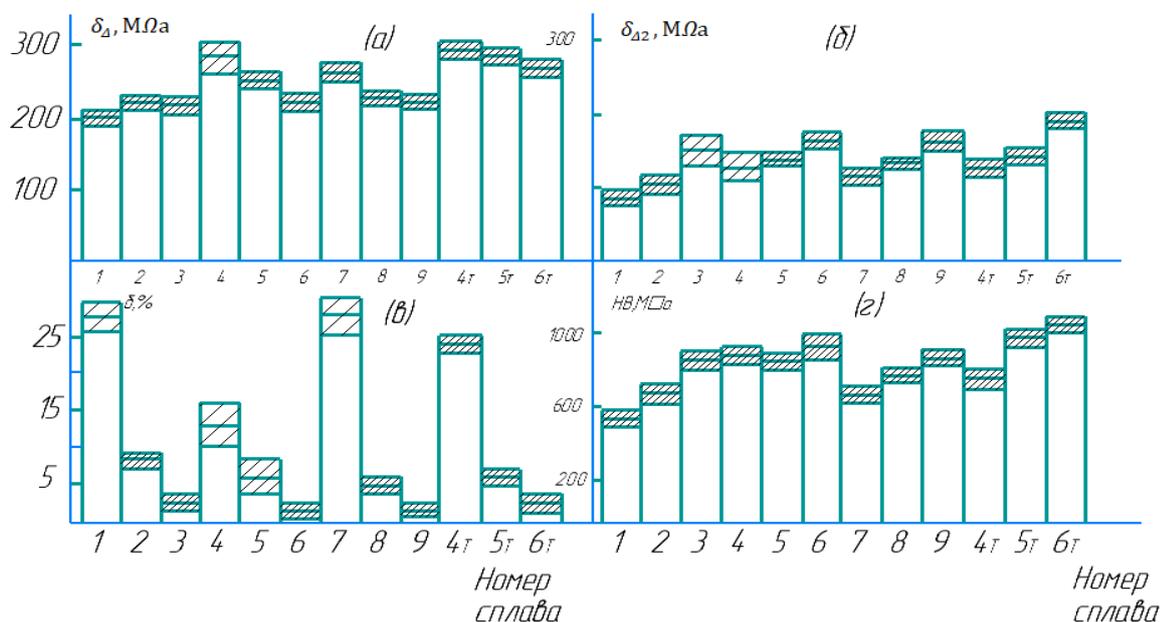
Кўриниб турибдики, энг катта ҳажмий таркибга эга бўлган ортиқча фазаларни ҳосил қилувчи кремний ва темирнинг аралашмалари қотишмаларнинг механик хоссаларини энг кучли пасайтиради.

## Ўрганилаётган қотишмаларнинг кимёвий таркиби

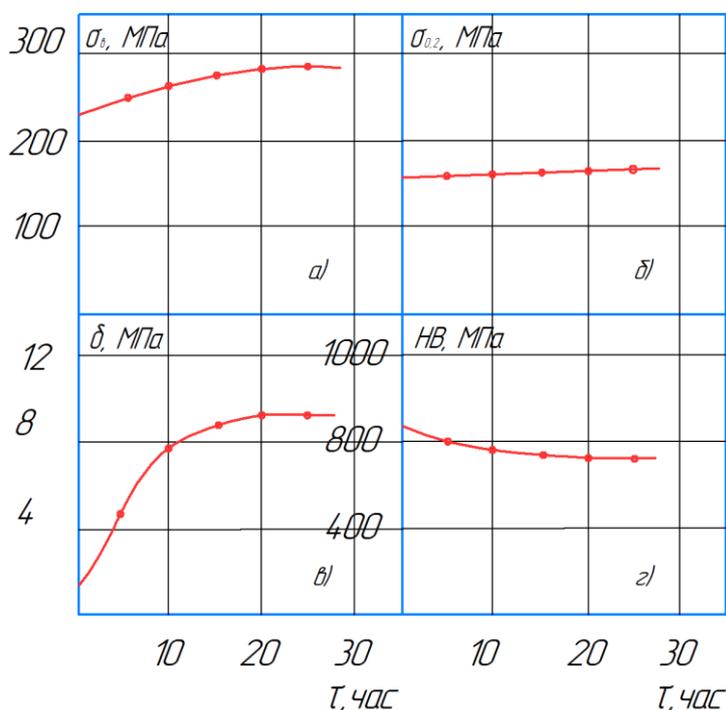
Қотишма №	Концентрацияси, %								
	Mg	Si	Fe	Cu	Zn	Sn	Pb	Ni	Mn
1.	4								
2.	4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	0,3	0,1	0,1
3.	4	1,5	1,5	0,8	1,0	0,5	0,5	0,2	0,3
4.	8								
5.	8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	0,3	0,1	0,1
6.	8	1,5	1,5	0,8	1,0	0,5	0,5	0,2	0,3
7.	6								
8.	6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	0,3	0,1	0,1
9.	6	1,5	1,5	0,8	1,0	0,5	0,5	0,2	0,3
10.	6	0,6							
11.	6	0,8							
12.	6	1,5							
13.	6		0,6						
14.	6		0,8						
15.	6		1,5						
16.	6			0,6					
17.	6			0,8					
18.	6				0,6				
19.	6				0,8				
20.	6				1,0				
21.	6					0,3			
22.	6					0,5			
23.	6						0,3		
24.	6						0,5		
25.	6							0,1	
26.	6							0,2	
27.	6								0,1
28.	6								0,2

Диссертациянинг “Қуймабоп магналияларда қўшимчаларнинг зарарли таъсирини нейтраллаш” деб номланган тўртинчи бобида қуймабоп магналияларда қўшиладиган аралашмаларнинг зарарли таъсирини нейтраллаштириш усуллари кўриб чиқилган.

Кристалланишда келиб чиқадиган ортиқча фазаларининг морфологияси, тарқалиши ва тузилиш параметрларини ўзгартириш орқали ушбу аралашмаларнинг салбий таъсирини камайтириш мумкин.



**3-расм. Алюминий-магний қотишмаларининг механик хусусиятлари.**  
 Изоҳ: 1. Қотишма рақамлари 2-жадвалдаги қотишма рақамларига мос келади.



**4-расм. Al + 6% Mg қотишмаси механик хоссаларининг ўртача даражадаги аралашмалар билан  $520 \pm 5^\circ\text{C}$  да тоблаш учун қиздирилганда, ушлаб туриш вақтига боғлиқлиги.**

Қуймабоп қотишмаларида бунга асосан қотишмаларнинг тузилишини ўзгартириши мумкин бўлган кичик қўшимчаларни киритиш ёки термик ишлов

беришнинг турли усуллари ёрдамида эришилади. Ушбу қотишмаларнинг мувозанатлашган ва мувозанатлашмаган қаттиқлик (солидус) ҳарорати термик таҳлил усулида аниқланди.

Магний миқдорига қараб мувозанатлашган қаттиқлик (солидус) ҳарорати  $525 \div 550 \pm 3^\circ\text{C}$  ораликда ўзгариб туради.

Барча ўрганилаётган қотишмаларда мувозанатлашмаган қаттиқлик (солидус) ҳарорати  $450 \pm 3^\circ\text{C}$  ни ташкил этади. Печларнинг техник имкониятларини ҳисобга олган ҳолда термик ишлов бериш учун гомогенизациялаш ҳароратини  $520 \pm 5^\circ\text{C}$  этиб танланди.

Вақт бўйича тоблаб қиздириш меъёрини оптималлаштириш  $\text{Al} + 6\% \text{Mg}$  қотишмасида, аралашмалар концентрацияси (энг зарарли аралашмаларнинг максимал миқдори)  $\text{Si}$ ,  $\text{Fe}$ -  $\text{Cu}$ –  $1,5\%$  ва  $\text{Cu}$ -  $0,8\%$ ,  $\text{Zn}$ -  $1\%$ ;  $\text{Mn}$ -  $0,3\%$ ,  $\text{Sn}$  и  $\text{Pb}$  -  $0,5\%$ ,  $\text{Ni}$  -  $0,2\%$ . бўлганда амалга оширилди;

механик хусусиятларнинг ( $\sigma_{\text{B}}$ ,  $\sigma_{0,2}$ ,  $\delta$ ,  $\text{HB}$ ) ушланиш вақтига боғлиқлиги 4-расмда келтирилган. Тоблаш учун юқори ҳароратли қиздириш пластикликни ҳамда вақт қаршилиқни сезиларли даражада ошишини таъминлайди. Тоблаш учун учун қиздиришда оптимал ушлаб туриш вақти 10 соатни ташкил этади.

Лекин кремний концентрацияси  $2\%$  бўлган қотишмада структура компоненти ( $\text{Mg}$ ,  $\text{Si}$ ,  $\text{Sn}$ ,  $\text{Pb}$ ) заррачаларининг ҳажмий улуши шунчалик катта бўладики, механик хоссаларнинг юқори қийматлари, айниқса, пластиклиги таъминланмади. Бундан (шунингдек, 3 - жадвалдаги маълумотлардан) келиб чиқадики, ўрганилаётган қотишмалардаги кремний миқдори  $1-1,5\%$  билан чекланиши керак.

$\text{Al} + 6\% \text{Mg} + 1,5\% \text{Si} + 1,5\% \text{Fe} + 0,8\% \text{Cu}$  қотишмасини юқори ҳароратли тоблаш режимларини оптималлаштириш мақсадида қотишмани турли режимларда қиздирилган ҳолда унинг механик хусусиятлари аниқланди. (5-жадвал).

### 3-жадвал

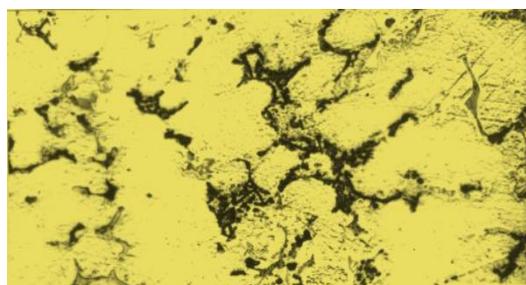
**Кремний миқдорига қараб  $\text{Al} - 6\% \text{Mg} - 1,5\% \text{Fe} - 0,8\% \text{Cu}$  и  $1,5\%$ –  $\text{Si}$  таркибига асосланган қотишмаларнинг тоблангандан кейинги механик хоссалари.**

Тоблашда қиздириш меъёри	Si, Миқдори %	$\delta$ , %	$\sigma_{\text{B}}$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа
Юқори ҳароратли меъёр $520 \pm 5^\circ\text{C}$ , 10ч	0,6	$10 \pm 1$	$280 \pm 20$	$147 \pm 15$
	0,8	$7 \pm 1$	$280 \pm 20$	$165 \pm 15$
	1,0	$4 \pm 1$	$275 \pm 20$	$158 \pm 15$
	1,2	$2,5 \pm 1$	$212 \pm 20$	$145 \pm 15$
	1,5	$1,3 \pm 0,5$	$205 \pm 20$	$142 \pm 15$
Анъанавий меъёр $\pm 5^\circ\text{C}$ , 6ч + $460 \pm 5^\circ\text{C}$ , 4ч	0,6	$1,5 \pm 0,5$	$226 \pm 20$	$134 \pm 15$

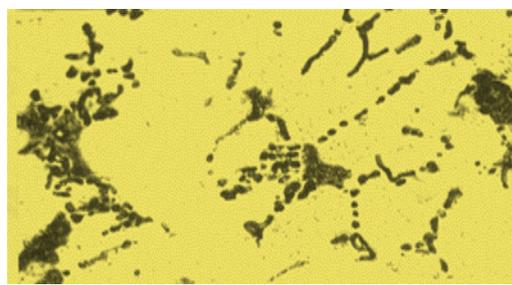
$\text{Al} + 6\% \text{Mg} + 1,5\% \text{Si} + 1,5\% \text{Fe} + 0,8\% \text{Cu}$  қотишмасини юқори ҳароратли тоблаш режимларини оптималлаштириш мақсадида қотишмани турли режимларда қиздирилган ҳолда унинг механик хусусиятлари аниқланди. (5-жадвал).

Магний миқдорига қараб Al – Mg – 1,5%Si – 1,5%Fe – 0,8%Cu таркибига асосланган қотишмаларнинг тоблангандан кейинги механик хоссалар.

Тоблашда қиздириш меъёри.	Mg, Миқдори%	$\delta$ , %	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа
Юқори ҳароратли меъёр 520±5°C, 10ч	2,0	12±2	200±20	105±15
	4,0	8,5±2	275±20	135±15
	6,0	8±2	280±20	148±15
	8,0	8±2	300±15	180±15
	10,0	Намуналарнинг асосий қисми эриган		
Анъанавий меъёр 435±5°C, 6ч + 460±5°C, 4ч	2-10	1,5±1	200-280	105-134

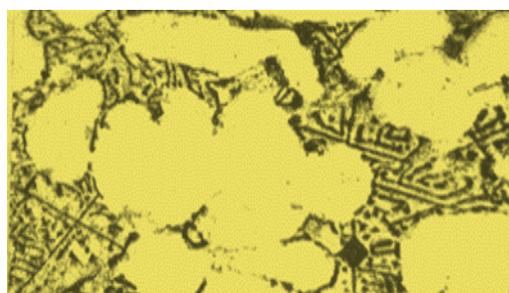


а

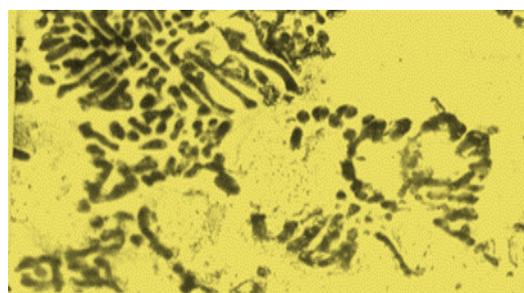


б

5-расм. Al + 6%Mg + 0,6%Si + 1,5%Fe + 0,8%Cu қотишмасининг қуйма (а) ва тобланган (б) ҳолатларда микроструктураси х400.



а



б

6-расм. Al + 6%Mg + 1,5%Si + 1,5%Fe + 0,8%Cu қотишмасининг қуйма (а) ва тобланган (б) ҳолатларда микроструктураси х400.

Текширилаётган қотишмаларни  $\sigma_B$ ,  $\sigma_{0,2}$ ,  $\delta$  бўйича таққослаш саноатда маълум бўлган тезлаштирилган икки босқичли (430°C, 6с + 460°C, 4с) термик ишлов бериш ва ЮХТдан кўра, юқори ҳароратда қиздиришнинг яққол афзалликларини кўрсатади.

3-5-жадвалларда келтирилган механик синовлар натижалари ва тизимли кузатувлар асосида 4-10% Mg ва 1,5% Si гача таркибга эга бўлган қуймабоп магналияларини термик ишлов беришнинг оптималлаштирилган меъёри ишлаб чиқилди, бу 5-20 соат давомида мувозанатлашмаган солидус (қаттиқ) ҳароратидан (520-540°C) 5-10°C паст ҳароратгача қиздириш ва яқунда мойда ёки сувда тоблашдан иборат.

**Турли меъёрларда тоблангандан кейинги (совутиш сувда) Al + 6%Mg + 0,6%Si + 0,6%Fe + 0,6%Cu қотишманинг механик хоссалари.**

Тоблашда қиздириш меъёрлари	Механик хусусиятлари		
	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %
510°C, 20 соат	240 ± 20	134 ± 15	1,5 ± 0,5
520°C, 10 соат	280 ± 15	170 ± 15	7,5 ± I
530°C, 10ч	300 ± 20	165 ± 15	8,0 ± I
540°C, 5 ч	280 ± 20	170 ± 15	7,0 ± 1,5
550°C, 10 ч	165 ± 20	160 ± 15	0,8 ± 0,5
430°C, 6ч+460°C, 4 ч	240 ± 20	140 ± 15	1,7 ± 0,8

Юқори ҳароратли тоблаш орқали кремний ва мис аралашмаларининг зарарли таъсири қисман нейтраллаштирилди. Бироқ термик ишлов бериш орқали темирнинг механик хусусиятларига салбий таъсирни йўқотишнинг имкони бўлмади. Темир қўшимчаларини зарарсизлантириш учун ўрганилган қотишмаларнинг тузилишини кам миқдорда қўшимчалар қўшиш билан ўзгартиришга ҳаракат қилинди.

Асосий легирловчи элементи магний бўлган ва юқори миқдорда аралашмалар бўлган алюминий қотишмаларини термик ишлов бериш, термик ишлов беришни назарда тутувчи юқори ҳароратда қиздириш, термик ишлов берилмайдиган алюминий -магний қотишмаларининг термик мустаҳкамлигини таъминлади ва қотишманинг механик хусусиятларини 1,20-1,25 марта оширди.

Диссертациянинг **“Al-Mg тизими базасидаги иккиламчи қўймабоп қотишманинг таркибини такомиллаштириш, структураси ва хоссаларини тақиқ қилиш”** деб номланган бешинчи бобда Al – Mg тизими асосида иккиламчи қўймабоп қотишмани такомиллаштириш ва унинг тузилиши ва хусусиятларини ўрганиш масалалари кўриб чиқилган.

Al – Mg тизим асосида янги иккиламчи қўймабоп қотишма таркибини танлаш. Al – Mg. қотишмаларини аралашмалар билан, тузилишини ва механик хусусиятларини ўрганиш натижалари Al – Mg. тизими асосида янги иккиламчи қўймабоп қотишма таркибини ишлаб чиқишга имкон берди. Қолган элементларнинг концентрациясини аниқлашда, механик хусусиятларнинг қулай комбинацияси талабларидан ташқари, ишлаб чиқиладиган қотишма учун ГОСТ 1639-78 бўйича чиқинди ва бўлақлар таркибига асосландик. Шу билан бирга, мақсад имкони борича шихтанинг бойитилмаган аралашмасинидан фойдаланиш эди.

Ишлаб чиқиладиган қотишманинг мақбул таркибини танлаш, етарлича кўп миқдордаги аралашмалар мавжуд бўлган ҳолда юқори механик хусусиятларини таъминлаш мақсадида амалга оширилди.

Аслида, алюминий қотишмаларининг бўлақлари ва чиқиндилари 1,5% гача Fe ни ўз ичига олади, бу унинг миқдорини қотишма таркибида чеклаш мезонларидан биридир. Бундан ташқари, агар қотишмада 1,5% гача Fe мавжуд бўлса, темир таркибли интерметаллидлар қўшимчаларининг зарарли таъсирини

зарарсизлантириш (нейтираллаштириш) мумкин. Бунга легирлаш пайтида темир фазаларининг морфологиясини ўзгартириш орқали эришилади.

Ишлаб чиқилган қотишманинг коррозияга чидамлилиги талаблари мис таркибига чекловлар қўяди (0,8% гача).

Қотишмаларда (0,8% ва ундан кўп) миқдордаги мис, никель билан бирга магналияларда (Al, Ni, Cu) фазалари кўпол томирларининг ҳосил бўлишига олиб келади. Табиийки, (Al, Ni, Cu) кераксиз фаза бўлиб, бу тизим асосида қуймабоп қотишмаларида миснинг рухсат этилган концентрациясини ҳам чеклайди.

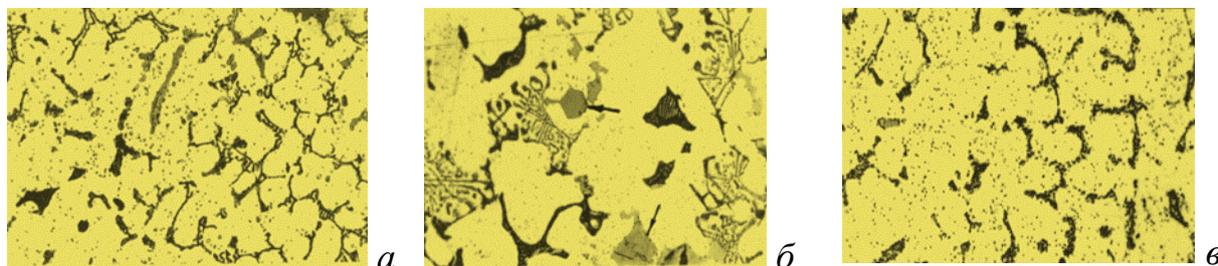
Рух 1,5% гача қуймабоп магналиялар қаттиқ эритмасининг мустақамлашишига ёрдам беради. Бундан ташқари, рухнинг керакли концентрацияси (0,6-1,0%), шунингдек, магнийнинг (4-8%) концентрацияси коррозияга чидамлилигининг зарур даражасини сақлаб туриш учун тоблашда юқори ҳароратли қиздиришдан фойдаланиш имконини беради. Умумий миқдори 0,5% гача бўлган қалай ва қўрғошин қотишманинг механик хусусиятларини пасайтирмасдан, кесиб ишлов беришни яхшилади. Умуман, алюминий қотишмаларининг бўлаклари ва чиқиндиларида қалай ва қўрғошин миқдори (ҳар бири) 0,2% дан ошмайди

Марганец концентрацияси (0,1-0,2%) хомашёда кўшимчалар шаклида бўлиши ва унинг коррозия хусусиятларини оширишга асосланган.

Охирги ҳолатда қотишманинг қуйидаги кимёвий таркиби таклиф этилади: 4-8% Mg; 0,6-1,5% Si; 1,5% гача Fe; 0,6-0,8% Cu; 0,6-1,0% Zn; 0,3-0,5% гача Sn ва Pb ҳар бири; 0,1-0,3% Mn; 0,2% гача Ni; қолгани Al.

Турли хил таркибий қисмларга эга бўлган қотишманинг тузилиши 6-расмда тасвирланган. 8-расмда 7-расмдаги қотишмаларнинг тобланган ҳолдаги микроструктураси кўрсатилган.

Микроструктурани таҳлил қилиш шуни кўрсатдики, қотишма таркибидаги компонентларнинг энг юқори миқдори билан, таркиби фазалардан ташқари, янги таркибий компонент, қиррали йирик кристаллар шаклида пайдо бўлади (7в ва 8в-расмларда стрелкалар билан кўрсатилган). Бу кристаллар ранги бўйича темир таркибли фазалардан фарқ қилмайди. Компонентларнинг қуйи таркиби билан янги қотишманинг таркибий қисмлари (морфологиясида) илгари ўрганилганларга ўхшайди.

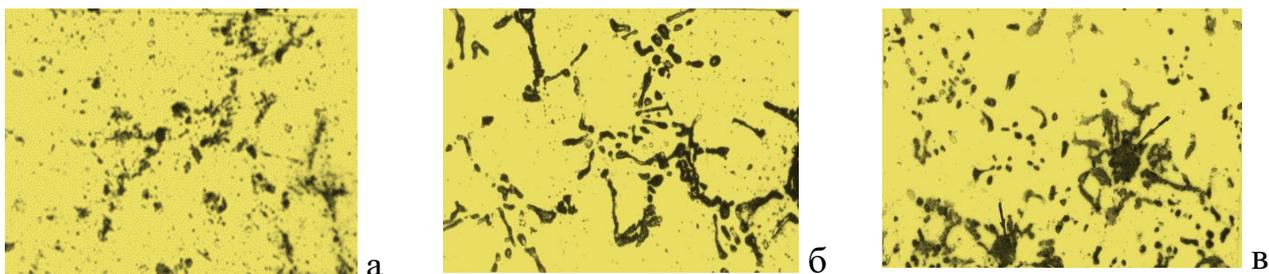


**7-расм. Қуйма ҳолатдаги қотишманинг микроструктураси. х400.**

*a) – Al + 4 %Mg + 0,6%Si + 0,6%Fe + 0,6%Cu + 0,6%Zn + 0,3%Sn + 0,3%Pb + 0,1%Mn + 0,1%Ni*

*б) – Al + 6%Mg + 0,8%Si + 0,8%Fe + 0,6%Cu + 1%Zn + 0,3%Sn + 0,3%Pb + 0,3%Mn + 0,2%Ni*

*в) – Al + 8%Mg + 1,5%Si + 1,5%Fe + 0,8%Cu + 1,0%Zn + 0,5%Sn + 0,5%Pb + 0,3%Mn + 0,2%Ni*



**8-расм. Тобланган қотишманинг микроструктураси. х400.**

*a) – Al + 4 %Mg + 0,6%Si + 0,6%Fe + 0,6%Cu + 0,6%Zn + 0,3%Sn + 0,3%Pb + 0,1%Mn + 0,1%Ni*

*б) – Al + 6%Mg + 0,8%Si + 0,8%Fe + 0,6%Cu + 1%Zn + 0,3%Sn + 0,3%Pb + 0,3%Mn + 0,2%Ni*

*в) – Al + 8%Mg + 1,5%Si + 1,5%Fe + 0,8%Cu + 1,0%Zn + 0,5%Sn + 0,5%Pb + 0,3%Mn + 0,2%Ni*

**6-жадвал**

**Қотишманинг механик хоссалари.**

Хоссалари	Қуйма ҳолатда	Тобланган ҳолда <sup>5</sup>
Чўзилишдаги вақт қаршилик, МПа	230-245	240-300
Шартли оқувчанлик чегараси, МПа	145-160	140-190
Нисбий чўзилиш, %	1-5	2-8
Бринеллю бўйича қаттиқлик, МПа	740-950	700-940
Парчаланиш қовушқоқлиги $K_{1c}$ , МПа м <sup>1/2</sup>	11,5-17	20-22
Зарбий қовушқоқлик, Дж/см <sup>2</sup> КСУ	1,5-17	2-13
	КСV	2-11
	КСТ	2-4,5

Кремний деярли тўлиқ ва магний қисман (тахминан, 0,7-0,9%) магний силицидида боғланган. Қаттиқ эритмадаги каби бир хил миқдордаги мис Fe фазаларида бўлади. Марганец ва никель  $FeAl_3$  фазасида сезиларли даражада эрийди, шунингдек, темирни  $(Fe,Mn)Al_6$  ва  $FeNiAl_9$  фазаларига боғлайди. Бундан ташқари, қотишма таркибидаги компонентларнинг максимал таркибида бирламчи кристаллар  $(Fe,Mn)Al_6$  кристалланади, уларнинг таркиби шу фазанинг илгари ўрганилган зарраларидан деярли фарқ қилмайди.

## ХУЛОСА

1. Диссертация ишида *Si, Fe, Cu, Zn, Sn, Pb, Ni, Mn* аралашмаларининг *Al-Mg* тизими асосидаги қўймабоп қотишмаларнинг тузилиши, фазавий таркибига таъсирини ўрганишни ўз ичига олган долзарб илмий-техникавий муаммолар ҳал қилинган.

2. Алюминий (4-8%) магнийли қотишмаларининг чўзилишдаги механик хусусиятлари алоҳида ва биргаликда киритилган қўшимчалар концентрациясига боғлиқлиги аниқланган. Механик хусусиятларнинг қийматларини пасайтирадиган энг зарарли қўшимчалар кремний, темир ва мис бўлиб, улар таркибида юқори миқдорда қўшимчалар бўлган қотишмаларнинг нисбий чўзилишини мос равишда 1,5%, 1,5%, 0,8% гача пасайтиришига имкон беради.

3. Юқори ҳароратли гомогенизациялаш жараёнида компонентлар (*Mg, Si, Sn, Pb*) нинг тузилиши морфологиясининг ўзгариши аниқланди. 5-20 соат давомида 520-540°C гача қиздириб, кейин сувда совутиш қотишмаларнинг механик хусусиятларини, хусусан, пластиклигини 1,5 баробар оширишга хизмат қилади.

4. *Al – Mg – Fe* тизимидаги 1% гача темир концентрацияси, бериллий, кобальт, никель қўшилмалари 0,5% гача бўлган қотишмаларнинг фазавий таркиби, морфологияси ва темир ўз ичига олган фазаларининг мавжудлик чегараси аниқланган.

5. Темир фазалари морфологиясининг чегараланиши темирнинг механик хусусиятларга зарарли таъсирини қисман бартараф этишга ёрдам бериши аниқланган. Бу механик хусусиятларнинг 15-30% га ошишига хизмат қилади.

6. *Al – Mg* тизими асосидаги иккиламчи қўймабоп қотишма таркиби таклиф қилинган ва саноат синовлари учун тавсия этилган. Қотишма таркибида:

*4-8% Mg, 0,6%-1,5% Si, 1,5% Fe, 0,6-0,8 Cu, 0,6-1,0% Zn, 0,5% гача Sn ва Pb; 0,2% гача; Ni; 0,1-0,3% Mn*, қолганлари алюминийдир. Тобланган ҳолатдаги қотишма юқори пластикликка ( $\delta > 2\%$ ), бирламчи қўймабоп магналияларидан қолишмайдиган ( $\geq 240$ МПа) вақт қаршилиқ ва ( $\geq 140$ МПа) оқувчанлик чегарасида бўлишини таъминлайди.

7. Тоблаш учун қотишмани мувозанат қаттиқлигидан 5-10°C юқори ҳароратгача қиздириш имконияти ўрнатилган. Қотишмани 545,-585°C гача

(компонентларнинг концентрациясига қараб) тоблаш учун қиздириш ва 3-5 соат ушлаб туриш қотишмаларнинг нисбий чўзилишининг 30% дан кўпроқ ошишини таъминлади ва компонентлар концентрацияси юқори чегаравий қийматдаги қотишма учун вақт қаршилиқ ва оқувчанлик чегараси 15-30% га ошишига хизмат қилади.

8. Жорий этиш натижасида куйманинг юқори механик хусусиятларга, яъни чўзилишдаги вақт қаршилиқ 230-245 МПа, чўзилишдаги шартли оқувчанлик чегараси 145-160 МПа, нисбий чўзилиш 1-5 % ни ташкил этган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/12.2019. Т.03.04 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ  
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

---

**НАВОИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**ОБИТОВ НАСРИДДИН МЕХРИЕВИЧ**

**ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЕВЫХ  
СПЛАВОВ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ПРИМЕСЕЙ**

**05.02.01 – Материаловедение в машиностроении. Литейное производство. Термическая  
обработка и обработка металлов давлением. металлургия. Металлургия чёрных,  
цветных и редких металлов. Технология уникальных, редких и радиоактивных  
элементов (по направлению литейного производства и технологии обработки металлов)**

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

**Ташкент – 2023**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за 2022.3.PhD/T1853.

Диссертация выполнена в Навоийском государственном горно-технологическом университете.

Автореферат диссертации на двух языках (узбекский, русский и английский (резюме)) размещен на веб-странице ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) и информационно-образовательном портале «Ziyouneb» ([www.ziyouneb.uz](http://www.ziyouneb.uz)).

**Научный руководитель:**

**Мансуров Юлбарсхон Набиевич**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Нурмуродов Салохиддин Дусмуродович**  
доктор технических наук, профессор

**Шазимов Анартай Олжабаевич**  
кандидат технических наук, доцент

**Ведущая организация:**

**Филлал Национального  
исследовательского технологического  
университета «МИСиС» в г. Алматы**

Защита диссертации состоится «4» марта 2023 года в 14<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета PhD.03/30.12.2019.T.03.04 при Ташкентском государственном техническом университете. (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел./ факс (99871)227-10-32, e-mail: [tadqiqotchi@tdtu.uz](mailto:tadqiqotchi@tdtu.uz))

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрирована за №305). (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел./ факс (99871) 227-10-32.)

Автореферат диссертации разослан «17» февраль 2023 года  
(реестр протокола рассылки № 159 от «15» февраль 2023 года).



*Handwritten signature of K.A. Karimov*

**К.А.Каримов**

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

*Handwritten signature of Sh.B. Tashbulatov*  
Ученый секретарь научного совета по присуждению ученых степеней, доктор философии по техническим наукам, (PhD)

**Ш.Б.Ташбулатов**

*Handwritten signature of N.D. Turahodjaev*  
Председатель научного семинара при научном совете по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

**Н.Д.Тураходжаев**

## Введение (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире алюминий стал основой важнейших конструкционных материалов. Благодаря сочетанию высокой пластичности и прочности, хорошей коррозионной стойкости, сплавы алюминия расширили область применения в машиностроении, автомобилестроении, авиастроении, космической технике, строительстве и даже в изготовлении тары и упаковки. Своими физическими свойствами и технологичностью, он конкурирует с другими цветными металлами в части применения. Все важнейшие промышленные страны мира стали крупнейшими производителями алюминия, в том числе из вторичного сырья. Так, в США, Японии, Германии, Канаде, Франции и других странах потребителя не интересует природа возникновения сплавов. Их не интересует - деталь изготовлена из первичного металла или отходов. Подтверждением этому является тот факт, что, например, объем производства первичного и вторичного алюминия в США равны между собой и составляют приблизительно каждого по 3,3 млн. т в год. Япония, не имеющая абсолютно никаких природных ресурсов, имеет только вторичное производство алюминия и его сплавов.

В развитых странах мира ведутся мероприятия по проведению глубоких теоретических и экспериментальных исследований по развитию выпуска цветных металлов из лома и отходов. К основным направлениям экономического и социального развития относятся «расширение номенклатуры выпускаемой продукции, увеличение производства наиболее экономичных видов металлопродукции», запуск производства цветных металлов из металлолома и ранее не использовавшегося, трудно перерабатываемого вторичного сырья. и довести его объём до 5,4 млн тонн в году.

В республике проводятся научные исследования по снижению энерго- и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение энергосберегающих технологий в производство, улучшение физико-химических свойств металлопродукции. Реализация этих задач, в том числе, снижение энергоёмкости и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий, совершенствование физико-химических свойств и металлопродукции, является одной из важнейших задач и объясняют актуальность темы настоящей диссертационной работы. В Стратегии дальнейшего развития нового Узбекистана сформулированы важные задачи, в частности «...поднятию промышленности на качественно новый уровень, глубокой переработке местного сырья, ускорению производства готовой продукции, освоению новых видов продукции и технологии...»<sup>6</sup>.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Постановлениях Президента Республики Узбекистан от 24 августа 2019 года №ПП-4426 «О дальнейшем повышении ответственности органов государственного и хозяйственного управления и

---

<sup>6</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг «2022 — 2026 йилларга мўлжалланган янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида»ги 2022 йил 28 январдаги №ПФ-60-сонли Фармони

местных исполнительных органов по внедрению новой системы локализации производства и ускорению кооперации в сфере производства», от 4 октября 2019 года №ПП - 4477 «Об утверждении Стратегии перехода к «зеленой» экономике Республики Узбекистан на 2019-2030 годы», от 15 марта 2020 года №ПП-6079 «Цифровой Узбекистан – 2030», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и техники республики.** Данное исследование выполнено в рамках II приоритетного направления развития науки и технологий Республики «Энергетика, энергия и ресурсосбережение».

**Степень изученности проблемы.** Ведущие ученые провели научные исследования с целью оптимизация состава и структуры алюминиевых сплавов. Ведущие ученые мира, внесшие большой вклад в развитие науки и практики, в том числе, М. Огава, Дж. Е. Хэтч, А.М. Бочвар, М.В. Захаров, А.М. Захаров, И.И. Новиков, Г.М. Кузнецов, В.С. Золоторевский, В.К. Портной, Б.А.Колачев, В.П. Ливанов, В.И.Елагин, Н.А. Белов, а также учёные нашей страны А.С.Турахонов, Р.М. Мирбобоев, Н.Ж. Тураходжаев, Р. М. Саидов, Ю.Н.Мансуров, Ж.У.Рахмонов развивают традиционные и новые технологические процессы по совершенствованию состава и структуры сплавов, в том числе алюминиевых.

Несмотря на проведенные исследования по повышению механических свойств сплавов системы Al-Mg, до сих пор остается ряд нерешенных задач, в том числе, изучению влияния примесей на состав и структуру алюминиевых сплавов. До конца не изучены вопросы по установлению фундаментальных закономерностей взаимосвязи между составом, структурой и механическими свойствами магналиев. Есть разрозненные сведения по режимам термической обработки алюминий-магниевого сплавов с наиболее вероятными примесями в ограниченном количестве, влиянию малых добавок на структуру свойства магналиев с повышенным содержанием примесей. Для систематизации информации и решения названных выше задач поставлена настоящая работа.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Работа выполнена в рамках прикладного проекта Навоийского горного института БВ-А<sub>тех</sub>-2018-514 «Разработка и научное обоснование технологии повышения стойкости штапов холодной штамповки» (2018-2020 гг.).

**Цель исследования** является разработка оптимизации состава и структуры Al сплавов, повышение коэффициента использования металла (КИМ) алюминия и его первичных сплавов за счет исследования нового вторичного литейного сплава на базе системы Al-Mg с комплексом механических свойств, не уступающих первичным сплавам этой системы.

**Задачи исследования:** разработать влияния примесей на структуру и свойства алюминиевых сплавов, а также режимов термической обработки на фазовый состав, структуру и эксплуатационные свойства сплавов системы *Al-Mg* определить фазового состава сплавов системы с повышенным содержанием примесей кремния, железа, меди, цинка, олова, свинца, никеля, марганца, введенных порознь и совместно.

определить влияния малых добавок на структуру и свойства магналиев с повышенным содержанием примесей.

определить зависимости структурных параметров и механических свойств нового сплава от скорости охлаждения при кристаллизации.

разработать режимов термической обработки алюминиево-магниевых сплавов с наиболее вероятными примесями.

разработать вторичных сплавов на базе системы *Al-Mg* и режимов их термической обработки.

**Объектом исследования являются** алюминиево-магниевые сплавы с повышенным содержанием примесей.

**Предметом исследования** являются закономерности влияния примесей на структуру алюминиевых сплавов с повышенным содержанием примесей и режимов термической обработки на фазовый состав, структуру и эксплуатационные свойства сплавов системы *Al-Mg* и разработка нового вторичного литейного сплава на базе этой системы.

**Методы исследований:** диссертационная работа выполнена на основе применения основных положений теории металловедения, термической обработки, фазового состава и механических свойств сплавов.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

Разработана влияние примесей на структуру и свойства алюминиевых сплавов, а также режимов термической обработки на фазовый состав, структуру и эксплуатационные свойства сплавов системы *Al-Mg* на основе степени связанности фазовым свойствам.

Разработан фазовый состав сплавов системы с повышенным содержанием примесей *Mg – Si – Fe – Cu – Zn – Sn – Pb – Ni*, введенных порознь и совместно в количестве *4-8%Mg, 0,6-1,5%Si, до 1,5%Fe, 0,6-0,8%Cu, 0,6-1,0% Zn, до 0,3-0,5% Sn и Pb каждого, 0,1-0,3% Mn, до 0,2%Ni, ост. Al* на основе степени изменения микро и рентгеноструктурного изменения.

Установлено влияние малых добавок на структуру и свойства магналиев с повышенным содержанием примесей на основе степени связанности механическим свойствам.

Установлена связь между структурой и механическими и литейными свойствами магналиев.

Разработаны режимы термической обработки алюминиево-магниевых сплавов с наиболее вероятными примесями основе закономерности формирования зоны соединения.

Разработан вторичный сплав на базе системы *Al-Mg* и режимы его термической обработки на основе степени связанности к температуры закалки.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработана технология приготовления алюминиево-магниевого сплава для исследования его структуры и свойств. Сплав готовили в лабораторной шахтной печи электросопротивления с слитковыми нагревателями в графитошамотных тиглях;

разработана технология термической обработки сплава в лабораторных муфельных печах МП2У или СНОЛ 1,6, 2,0, 0,8/9-МІ. Нагрев под закалку проводили при температурах  $435 \pm 5^\circ\text{C}$ ,  $460 \pm 5^\circ\text{C}$ ,  $520 \pm 5^\circ\text{C}$ ,  $540 \pm 5^\circ\text{C}$ . Контроль температуры осуществляли хромель-алюминиевой термопарой с помощью потенциометра ЭПД - 12 с точностью  $\pm 1-2^\circ\text{C}$ ;

разработана технология определения временного сопротивления  $\sigma_B$ , условного предела текучести  $\sigma_{0,2}$ , относительного удлинения на разрывной машине УМЭ-101М с записью диаграммы растяжения при скорости деформирования 1 мм/мин с использованием стандартных образцов с диаметром рабочей части 6 мм;

разработана технология исследования структуры и фазового состава сплавов методами световой и электронной микроскопии (просвечивающей и сканирующей), а также на микро-рентгеноспектральном анализаторе ISM- 35CF - фирмы "IEDL".

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность результатов исследования подтверждается тем, что работа базируется на теориях повышения механических свойств и материаловедения, распространенных на сплавах из цветных металлов. Достоверность полученных данных подтверждена стойкостными испытаниями, проведенными в ПО НМЗ НГМК.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследования заключается в том что наиболее сильное отрицательное влияние на механические свойства литых и термически обработанных магналиев оказывают примеси железа и кремния, вызывающие образование включений избыточных фаз в форме игл и иероглифов.

Практическая значимость результатов исследования заключается в разработке нового вторичного литейного сплава на базе системы *Al-Mg* с комплексом механических свойств обеспечивающих повышение относительного удлинения сплава на 3-5 %, и предела текучести на 13-15 % , не уступающих первичным сплавам этой системы.

**Внедрение результатов исследования.** На основе проведенных научных исследований разработаны технологии и методы оптимизации состава и структуры алюминиевых сплавов с повышенным содержанием примесей.

На ПО НМЗ ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» внедрены методы оптимизации коэффициента формы структурных составляющих, фаз

кристаллизационного происхождения сплавов, приготовленных из лома и отходов алюминиевых сплавов, как в литом, так и термически обработанном состояниях (справка ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» № 02-06-07/11540 от 30 ноября 2021 г.). В результате относительное удлинение увеличилось на 3-5%, условный предела текучести на 13-15%.

Использован способ термической обработки сплавов алюминия с основным легирующим элементом магнием и повышенным содержанием примесей, предусматривающий высокотемпературный нагрев, внедрен на ПО НМЗ ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» (справка ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» № 02-06-07/11540 от 30 ноября 2021 г.). В результате обеспечена термическая упрочняемость термически неупрочняемых алюминиево-магниевого сплавов и повышены механические свойства сплавов в 1,20 -1,25 раза.

Выполнен нагрев под закалку нового сплава до температур на 3-5°C выше равновесного солидуса, и внедрен на ПО НМЗ ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» (справка ГП «Навоийский горно-металлургический комбинат» № 02-06-07/11540 от 30 ноября 2021 г.).

В результате нагрева под закалку сплава в течение 3-5ч обеспечено повышение относительного удлинения сплава на 10-12 %, а для сплава с верхним предельным уровнем концентрации компонентов повышение и временного сопротивления, и предела текучести на 15-18 %.

**Апробация результатов исследования.** Апробация результатов данного исследования проведена на 5 республиканских и 3 международных научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 14 научных работ, из них 6 статей в научных изданиях, рекомендованных для издания основных научных результатов диссертаций Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в том числе 4 из которых в республиканских и 2 в зарубежных журналах.

**Структура и объем диссертации.** Структура диссертации состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 120 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**В введении** обосновывается актуальность и востребованность проведенного исследования, цель и задачи исследования, характеризуются объект и предмет, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

Во первой главе диссертации под названием **“Сплавы алюминия с высоким содержанием примесей”** проведен анализ литератур по данной теме.

После закалки эти сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью в атмосферных, морских условиях, в щелочных растворах и агрессивных средах на основе азотной кислоты.

В целом, в сплавы алюминия с основным легирующим элементом магнием вводят более 10 элементов с целью улучшения эксплуатационных свойств.

Из этих элементов Si, Fe, Cu, Mn, Zn, Sn, Pb, Ni содержатся в первичных сплавах, лом и отходы которых могут быть использованы при выплавке вторичного литейного сплава.

Изучено влияние термической обработки на структуру и свойства алюминиево-магниевых сплавов. Для промышленных литейных магниевых сплавов рекомендуется в основном режим нагрева под закалку, установленный экспериментально:  $435 \pm 5^\circ\text{C}$ , 20 ч (для сплава АЛ8- 8ч) или более ускоренный двухступенчатый нагрев -  $435 \pm 5^\circ\text{C}$ , 4 ч +  $460 \pm 5^\circ\text{C}$ , 4 ч.

Во второй главе диссертации под названием **“Материалы и методика исследования”** предусмотрены материалы и методы изготовления и исследования сплавов.

Для приготовления сплавов в чистый, предварительно нагретый тигель загружали алюминий. После доведения температуры металла до  $700-720^\circ\text{C}$  вводили лигатуры. При  $690-700^\circ\text{C}$ , после тщательного перемешивания, под зеркало расплава вводили чистые элементы. Сильно окисляющиеся элементы, например, магний и цинк, вводили в последнюю очередь при температуре расплава  $680-700^\circ\text{C}$ .

Термическая обработка новых сплавов. Часть заготовок термообработывали в лабораторных муфельных печах МП2У или СНОЛ 1,6. 2,0, 0,8/9-МІ. Нагрев под закалку проводили при температурах  $435 \pm 5^\circ\text{C}$ ,  $460 \pm 5^\circ\text{C}$ ,  $520 \pm 5^\circ\text{C}$ ,  $540 \pm 5^\circ\text{C}$ . Закалку проводили в воде при температуре  $20 - 100^\circ\text{C}$ .

Определение механических свойств. Временное сопротивление  $\sigma_B$ , условный предел текучести  $\sigma_{0,2}$  относительное удлинение  $\delta$  определяли на стандартных образцах с диаметром рабочей части 6 мм (ГОСТ 1497-73). Испытание на одноосное растяжение проводили на разрывной машине УМЭ-101 М с записью диаграммы растяжения при скорости деформирования 1 мм/мин.

В третьей главе диссертации под названием “Исследование влияния примесей на структуру, механические и литейные свойства магналиев” рассмотрено влияние примесей на структуру и свойства магналиев. Для лучшего понимания причин влияния примесей на свойства исследуемых сплавов на базе системы Al – Mg был проанализирован их фазовый состав.

Для начала были построены соответствующие сечения диаграмм состояния трех, четырех и многокомпонентных систем.

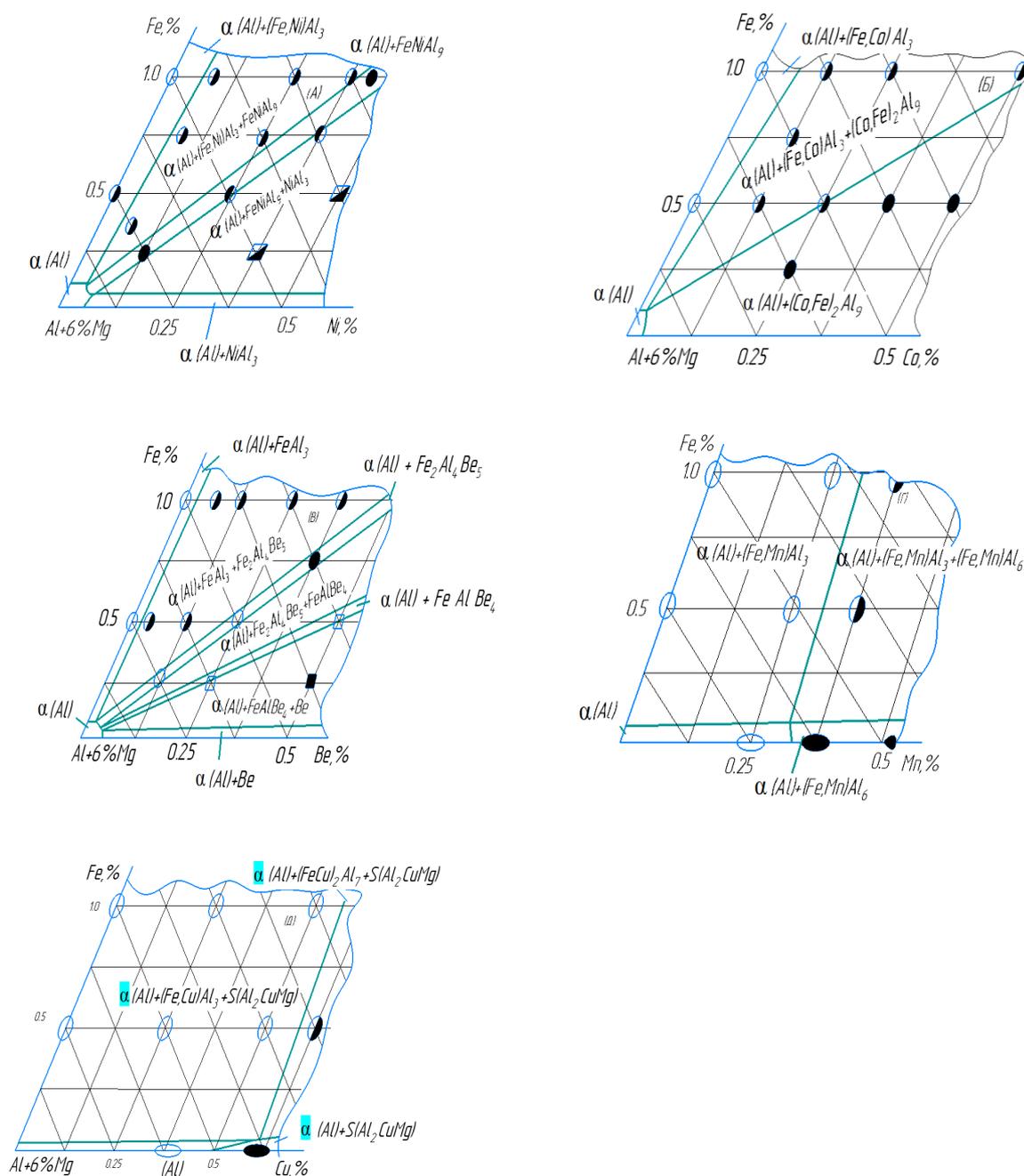


Рис.1. Диаграммы распределения областей железосодержащих фаз в сплавах Al – 6% Mg – Fe с добавками никеля(а), кобальта (б), бериллия (в), марганца (г), меди (д).

Марганец и медь практически не изменяют морфологию железистых фаз, хотя при соответствующих концентрациях (рис.1г, д) они образуют с железом фазы, состав которых отличается от состава частиц FeAl<sub>3</sub>.

Изучение совместного влияния сочетаний двух добавок на фазовый состав алюминиево-магниевого сплава с 1% Fe дали следующие результаты.

Марганец и никель при содержании их в сплаве до 0,15% растворимы в фазе FeAl<sub>3</sub>. При больших концентрациях этих элементов, по-видимому, более вероятно образование железомарганцовистой фазы.

Структура сплавов с добавками марганца и меди мало отличается от структуры сплавов Al – 6%Mg – Fe – Mn. Медь частично входит в фазу (Fe,Mn)Al<sub>6</sub> (десятые доли %). При значительном содержании меди в сплаве (0,8% и более), ее введение совместно с никелем приводит к образованию в магналиях фазы (Al,Ni,Cu), в которой не содержится железо. Естественно, фаза (Al,Ni,Cu), выделяющаяся в виде грубых прожилок, нежелательна. Поэтому необходимо ограничение концентрации меди и никеля в литейных сплавах системы Al – Mg меди до 0,6-0,8%; никеля до 0,2%. Влияние малых добавок, то есть морфологии железосодержащих фаз, на механические свойства при растяжении определяли на примере сплава Al+ 6%Mg + 1%Si + 1% Fe<sup>x</sup> в литом и термически обработанном (по режиму T4 - закалка от 520°C после выдержки 10 час) состояниях.

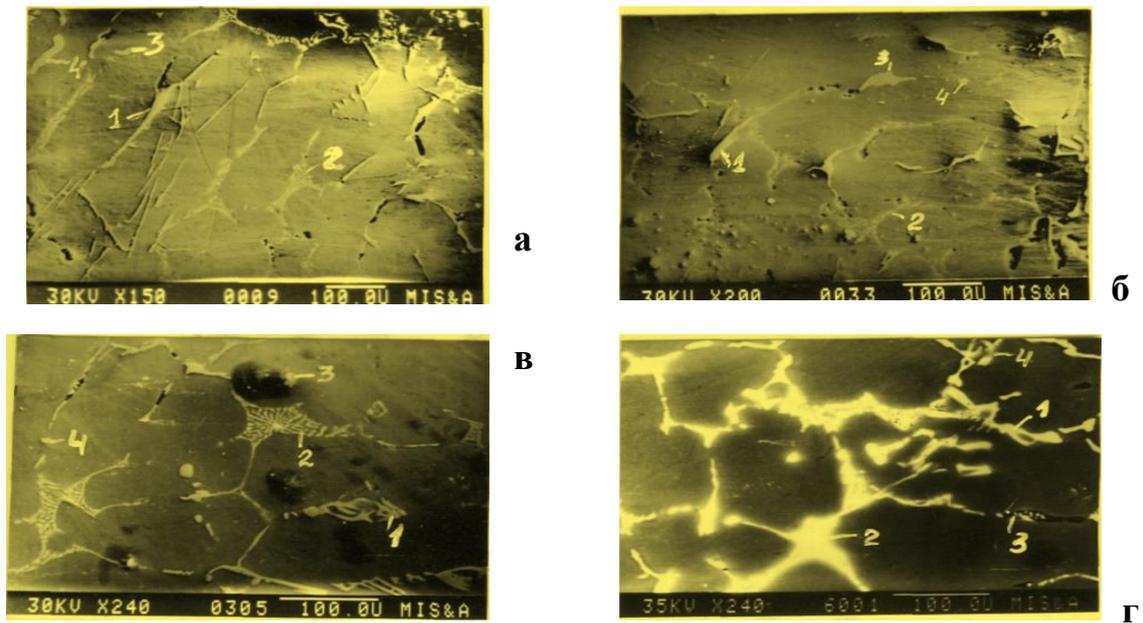
Результаты механических испытаний (табл. 1) показывают, что введение в исходный сплав бериллия, кобальта и никеля в количестве 0,2-0,5% обеспечивает прирост относительного удлинения  $\delta$  на 20-35% после закалки. В литом состоянии повышение пластичности не наблюдается.

**Таблица 1.**

**Влияние добавок никеля, кобальта и бериллия на механические свойства сплава  
Al + 6%Mg + 1%Si + 1%Fe<sup>7</sup>**

	Содержание примесей			Механические свойства, состояние					
	Ni	Co	Be	литое			закаленное		
				$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %
1	0,15	-	-	250	173	2,0	272	178	3,5
2	0,4	-	-	245	166	2,5	284	181	4,2
3	0,5	-	-	251	170	2,5	301	173	5,5
4	0,6	-	-	232	173	1,9	270	177	5,0
5	-	0,1	-	257	175	2,8	287	169	4,3
6	-	0,3	-	259	178	2,5	295	178	6,0
7	-	0,6	-	250	198	1,4	290	175	5,8
8	-	-	0,25	240	177	1,5	295	183	4,6
9	-	-	0,5	220	171	1,2	305	184	5,8

Повышение относительного удлинения сплавов с добавками в термообработанном состоянии объясняется описанным выше модифицирующим действием бериллия, кобальта и никеля на железо содержащие фазы.



**Рис.2. Микроструктура в литом состоянии сплава**

*Al+ 6%Mg(а,б), Al+ 4%Mg(в), Al+ 8%Mg (г)*

*где а - сумма примесей на верхнем уровне; б - сумма примесей на среднем уровне;  
в - сумма примесей на верхнем уровне; г - сумма примесей на верхнем уровне.*

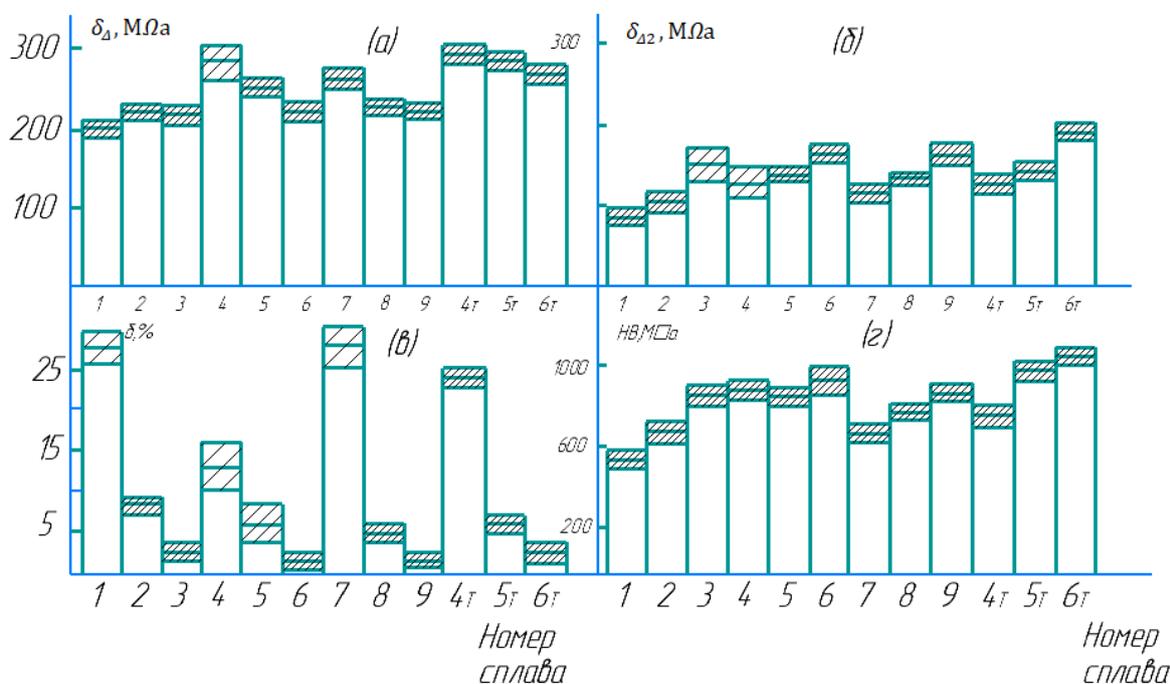
**Таблица 2.**

**Химический состав исследованных сплавов**

№ сплава	Концентрация, %								
	Mg	Si	Fe	Cu	Zn	Sn	Pb	Ni	Mn
1	4								
2	4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	0,3	0,1	0,1
3	4	1,5	1,5	0,8	1,0	0,5	0,5	0,2	0,3
4	8								
5	8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	0,3	0,1	0,1
6	8	1,5	1,5	0,8	1,0	0,5	0,5	0,2	0,3
7	6								
8	6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	0,3	0,1	0,1
9	6	1,5	1,5	0,8	1,0	0,5	0,5	0,2	0,3
10	6	0,6							
11	6	0,8							
12	6	1,5							

Исследования влияния примесей на механические свойства магналиев. В табл. 2 приведены составы исследованных сплавов.

Из результатов механических испытаний (рис.3) следует, что совместное введение примесей и увеличение их количества существенно снижает пластичность сплавов ( $\delta$ ), в то время как прочностные свойства ( $\sigma_B$ ,  $\sigma_{0,2}$ ,  $HВ$ ) остаются на уровне, характерном для промышленных первичных сплавов.



**Рис.3. Механические свойства алюминиево-магниевых сплавов с примесями, введенными совместно**

*ПРИМЕЧАНИЕ:* 1. Номера сплавов соответствуют номерам сплавов в табл.2.

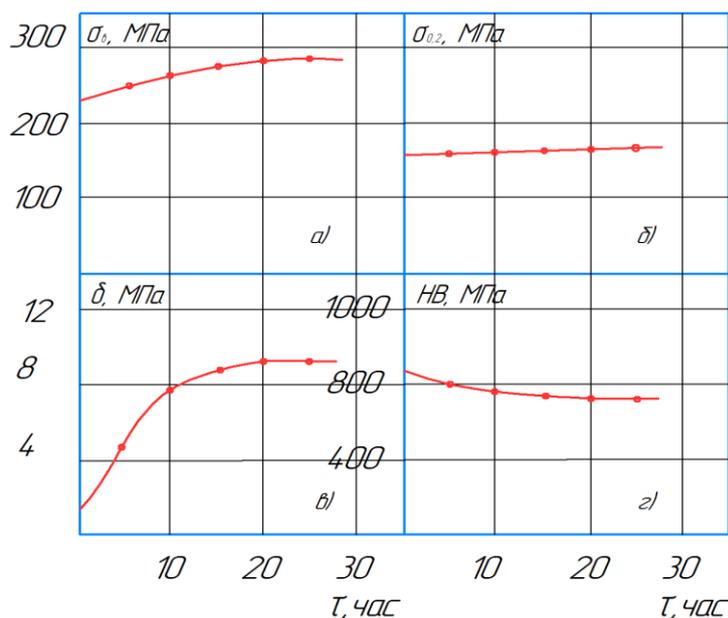
По-видимому, наиболее сильно снижают механические свойства сплавов примеси кремния и железа, которые образуют избыточные фазы с наибольшей объемной долей.

В четвертой главе диссертации под названием “**Нейтрализация вредного влияния примесей в литейных магналиях**” рассматриваются методы нейтрализации вредного влияния примесей в литейных магналиях.

Нерастворимые фазы, образованные наиболее вредными примесями железа и кремния, затрудняют использование низкосортной шихты при изготовлении промышленных первичных сплавов на основе системы Al–Mg.

В литейных сплавах это достигается, в основном, введением малых добавок, которые могли бы модифицировать структуру сплавов, либо применением различных способов термической обработки.

Методом термического анализа определены температура равновесного и неравновесного солидуса этих сплавов. В зависимости от содержания магния температура равновесного солидуса колеблется в интервале  $525 \div 550 \pm 3^\circ\text{C}$ . Температура же неравновесного солидуса у всех исследованных сплавов составляет  $450 \pm 3^\circ\text{C}$ . С учетом технических возможностей печей для термической обработки была выбрана температура гомогенизации  $520 \pm 5^\circ\text{C}$ .



**Рис.4. Зависимость механических свойств сплава Al + 6%Mg с примесями на среднем уровне от времени выдержки при нагреве под закалку при  $520\pm 5^\circ\text{C}$**

Оптимизацию режима нагрева под закалку по времени проводили на сплаве Al + 6% Mg с концентрацией примесей Zn- 1%, Mn- 0,3%, Sn и Pb - 0,5%, Ni - 0,2% (максимальное содержание наиболее вредных примесей Si, Fe- Cu – 1,5% и Cu- 0,8%).

Полученные зависимости механических свойств ( $\sigma_{\text{в}}$ ,  $\sigma_{0,2}$ ,  $\delta$ , НВ) от времени выдержки представлены на рис.4. Из анализа кривых следует, что высокотемпературный нагрев под закалку обеспечивает существенное повышение пластичности, а также временного сопротивления. Оптимальное время выдержки при нагреве под закалку составляет 10 ч. Дальнейшее увеличение времени нагрева не дает значительного прироста механических свойств.

Из анализа результатов механических испытаний следует, что при содержании кремния  $\geq 2\%$  высокотемпературная закалка не повышает пластичность сплавов ( $\sim 2,5\%$ ). Прочностные свойства оказались при этом также низкими ( $\sigma_{\text{в}} = 211\text{MPa}$ ,  $\sigma_{0,2} = 135\text{MPa}$ ). Снижение значений  $\delta$ ,  $\sigma_{\text{в}}$  и  $\sigma_{0,2}$  хорошо объясняется микроструктурами сплавов с 1 и 2%Si (рис.5 и 6). Высокотемпературная закалка приводит к фрагментации, а затем к коагуляции включений (Mg, Si, Sn, Pb) и полному растворению S( $\text{Al}_2\text{CuMg}$ )- фазы.

Но в сплаве с концентрацией кремния  $\sim 2\%$  объемная доля частиц структурной составляющей (Mg, Si, Sn, Pb) настолько велика, что высоких значений механических свойств, особенно пластичности, не получили. Отсюда (а также из данных табл.3) следует, что содержание кремния в изученных сплавах необходимо ограничивать 1-1,5%.

С целью оптимизации режимов высокотемпературной закалки (ВТЗ) сплав Al + 6%Mg + 1,5%Si + 1,5%Fe + 0,8%Cu подвергли нагреву по различным режимам (табл.5) и определили его механические свойства.

**Таблица 3**

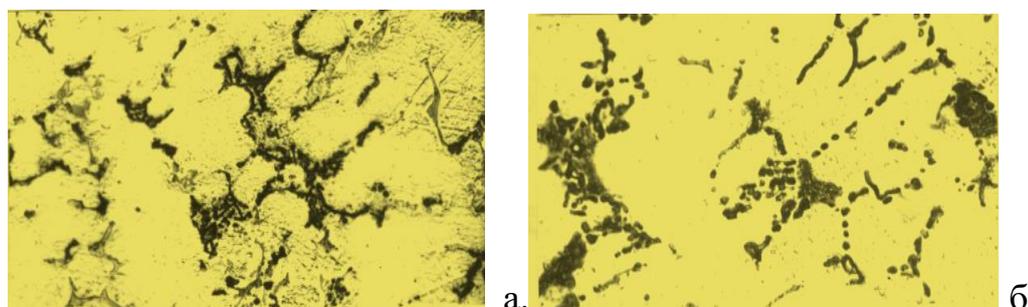
**Механические свойства сплавов на базе композиции Al – 6% Mg – 1,5% Fe – 0,8 % Cu и 1,5%– Si после закалки в зависимости от содержания кремния**

Режим нагрева под закалку	Содержание Si, %	$\delta$ , %	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа
Высокотемпературный режим $520 \pm 5^\circ\text{C}$ , 10ч	0,6	$10 \pm 1$	$280 \pm 20$	$147 \pm 15$
	0,8	$7 \pm 1$	$280 \pm 20$	$165 \pm 15$
	1,0	$4 \pm 1$	$275 \pm 20$	$158 \pm 15$
	1,2	$2,5 \pm 1$	$212 \pm 20$	$145 \pm 15$
	1,5	$1,3 \pm 0,5$	$205 \pm 20$	$142 \pm 15$
Известный режим, $435 \pm 5^\circ\text{C}$ , 6ч + $460 \pm 5^\circ\text{C}$ , 4ч	0,6	$1,5 \pm 0,5$	$226 \pm 20$	$134 \pm 15$

**Таблица 4**

**Механические свойства сплавов на базе композиции Al – Mg – 1,5%Si – 1,5% Fe – 0,8%Cu после закалки в зависимости от содержания магния**

Режим нагрева под закалку	Содержание Mg, %	$\delta$ , %	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа
Высокотемпературный режим $520 \pm 5^\circ\text{C}$ , 10ч	2,0	$12 \pm 2$	$200 \pm 20$	$105 \pm 15$
	4,0	$8,5 \pm 2$	$275 \pm 20$	$135 \pm 15$
	6,0	$8 \pm 2$	$280 \pm 20$	$148 \pm 15$
	8,0	$8 \pm 2$	$300 \pm 15$	$180 \pm 15$
	10,0	оплавление большей части образцов		
Известный режим, $435 \pm 5^\circ\text{C}$ , 6ч + $460 \pm 5^\circ\text{C}$ , 4ч	2-10	$1,5 \pm 1$	200-280	105-134



**Рис.5. Микроструктура сплава Al + 6%Mg + 0,6%Si + 1,5%Fe + 0,8%Cu в литом (а) и закаленном (б) состояниях x400**

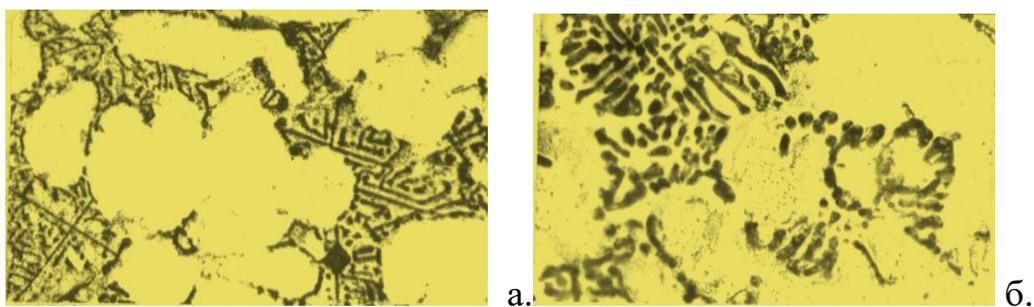


Рис. 6. Микроструктура сплава  $Al + 6\%Mg + 1,5\%Si + 1,5\%Fe + 0,8\%Cu$  в литом (а) и закаленном (б) состояниях  $\times 400$

Таблица 5

Механические свойства сплава  $Al + 6\%Mg + 0,6\%Si + 0,6\%Fe + 0,6\%Cu$  после закалки по разным режимам (охлаждение в воде)

Режимы нагрева под закалку	Механические свойства		
	$\sigma_B, \text{МПа}$	$\sigma_{0,2}, \text{МПа}$	$\delta, \%$
510°C, 20ч	240 ± 20	134 ± 15	1,5 ± 0,5
520°C, 10 ч	280 ± 15	170 ± 15	7,5 ± 1
530°C, 10ч	300 ± 20	165 ± 15	8,0 ± 1
540°C, 5 ч	280 ± 20	170 ± 15	7,0 ± 1,5
550°C, 10 ч	165 ± 20	160 ± 15	0,8 ± 0,5
430°C, 6ч + 460°C, 4 ч	240 ± 20	140 ± 15	1,7 ± 0,8

Сравнение  $\sigma_B$ ,  $\sigma_{0,2}$ ,  $\delta$  исследованного сплава, термобработанного по известному в промышленности ускоренному двухступенчатому режиму (430°C, 6ч+460°C, 4ч) и по режиму ВТЗ наглядно показывает преимущества высокотемпературного нагрева.

На основании результатов механических испытаний, представленных в табл.3-5 и структурных наблюдений был разработан оптимизированный режим термической обработки литейных магналиев, содержащих 4-10%Mg и до 1,5%Si, заключающийся в нагреве до температур на 5-10°C ниже равновесного солидуса (520-540°C) в течение 5-20 час с последующей закалкой в масле или воде.

Высокотемпературная закалка частично нейтрализовала вредное влияние примесей кремния и меди. Однако, не удалось устранить термообработкой отрицательное влияние примеси железа на механические свойства. В целях нейтрализации примеси железа была предпринята попытка модифицировать структуру исследованных сплавов малыми добавками.

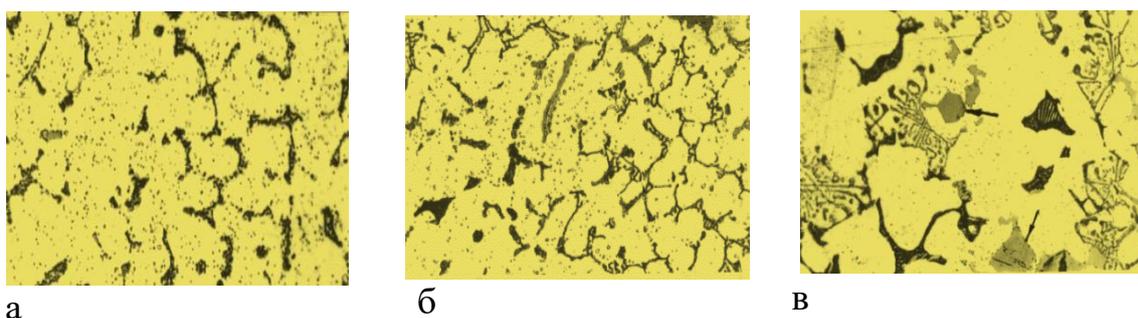
Термическая обработка сплавов алюминия с основным легирующим элементом магнием и повышенным содержанием примесей, предусматривающих высокотемпературный нагрев, обеспечила термическую упрочняемость термически неупрочняемых алюминиево-магниевых сплавов и повысило механические свойства сплавов в 1,20 -1,25 раза.

В пятой главе диссертации под названием “Совершенствование состава вторичного литейного сплава на базе системы  $Al - Mg$  и исследование его структуры и свойств” рассмотрены вопросы по совершенствованию

вторичного литейного сплава на базе системы Al – Mg и исследование его структуры и свойств.

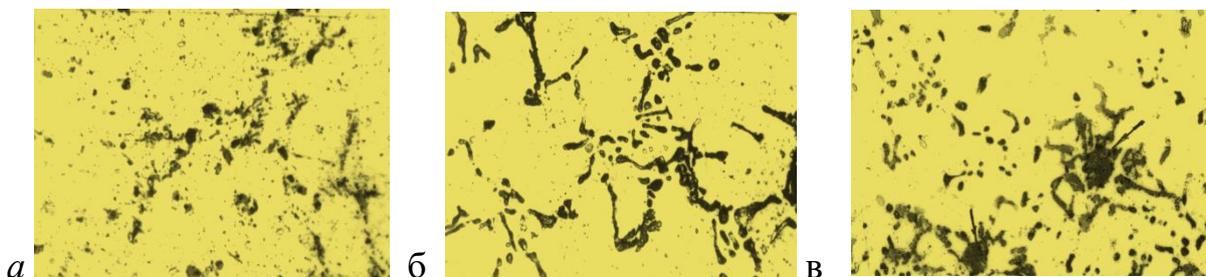
Результаты исследования структуры и механических свойств сплавов Al – Mg с примесями дали возможность разработать состав нового вторичного литейного сплава на основе системы Al – Mg.

При определении концентрации остальных элементов, кроме требования благоприятного сочетания литейных и механических свойств, руководствовались составом лома и отходов по ГОСТ 1639-78 с целью их использования для приготовления разрабатываемого сплава. При этом ставили цель использовать максимально загрязненную примесями шихту.



**Рис.7. Микроструктура сплавов в литом состоянии x400**

- a) – Al + 4 %Mg + 0,6%Si + 0,6%Fe + 0,6%Cu + 0,6%Zn + 0,3%Sn + 0,3%Pb + 0,1%Mn + 0,1%Ni*  
*б) – Al + 6%Mg + 0,8%Si + 0,8%Fe + 0,6%Cu + 1%Zn + 0,3%Sn + 0,3%Pb + 0,3%Mn + 0,2%Ni*  
*в) – Al + 8%Mg + 1,5%Si + 1,5%Fe + 0,8%Cu + 1,0%Zn + 0,5%Sn + 0,5%Pb + 0,3%Mn + 0,2%Ni*



**Рис.8. Микроструктура сплавов в закаленном состоянии x400**

- a) – Al + 4 %Mg + 0,6%Si + 0,6%Fe + 0,6%Cu + 0,6%Zn + 0,3%Sn + 0,3%Pb + 0,1%Mn + 0,1%Ni*  
*б) – Al + 6%Mg + 0,8%Si + 0,8%Fe + 0,6%Cu + 1%Zn + 0,3%Sn + 0,3%Pb + 0,3%Mn + 0,2%Ni*  
*в) – Al + 8%Mg + 1,5%Si + 1,5%Fe + 0,8%Cu + 1,0%Zn + 0,5%Sn + 0,5%Pb + 0,3%Mn + 0,2%Ni*

Реально в ломе и отходах алюминиевых сплавов содержится до 1,5% Fe, что является одним из критериев ограничения его содержания в сплаве. Кроме того, при наличии в сплаве до 1,5% Fe возможно нейтрализовать вредное влияние включений железосодержащих интерметаллидов. Это достигается изменением морфологии железистых фаз при легировании. Требования по

коррозионной стойкости разрабатываемого сплава накладывают ограничения по содержанию меди (до 0,8%). Значительное содержание меди в сплаве (0,8% и более) совместно с никелем приводит к образованию в магналиях грубых прожилок фазы (Al, Ni, Cu). Естественно, фаза Al, Ni, Cu нежелательна, что также ограничивает допустимую концентрацию меди в литейных сплавах на базе системы.

В окончательном варианте предложен следующий химический состав сплава: 4-8% Mg, 0,6-1,5% Si, до 1,5% Fe; 0,6-0,8% Cu, 0,6-1,0% Zn, до 0,3-0,5% Sn и Pb каждого; 0,1-0,3% Mn, до 0,2% Ni, ост. Al.

Структура сплава с различным содержанием компонентов представлена на рис.7. На рис.8. показана микроструктура тех же сплавов, что и на рис.6, но в закаленном состоянии. Анализ микроструктуры показал, что при наибольшем содержании компонентов в сплаве кроме фаз, появляется новая структурная составляющая в виде граненых крупных кристаллов (на рис.7 в и 8в показана стрелками). По цвету эти кристаллы не отличаются от железосодержащих фаз. При меньшем содержании компонентов структурные составляющие нового сплава (по морфологии, цвету) аналогичны ранее изученным.

**Таблица 6**

**Механические свойства сплава**

Свойства	Литое состояние	Закаленной состояние
Временное сопротивление при растяжении, МПа	230-245	240.-300
Условный предел текучести при растяжении, МПа	145-160	140-190
Относительное удлинение, %	1-5	2-8
Твердость по Бринеллю, МПа	740-950	700-940
Вязкость разрушения $K_{Ic}$ , МПа м <sup>1/2</sup>	11,5-17	20-22
Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup> КСВ КСВ КСТ	1,5-17	2-13
	1,7-7	2-11
	2-6	2-4,5

Кремний почти полностью и частично магний (примерно 0,7-0,9%) связаны в силицид магния. Медь, в том же количестве, что и в твердом растворе, находится в Fe-фазах. Марганец и никель значительно растворяются в фазе FeAl<sub>3</sub>, а также связывают железо в фазы (Fe,Mn)Al<sub>6</sub> и FeNiAl<sub>9</sub>. Причем, при максимальном содержании компонентов в сплаве кристаллизуются первичные кристаллы (Fe,Mn)Al<sub>6</sub>, состав которых практически не отличается от состава ранее изученных частиц этой же фазы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В диссертационной работе решена актуальная научно-техническая задача, которая включает в себя исследование влияния примесей Si, Fe, Cu, Zn, Sn, Pb, Ni, Mn, на структуру, фазовый состав литейных сплавов на основе системы Al – Mg.

2. Установлена зависимость механических свойств при растяжении алюминиево-магниевых сплавов (4-8%) от концентрации примесей, введенных порознь и совместно. Наиболее вредными примесями, снижающими значения механических свойств, являются кремний, железо и медь, которые снижают относительное удлинение сплавов с повышенным содержанием примесей соответственно до 1,5%, 1,5%, 0,8 %.

3. Установлено изменение морфологии структурной составляющей (Mg, Si, Sn, Pb) в процессе высокотемпературной гомогенизации. Нагрев до 520-540°C в течение 5-20 часов с последующей закалкой в воде позволит к повышению механических свойств сплавов, в частности служит к повышению пластичности в 1,5 раза.

4. Определены фазовый состав, морфология и область существования железосодержащих фаз сплавов системы Al–Mg–Fe при концентрации железа до 1% с добавками бериллия, кобальта, никеля до 0,5%.

5. Установлены границы морфологии фаз железо, которые способствует частичной нейтрализации вредного влияния железа на механические свойства. Это служит повышению механических свойств на 15-30%.

6. Предложен и рекомендован к промышленному опробованию состав вторичного литейного сплава на базе системы Al–Mg. Сплав содержит: 4-8% Mg, 0,6%-1,5% Si, до 1,5% Fe, 0,6-0,8% Cu, 0,6-1,0% Zn, до 0,5% Sn и Pb; до 0,2%; Ni; 0,1-0,3% Mn, остальное алюминий. Сплав в закаленном состоянии отличается повышенной пластичностью ( $\delta > 2\%$ ) при значениях временного сопротивления ( $\geq 240$  МПа) и предела текучести ( $\geq 140$  МПа), не уступающих аналогичным свойствам первичных литейных магниевых.

7. Установлена возможность нагрева под закалку сплава до температур на 5-10°C выше равновесного солидуса. Нагрев под закалку сплава до 545-585°C (в зависимости от концентрации компонентов) и выдержка в течение 3-5ч обеспечивает повышение относительного удлинения сплавов более чем на 30%, а для сплава с верхним предельным уровнем концентрации компонентов повышение и временного сопротивления, и предела текучести на 15-30%.

8. В результате внедрения, предельные механические свойства отливки: временная сопротивленя отливки при растяжении составило 230-245 МПа; условный предел текучести при растяжении составило 145-160 МПа; относительное удлинение составило 1-5%.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.03/12.2019. T.03.04 ON AWARDING  
ACADEMIC DEGREES AT THE TASHKENT STATE TECHNICAL  
UNIVERSITY**

---

**NAVOI STATE MINING AND TECHNOLOGY UNIVERSITY**

**OBITOV NASRIDIN MEKHRIEVICH**

**OPTIMIZATION OF THE COMPOSITION AND STRUCTURE OF  
ALUMINUM ALLOYS WITH A HIGH CONTENT OF IMPURITIES**

**05.02.01 – Materials science in mechanical engineering. Foundry production.  
Heat treatment and pressure treatment of metals. metallurgy. Metallurgy of  
ferrous, non-ferrous and rare metals. Technology of unique, rare radioactive  
elements (in the direction of foundry production and metal processing  
technology)**

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

**Tashkent – 2023**

The topic of the dissertation of Doctor of Philosophy (PhD) in technical sciences is registered with the Higher Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under the number B2022.3.PhD/T2853.

The dissertation was completed at the Navoi State Mining Institute.

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

**Scientific supervisor:**

**Mansurov Yulbarskhon Nabievich**  
doctor of technical sciences, professor

**Official opponents:**

**Nurmurodov Salokhiddin Dusmurodovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Shazimov Anartay Oljabaevich**  
candidate of technical sciences

**Lead organization:**

**Branch of the National Research  
Technological University "MISIS" in  
Almalyk**

The dissertation will be defended on «4» March 2023 at 14<sup>00</sup> hours at a meeting of the Scientific Council PhD.03/30.12.2019.T.03.04 at the Tashkent State Technical University. (Address: 100095, Tashkent, Universitetskaya st., 2. Tel./ Fax (99871) 227-10-32, e-mail: [tadqiqotchi@tdtu.uz](mailto:tadqiqotchi@tdtu.uz))

The dissertation can be found at the Information and Resource Center of the Tashkent State Technical University (registered under № 305). (Address: 100095, Tashkent, Universitetskaya st., 2. Tel./ Fax (99871) 227-10-32.)

The abstract of the dissertation was sent on «17» February 2023 y.

(registry of the distribution protocol № 159 dated «15» february 2023).



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

**Sh.B. Tashbulatov**  
Scientific secretary of the scientific council  
awarding degree, doctor of philosophy in technical sciences

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

## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The main goal of the study** is in the development and creation of a new secondary casting alloy with a set of operational properties that are not inferior to primary alloys based on the Al-Mg system, which makes it possible to use scrap metal from spent aluminum alloy parts for its preparation.

To develop a relationship between the structure and the mechanical and casting properties of magnals.

To develop modes of heat treatment of aluminum-magnesium alloys with the most probable impurities.

To develop a secondary alloy based on the Al-Mg system and its heat treatment modes.

### **The tasks of research:**

- For the first time, the dependence of the mechanical properties of foundry magnals with a high content of impurities on the shape of the phases was established, which was determined experimentally: the shape factor of the phases at values of 0.2-0.4 reduces plasticity, at values close to 1 it provides an increased relative elongation of the investigated alloys.

- For the first time, a set of technical solutions was applied to multicomponent alloys based on the Al-Mg system to neutralize the especially harmful effect of impurities of iron, silicon, copper in the form of heat treatment with heating in the temperature range 5-10 ° C below the liquidus of multicomponent systems, as well as microalloying with small additions of beryllium, nickel, cobalt in proportions to iron 0.25-0.5%, respectively.

### **The practical significance of the research**

- optimization of the form factor of structural components, phases of crystallization origin of alloys prepared from scrap and waste aluminum alloys, both in cast and heat-treated states, has been developed,

- a method has been developed for heat treatment of aluminum alloys with the main alloying element magnesium and a high content of impurities.

- heating for quenching a new alloy to temperatures 3-5°C above the equilibrium solidus has been developed.

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

Based on the conducted scientific research, technologies and methods have been developed to optimize the composition and structure of aluminum alloys with a high content of impurities:

Methods for optimizing the shape factor of structural components, phases of the crystallization origin of alloys prepared from scrap and waste aluminum alloys, both in cast and heat-treated states, have been introduced at the Production Association of NMZ SE "Navoi Mining and Metallurgical Combine" (certificate of SE "Navoi Mining and Metallurgical Combine" No. 02-06-07/11540 dated November 30, 2021) As a result, the relative elongation increased by 3-5% and the nominal yield strength by 13-15%;

The use of the method of heat treatment of aluminum alloys with the main alloying element magnesium and a high content of impurities, which provides for high-temperature heating, has been introduced at the Production Association of NMZ SE "Navoi Mining and Metallurgical Combine" (certificate of SE "Navoi Mining and Metallurgical Combine" No. 02-06-07/11540 November 30, 2021). As a result, it provided thermal hardening of thermally non-hardened aluminum-magnesium alloys and increased their mechanical properties of alloys by 1.20 -1.25 times;

Heating for quenching a new alloy to temperatures 3-5°C above the equilibrium solidus. Implemented at the production department of NMZ State Enterprise "Navoi Mining and Metallurgical Plant" (certificate of the State Enterprise "Navoi Mining and Metallurgical Plant" No. 02-06-07 / 11540 dated November 30, 2021). As a result of heating for quenching of the alloy for 3-5 hours, it increased the relative elongation of the alloy by 10-12%, and for an alloy with the upper limiting level of component concentration, an increase in both tensile strength and yield strength by 15-18%.

**The structure and scope of the dissertation.** The structure of the dissertation consists of an introduction, five chapters, a conclusion, a list of references. The volume of the dissertation is 120 pages.

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

**I бўлим (I часть; part I)**

1. Обитов Н.М., Жураев Д.Д., Фахриддинов А.Ф., Икромов Б.И., Замонавий алюминий қотишмаларининг хоссалари ва уларни термик мустаҳкамлаш //Фан ва технологиялар тараққиёти. – Бухоро, 2021. - №2. 149-154 бет. (05.00.00; № 24).

2. Обитов Н.М., Муминов Р.О. “Нейтрализация вредного влияния примесей в литейных магналиях” // Научный-технический и производственный журнал “Горный Вестник”. – Наваи, 2022. – № 3 (90) – С. 89-91. (05.00.00; № 13).

3. Обитов Н.М. Повышения прочности алюминиевых сплавов // “Theoretical & Applied science” International scientific journal The USA, 23/Jul/2020. Volume:87. 145-148 p. (IF=7,184)

4. Обитов Н.М. Влияние дисперсоидов Al(Mn Fe) Si с различными размерами и числовой плотностью на микроструктуру и механические свойства экструдированных сплавов серии ААбххх Al-Mg-Si с различным содержанием Mn // “Theoretical & Applied science” International scientific journal The USA, 19/May/2021. Volume: 97. 239-247 p. (IF=7,184)

**II-бўлим (II часть; part II)**

5. Обитов Н.М., Сафаров Н.Н., Основные свойства алюминиевых сплавов // Марказий Осиё минтақасида замонавий илм фан ва инновацияларнинг долзарб муаммолари Халқаро конференция Жиззах шаҳри 237-239 стран. 26 сентябрь 2020 год.

6. Обитов Н.М., Влияние термической обработки на структуру и свойства алюминиевомагниевого сплава // Journal of Advances in Engineering Technology Vol.2(4) 2021

7. Обитов Н.М. Мансуров Ю.Н. Старение и термоциклирование магналиев с повышенным содержанием примесей // Central asian research journal for interdisciplinary studies (carjis). issn: 2181-2454 56-64 стр. volume 2 / issue 8 / сентябрь 2022. (IF=7,184)

8. Обитов Н.М. Фахриддинов А.Ф., Основные свойства алюминиевых сплавов //“Тўқимачилик ва энгил саноати машиналарини лойиҳалаш ва такомиллаштиришда инновацион ёндашувлар” Республика илмий амалий анжумани апрель. Наманган ш. 2021 г. 51 бет.

9. Обитов Н.М. “Формирование структуры вторичных алюминиевых сплавов”. The 1st Uzbekistan-Japan International Symposium on Green Chemistry and Sustainable Development will be held in 29-30 November, 2021 in Uzbekistan Japan Innovation Center of Youth, Tashkent, Uzbekistan. 139 с.

10. Обитов Н.М., Ж.Б.Ишқулов, Методы упрочнения термически не упрочняемых алюминиевых сплавов. //«Ўрта осиё геологиясини ўрганишининг

хозирги ҳолати ва истиқболлари» халқаро илмий- амалий конференция, ЎзР. Ф.А. Навоий бўлими 21-28 бетлар 2021 йил 23 декабрь, Навоий шаҳри.

11. Обитов Н.М., Повышение механических свойств магналиев // Материаллы международной научно-практической конференции «интеграция науки, образования и производства – залог прогресса и процветания», посвященной 5-летию основания Навоийского отделения академии наук Республики Узбекистан в трёх томах. Том. III. 9-10 мая 2022 года, город Навои, Республика Узбекистан 122-125 стр.

12. Обитов Н.М., Formation of the structure of multicomponent secondary aluminum alloys // «Инновцион техника ва технологияларнинг қишлоқ хўжалиги – озиқ-овқат тармоғидги муаммо ва истиқболлари» мавзусидаги Халқаро илмий ва илмий техник анжумани. Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети. стрн. 22-23 апрель Тошкент 2022. 240-241 бет.

13. Обитов Н.М., Термическая обработка термически не упрочняемых алюминиевых сплавов // Всероссийский научный форум студентов и учащихся. Г.Петрозаводск РФ. МЦНП «Новая наука» 2021 г. 30 сентябрь.

Автореферат “Техника фанлари ва инновация” журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнлар ўзаро мувофиқлаштирилди. 17.02.2023й.

Босишга рухсат этилди: 17.02.2023 йил.  
Бичими 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>, «Times New Roman»  
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.  
Шартли босма табағи 3. Адади: 60. Буюртма: №\_\_\_  
ТТЕСИ босмаҳонасида чоп этилди.  
Тошкентшаҳри, Шоҳжаҳон кўч., 5-уй.

