

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
30/03.12.2019.Т.03.04 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

КАМАЛОВ ЖАМОЛИДДИН САЙФИТДИНОВИЧ

**ГАЗ ПЕЧЛАРИДА АЛЮМИНИЙ ҚОТИШМАЛАРИНИ
СУЮҚЛАНТИРИШ ТЕХНОЛОГИЯСИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**05.02.01 – Машинасозликда материалшунослик. Қуймачилик. Металларга термик ва
босим остида ишлов бериш. Қора, рангли ва ноёб металлар металлургияси.
(техника фанлари)**

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

Тошкент-2021

Докторлик диссертацияси автореферати мундарижаси
Оглавление автореферата докторской диссертации
Content of the abstract of doctoral dissertation

Камалов Жамолиддин Сайфитдинович Газ печларида алюминий қотишмаларини суюқлантириш технологиясини ишлаб чиқиш.....	3
Камалов Жамолиддин Сайфитдинович Разработка технологии плавки алюминиевых сплавов в газовых печах	25
Kamalov Jamaliddin Sayfitdinovich Development of technology for melting aluminum alloys in gas furnaces.....	46
Эълон қилинган ишлар рўйхати Список опубликованных работ List of published works.....	48

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ХУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
30/03.12.2019.Т.03.04 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

КАМАЛОВ ЖАМОЛИДДИН САЙФИТДИНОВИЧ

**ГАЗ ПЕЧЛАРИДА АЛЮМИНИЙ ҚОТИШМАЛАРИНИ
СУЮҚЛАНТИРИШ ТЕХНОЛОГИЯСИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**05.02.01 – Машинасозликда материалшунослик. Қуймачилик. Металларга термик ва
босим остида ишлов бериш. Қора, рангли ва ноёб металлар металлургияси.
(техника фанлари)**

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

Тошкент-2021

Докторлик диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида 30.09.2020/В2020. рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Ислон Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз) Илмий кенгаш веб-саҳифада www.tadqiqotchi@tdtu.uz манзилига ҳамда «ZIYONET» таълим ахборот таълим порталида www.ziyonet.uz манзилига жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Тураходжаев Нодир Джахонгирович
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Нурмуродов Салоҳиддин Дустмуродович
техника фанлари доктори, профессор

Шазимов Анартай Олжабаевич
техника фанлари номзоди, доцент

Етакчи ташкилот:

Фарғона политехника институти

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги 30/03.12.2019.Т.03.04 рақамли Илмий Кенгашнинг 2021 йил ____ соат ____ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўч., 2. Тел/факс (99871) 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz).

Докторлик диссертацияси билан Тошкент давлат техника университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (____ рақам билан рўйхатга олинган).
(Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўч. 2. Тел.(99871) 246-46-00).

Диссертация автореферати 2021 йил « ____ » кун тарқатилди.
(2021 йил « ____ » _____ даги _____ рақамли реестр баённомаси).

К.А. Каримов

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

Ш.Б.Ташбулатов

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.ф.д, (PhD)

Н.С.Дуняшин

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

КИРИШ (Докторлик диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Дунёда элликдан ортиқ мамлакатларда алюминий қотишмалари сифатини оширишга қаратилган тадқиқотлар олиб борилмоқда. Алюминий ер юзида энг кўп учрайдиган металл бўлиб, захираси бўйича у барча элементлар ичида кислород ва кремнийдан кейин учинчи ўринда туради ҳамда алюминийнинг захираси мис, рух, хром, қалай ва қўрғошинларнинг умумий захира миқдоридан 350 марта кўп. Шу билан бир қаторда hozirги глобаллашув жараёнининг чуқурлашуви, глобал иссиқлашув жараёнининг кескинлашуви Америка, Япония, Англия, Германия, Украина, Россия ва Ўзбекистон каби мамлакатларда самарадорлиги паст бўлган қора металллар ўрнига алюминий қотишмаларидан фойдаланиш кўламини кенгайтириш муҳим вазифалардан бири бўлиб қолмоқда.

Бугунги кунда республикамизда ишлаб чиқарилаётган алюминийдан тайёрланган деталь ва қисмларни олишда сифат кўрсаткичлари билан бир қаторда иқтисодий самарани янада ошириш муҳим аҳамият касб этмоқда. Бу борада мақсадли илмий-тадқиқотларни, жумладан, қуйидаги йўналишлардаги илмий изланишларни амалга ошириш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади: алюминий қотишмасининг механик, физик ва эксплуатацион хоссаларини эътиборга олиб, саноатда қўлланилиш кўламини кенгайтириш; алюминий қотишмасини суюқлантириш даврида сифат кўрсаткичларига салбий тасир қилувчи омилларни бартараф этадиган технологияни ишлаб чиқиш; алюминий қотишмаларини суюқлантириш жараёнида энергия ва ресурс тежамкорлигини таъминлайдиган технология яратиш. Юқорида келтирилган илмий-тадқиқотлар йўналишида бажарилаётган илмий изланишлар мазкур диссертация мавзусининг долзарблигини изоҳлайди.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2011 йил 29 июлдаги ПФ-1590-сон «Тайёр маҳсулотларни, ташкил қилувчи буюмларни ва материалларни ишлаб чиқаришнинг локаллаштирилишини 2011-2013 йилларда саноат кооперацияси асосида чуқурлаштириш чора-тадбирлари» Фармони асосида Вазирлар Маҳкамасининг 2012 йилнинг 31 январидаги 22-сон «Нексия автомобилларининг алюминий қотишмаларидан ясалган генератор ва мотор кронштейнларини локаллаштириш»даги Қарорида, шунингдек, Вазирлар Маҳкамасининг 2018 йил 28 апрелдаги 122-сон «Алюминий буюмлари сифатини назорат қилиш ва сертификатлаш»даги Қарорларида ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг асосий устувор йўналишларига боғлиқлиги. Мазкур диссертация республика фан ва технологияларни ривожлантиришнинг устувор йўналишлари: II. «Энергетика, энергия ва ресурстежамкорлик» устувор йўналишига мос равишда бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи¹.

Алюминий қотишмаларида сифатли структура шакллантиришга йўналтирилган илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасаларида, жумладан, Стандартлар ва технологиялар Миллий институти - NIST (АҚШ), Кобе стил LTD компанияси ва Цукуба университети (Япония), Виен техника университети (Германия), Австрия илмий-тадқиқотлар институти (Австрия), Сежедюр корпорациясининг илмий-тадқиқот лабораторияси (Франция), Лондон технологиялар университети (Англия), Қотишмаларнинг Европа ассоциацияси (Бельгия), Киев политехника университети (Украина), Пенза политехника университети ва Бутунроссия енгил қотишмалар илмий-тадқиқот институти (Россия), Тошкент давлат техника университети (Ўзбекистон Республикаси) томонидан олиб борилмоқда.

Сифатли структурага эга алюминий қотишмаларини олишга оид дунёда олиб борилган тадқиқотлар асосида қатор, жумладан, қуйидаги натижалар олинган: алюминий таркибидаги водороднинг миқдорини камайтириш учун печдан ташқари ишлов бериш технологияси ва модификаторларнинг таркиби ишлаб чиқилган (Стандартлар ва технологиялар Миллий институти – NIST, Технологиялар маркази, АҚШ); юқори ҳароратларда алюминийнинг структураси таркибидаги водород миқдорини камайтириш учун юқори ҳароратларда ишлов бериш технологияси ишлаб чиқилган (Кобе стил LTD компанияси, Цукуба университети, Япония); алюминий оксидини қайта ишлаш натижасида металлнинг 30 % миқдорини тиклаш технологияси ишлаб чиқилган (Виен техника университети, Германия, Илмий-тадқиқотлар институти, Австрия); алюминий қотишмаларини суюқлантиришда структура таркибидаги водород миқдорини камайтириш технологияси ва уни амалга оширишни таъминлайдиган шахтали газ печининг конструкцияси ишлаб чиқилган (Сежедюр корпорацияси, Франция); алюминий қотишмаларини суюқлантиришда структура таркибидаги оксид қўшимчаларининг миқдорини камайтириш ва оксидни тиклаш технологиялари ишлаб чиқилган (Лондон технологиялар университети, Англия; Қотишмаларнинг Европа ассоциацияси, Бельгия); алюминий қотишмасини суюқлантириш даврида структурага салбий таъсир қилувчи газларнинг сингишини бартараф этадиган газ печининг конструкцияси ва технологияси ишлаб чиқилган (Пенза политехника университети, Бутунроссия енгил қотишмалар институти, Россия).

Дунёда алюминий қотишмаларида сифатли структура шакллантириш бўйича қатор, жумладан қуйидаги устувор йўналишларда тадқиқотлар олиб борилмоқда: алюминий қотишмаларининг механик хоссаларига салбий таъсир қилувчи газ ва оксид қўшимчаларининг миқдорини камайтириш учун печдан ташқари ишлов бериш технологияларини ишлаб чиқиш; водороднинг алюминий структурасига сингишига сабаб бўладиган шихтадаги намликни камайтириш учун газ печларининг янги конструкцияларини ишлаб чиқиш; водороднинг алюминий таркибига сингишини камайтиришга хизмат қиладиган қоплама флюсининг янги таркибларини ишлаб чиқиш; алюминий окси-

дини тиклаш учун юқори ҳароратларда ишлов бериш технологияларини ишлаб чиқиш.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Дунё тажрибасида алюминий қотишмаларини суюқлантириш учун турли технологиялар ишлаб чиқилган. Сифатли структурага эга алюминий қотишмасини олишда суюқлантириш печларининг бир қатор конструкциялари яратилган.

Дж.Боин, М.Бертрам, Х.Пуга, Дж.Барбоса, А.Калеманнларнинг илмий-тадқиқот ишлари алюминий қотишмаларида сифатли структура ҳосил қилиш учун алюминий оксидини тиклаш технологиясини ишлаб чиқиш ва суюқлантириш печларини такомиллаштиришга бағишланган.

МДҲ олимлари томонидан алюминий қотишмаларида сифатли структура ҳосил қилиш учун муҳим илмий ишланмалар қилинган (В.Грачев, Д.Андреев, А.Данилкин, В.Гогин, А.А.Григорьева, Симонов, Л.Ф. Вьюгин, В.А.Гутов, О.С.Еремин, А.Н.Задиранов). Улар алюминий қотишмасини суюқлантиришда алюминий қотишмасининг сифатини ошириш учун қўлланадиган газ печларининг конструкциясини такомиллаштириб, шихтани қиздириш учун шахтанинг турли конструкцияларидан фойдаланишган ва печнинг фойдали иш коэффициенти 30 % дан 60 % гача оширишга муваффақ бўлишган.

Ўзбекистон олимлари томонидан олиб борилган тадқиқотлар натижасида алюминий қотишмаларини суюқлантириш учун икки камерали газ печининг конструкцияси, алюминий қотишмаларини суюқлантиришда ресурс тежамкорлигини таъминлайдиган технология ва суюқлантириш даврида темир ва кўрғошиннинг алюминий таркибига сингиш механизми ишлаб чиқилган (А.О.Шазимов, Н.Д.Тураходжаев, Ю.Н.Мансуров).

Алюминий қотишмаларини суюқлантиришда кўплаб илмий натижаларга эришилишига қарамай, ҳали ечимини топмаган муаммолар кўп. Масалан, газ печларида алюминий қотишмаларини суюқлантиришда сифатли қотишма олиш технологияси ишлаб чиқилмаган. Олиб борилган тадқиқотлар асосан алюминий қотишмаларининг металлни суюқлантириш, унга флюс билан ишлов бериш юзасида олиб борилган. Қатор тадқиқотлар суюқ алюминийнинг физик-кимёвий жараёнларга тааллуқли ҳолда олиб борилган бўлиб, алюминийни газ печларида суюқлантиришда газларнинг металлга сингиш жараёнида қотишманинг газга тўйинган ва тўйинмаган қотишма хоссалари устида тадқиқотлар олиб борилмаган. Газ печларида суюқлантириш технологиясини ишлаб чиқиш эса долзарб, илмий-амалий аҳамиятга эга ҳисобланади.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университетининг илмий-тадқиқот ишлари режаси №12-18 «Газда ишловч и печларда алюминий эритиш технологиясини ишлаб чиқиш» (2018-2019 йй.) мавзусидаги хўжалик шартномаси доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади алюминий қотишмаларини газ печларида суюқлантириш учун ресурстежамкор технологияни ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

алюминий қотишмасини суюқлантиришда шихтанинг юклаш режимини ишлаб чиқиш;

алюминий қотишмасини суюқлантиришда қўлланиладиган газ печининг шахта қисмидаги конструкцияни ишлаб чиқиш;

алюминий қотишмасини суюқлантиришда суюқ металлга ишлов бериш технологиясини ишлаб чиқиш;

алюминий қотишмасини суюқлантиришда ваннага шихтани юклаш технологиясини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида АК7п ва АК6 маркали алюминий қотишмалари, қотишма таркибидаги водород ва оксид қўшимчалари олинган.

Тадқиқот предмети алюминий структурасининг сифатига таъсир қилувчи газ ва оксид қўшимчаларини аниқлаш усуллари, газ ва электр-ёй печларида шихтани суюқлантиришнинг техник жиҳатлари ташкил этади.

Тадқиқот усуллари. Диссертацияда олинган қотишма структурасини ўрганиш учун электрон ва оптик микроструктурали, рентгенструктурали ва спектрал таҳлил усулларида, сифатли структура ҳосил қилиш учун ишлаб чиқилган суюқлантириш печининг геометрик ўлчамларини аниқлашда эса математик моделлаштириш усуллари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

- суюқлантириш агрегатларидаги қаттиқ шихта ва шахтадаги чиқиб кетаётган газларнинг иссиқлик алмашинуви жараёни асосида алюминий қотишмаларини суюқлантириш технологияси ишлаб чиқилди;

- ҳароратнинг ортиши натижасида алюминийнинг газ ютиш теплофизик хоссаларининг ўзгариши асосида шихтани печга юклашдан олдин қиздириш технологияси ишлаб чиқилди;

- суюқ қотишма билан ванна устидаги ёниш маҳсулотлари ўртасидаги иссиқлик алмашинув характери асосида алюминий қотишмаларини қиздириш камерасида ушлаб туриш технологияси ишлаб чиқилди;

- шихта билан табиий газ ёниш маҳсулотлари ўртасидаги иссиқлик алмашинув жараёнини ошириш имконини берадиган газ печидаги шахта қисмининг конструкцияси ишлаб чиқилди;

- металлнинг суюқлантириш камерасидаги совуб қолишини олдини олиш имконини берадиган шихтани шахтага меъёрлаб юклаш технологияси ишлаб чиқилди.

Тадқиқотнинг амалий натижаси. Алюминий қотишмасини газ печларида суюқлантириш технологияси ишлаб чиқилди.

Алюминий қотишмасини суюқлантириш технологияси ва шу технологияни амалга ошириш имконини берадиган печнинг шахта конструкцияси ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги ишда қўлланилган экспериментал тадқиқотларнинг натижаларини статистик қайта ишлангани, стандарт усулларнинг қўлланилгани, мавжуд натижалар ёки маълумотлар билан мос келиши билан изоҳланади.

Олинган тажриба натижалари математик статистика усуллари кўллаш орқали қайта ишланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти алюминий қотишмаси таркибида водород ва оксид қўшимчалари кам бўлган қотишма олиш технологиясининг ишлаб чиқилгани билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти алюминий қотишмаларини суюқлантиришда ресурс тежамкорлиги ҳисобига иқтисодий самара кўришга хизмат қилади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Алюминий қотишмаларини газ печларида суюқлантириш технологиясини ишлаб чиқиш бўйича ишлаб чиқилган технология асосида:

- алюминий қотишмаларини газ печларида суюқлантириш технологияси “Далварзин таъмирлаш заводи” МЧЖ корхонасига жорий қилинган (“Узагросервис” АЖ нинг 19.12.2019 йилдаги №09-03/1737 -сон маълумотномаси). Жорий қилиш натижасида печ ванна қисмидаги иссиқлик йўқотишлар 15-20% га камайган;

- шихтани печга юклашдан олдинги қиздириш технологияси “Далварзин таъмирлаш заводи” МЧЖ корхонасига жорий қилинган (“Узагросервис” АЖ нинг 19.12.2019 йилдаги №09-03/1737 -сон маълумотномаси). Жорий қилиш натижасида алюминий қотишмаларини суюқлантиришдаги газ сарфи 6-7% га камайган;

- қиздириш камерасида алюминий қотишмаларини ушлаб туриш технологияси “Далварзин таъмирлаш заводи” МЧЖ корхонасига жорий қилинган (“Узагросервис” АЖ нинг 19.12.2019 йилдаги №09-03/1737 -сон маълумотномаси). Жорий қилиш натижасида қиздириш учун сарфланадиган энергия йўқотишлар миқдори 8-10% га камайган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 7 та илмий-амалий анжуманларда, жумладан 3 та республика миқёсида ҳамда 4 та халқаро илмий-амалий анжуманларда апробациядан ўтказилган.

Диссертация ишининг тўлиқ мазмуни қуйидаги илмий семинарларда муҳокама этилган: Тошкент давлат техника университети Механика факультетининг илмий-техник кенгаши (Тошкент, 2021); Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги 03/30.12.2019.Т 03.04 рақамли илмий кенгаш қошидаги 05.02.01-«Машинасозликда материалшунослик. Қуймачилик. Металларга термик ва босим остида ишлов бериш. Қора, рангли ва ноёб металлар металлургияси» ихтисосликлари бўйича илмий семинар (Тошкент, 2021).

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 38 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 7 та мақола, жумладан, 4 таси республика ва 3 таси хорижий журналларда нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат. Диссертациянинг ҳажми 120 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқот мақсади ва вазифалари, ҳамда объект ва предметлари шакллантирилган, республика фан ва технологияси тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқот илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини жорий қилиш рўйхати, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «Газ печларида алюминий қотишмаларини олиш технологиясининг ҳозирги кун ҳолатининг таҳлили» деб номланган биринчи бобида алюминий қотишмаларининг саноатда қўлланилиши ва алюминий қотишмаларини суёқлантириш печлари конструкциялари такомиллаштирилишининг ҳозирги ҳолати таҳлил қилинган, сифатли структура шаклланишига таъриф берилган, сифатли структура олиш учун суёқ алюминийга ишлов бериш усулларига таъриф берилган, суёқ алюминий қотишмаларига печь ичида ва печдан ташқарида ишлов бериш усулларининг ривожланиш тенденциялари кўриб чиқилган.

Алюминий қотишмаларини суёқлантиришда сифатли структурага эга бўлган қотишма олиш устида кўплаб муаллифлар тадқиқотлар олиб боргани айтиб ўтилган. XIX асрнинг бошларида алюминий қотишмасининг нархи олтин нархидан бирмунча кам бўлиб, кумуш нархидан қимматроқ бўлган. Бунинг асосий сабаби ушбу металлни олиш технологиясининг мураккаб ва қимматбаҳо бўлиши билан бир қаторда, алюминийнинг юқори физик-кимёвий ва механик хоссаларга эга бўлганидир. Алюминийдан қимматбаҳо буюм ва тақинчоқлар ясалган, ундан пул воситаси сифатида фойдаланилган. Алюминийни олишнинг янги ва арзон усули ишлаб чиқилганидан кейин унинг нархи кескин тушиб кетиши билан бир қаторда, саноатда қўлланилиши ҳам кескин ортди. Энди алюминий ва унинг қотишмалари электротехника, автомобилсозлик, кемасозлик ва кейинчалик авиасозликда кенг қўлланила бошлади. Алюминий қотишмаларини суёқлантириш даврида сифатли структура олиш учун суёқлантириш печларини такомиллаштириш борасида А.Калеманн, В.Грачев, Д.Андреев, В.Гогин катта ютуқларга эришганлар. Улар алюминий қотишмасини суёқлантириш учун қўлланиладиган газ печларининг конструкциясини такомиллаштириб, шихтани қиздириш учун шахтанинг турли конструкцияларини яратишган. Натижада қотишма таркибига сингиб қоладиган водороднинг миқдорини камайтириш билан бир қаторда печнинг фойдали иш коэффицентини 30 % дан 60 % гача етказишга муваффақ бўлишган. В.А.Грачёв илмий раҳбарлигида ишлаб чиқилган технология асосида алюминий қотишмасига ҳам печь ичида, ҳам печдан ташқарида металлга ишлов бериш имкони яратилган ва алюминий

таркибидаги газ ва оксид қўшимчаларининг миқдорини 15-18 % га камайтиришга эришилган ва фойдали иш коэффициенти 65-70 % ни ташкил қиладиган, шахта қўндаланг кесим юзаси бўйича иссиқлик алмашинуви бир меъёردа бўлган газли шахта қайтарувчи печининг конструкцияси ишлаб чиқилган. Дж.Боин, М.Бертрам, Х.Пуга ва Дж.Барбоса алюминий қотишмаларини қайта ишлаш ва алюминий оксидини тиклаш технологиясини ишлаб чиқишган. Ишлаб чиқилган технология асосида 720-730 °С ҳароратдаги суюқ алюминий қотишмасига хлор таркибли флюс ёрдамида ишлов бериш натижасида қотишмадаги водород ва кислороднинг бир қисми сиқиб чиқарилган. Натижада алюминий оксидини 30% га тиклашга ва қотишма таркибидаги водородни 35-40 % га камайтиришга эришилган. С.Сасаба, А.Матсунава ва С.Катаяма олиб борган тадқиқотлари натижасида лазер усулида алюминийга ишлов бериш орқали қотишманинг таркибидаги водородни камайтириш технологияси ишлаб чиқилган. Олинаётган қотишманинг структура яхлитлигига мавжуд водороднинг салбий таъсирини ва водороднинг қотишма таркибига сингиш механизмини А.Данилкин, А.А.Григорьева, В.А.Моргунов тадқиқ қилиб, суюқ металлни қолипга қуйиш даврида алюминий қотишмасини атмосферадан химоялаш технологиясини ишлаб чиқишган. Қотишмаларга қайнаш ҳароратида ишлов беришда флюсларнинг таъсирини тадқиқотчилар В.Н. Симонов, Л.Ф. Вьюгин В.А.Гутов, О.С.Еремин, А.Н.Задирановлар олиб боришган ва қотишмаларни суюқлантириш учун қотишма таркибига водород сингишининг олдини олишга хизмат қиладиган флюс таркибини ишлаб чиқишган.

Алюминий қотишмаларини суюқлантириш технологияси ва олинаётган структурада механик хоссаларга салбий таъсир кўрсатадиган қўшимчаларни камайтириш йўналишида Ўзбекистон олимлари ҳам тадқиқотлар олиб боришган. Жумладан, А.О.Шазимов томонидан ишлаб чиқилган алюминий қотишмаларини суюқлантиришда водороднинг сингишини камайтирадиган технология асосидаги икки камерали газ печи ишлаб чиқилган. Печь камералари ораллиғида қўлланилган иссиқбардош тўсиқ ва унинг остида ўрнатилган ўтиш каналлари суюқ металлнинг водородга тўйинишининг олдини олиш имконини берган. Металл таркибига қиздириш камерасида водороднинг сингишига тўсиқ сифатида ванна юзасидаги оксид парданинг яхлитлигидан фойдаланилган. Алюминийни суюқлантириш даврида темир ва кўрғошиннинг алюминий таркибига сингиши профессор Ю.Н.Мансуров томонидан тадқиқ қилинган. Профессор Ю.Н.Мансуров томонидан алюминий қотишмаларининг таркибига металл қўшимчаларининг сингишини олдини олувчи технология ишлаб чиқилган. Профессор Н.Д.Тураходжаев томонидан олиб борилган тадқиқотлар натижасида ёнилғи сифатида қўлланиладиган коксдаги углероднинг металлнинг структураси ва механик хоссаларига таъсири тадқиқ қилиниб, кокс ва табиий газ ёниш маҳсулотларининг металл таркибига сингиш механизми ишлаб чиқилган. Алюминий қотишмаларининг структурасидаги оксид қўшимчаларнинг дислокацияга ва механик хоссаларга таъсирини ўрганиш бўйича тадқиқотлар профессор Ф.С.Абдуллаев томонидан олиб борилган ва юпқа деворли деталлар олишда сифатли структура ва механик хоссаларга эга бўлиш учун

босим остида ишлов бериш технологияси ишлаб чиқилган. Графитли электрод ёрдамида электрошлак усулидан фойдаланиб алюминий қотишмасини суёқлантириш технологияси устида доцент Э.Х.Туляганов тадқиқотлар олиб борган. Тадқиқотлар натижасида ишлаб чиқилган янги конструкциядаги электрошлак печи қора ва рангли металлларни суёқлантиришда оксид қўшимчаларни тиклайдиган ва ресурс тежамкорлигини таъминлайдиган технология ишлаб чиқилган. Адабиётлар таҳлили шуни кўрсатдики, ҳозирги вақтда алюминий қотишмаларини суёқлантириш даврида сифатли структурани шакллантириш мумкин. Бу эса ўз навбатида алюминийни саноатда қўлланилиш кўламини кенгайтириш, қора металлларнинг ўрнига енгил ва коррозиябардош алюминий қотишмаларини қўллаш имконини беради. Натижада деталь ва қисмининг вазни 3 мартагача камаяди, уларнинг хизмат муддати ошади, дизайни ва эстетик кўриниши яхшиланади. Бундан ташқари алюминий қотишмасидан маҳсулот олишда қора металлникига қараганда қарийб 2 марта кам иссиқлик энергияси сарфланади, атроф-муҳитга чиқиб кетаётган зарарли газларнинг ҳарорати ҳам камаяди. Бунинг учун керакли структурага эга бўлган алюминий қотишмасини олиш борасида олиб борилган тадқиқотлар алюминий қотишмаларини суёқлантириш даврида сифатли структура олиш имкониятлари мавжудлигидан дарак бермоқда.

Диссертациянинг «**Тадқиқот объекти ва алюминий қотишмасининг сифатини аниқлаш усулини ишлаб чиқиш**» деб номланган иккинчи бобида тадқиқот қилиш объектлари ва экспериментал тадқиқот ўтказиш усуллари танилаш ва асослаш келтирилган.

Тадқиқот объекти сифатида газда ишловчи алюминий суёқлантириш печи, машинасозликда ишлатиладиган АК7п ва АК6 маркали алюминий қотишмалари, қотишма таркибидаги водород ва алюминий оксиди олинган.

Алюминий қотишмаси таркибидаги водород миқдори вакуум экстракцияси орқали аниқланди. Бунда юқори вакуум остидаги намунадан газларнинг тўлиқ чиқишини таъминлаш учун намунани қиздириб, аввалига форвакуум насоси ёрдамида 10^{-2} мм см.уст. даражали, кейин эса диффузион насос ёрдамида 10^{-6} - 10^{-7} мм см.уст. даражали вакуум ҳосил қилинди. Тизимдаги босимнинг ўзгариши Мак-Леод манометри ёрдамида аниқланди. Газ таҳлилини ўтказиш учун намуна ҳарорати солидус чизиғидан 30-40 °С пастроқда ушлаб турилди. Намунадан ажралган газлар қурилманинг аналитик қисмига диффузион насос ёрдамида ўтказилди. Вакуум назорати вакуумметр ВТ-3 ёрдамида амалга оширилди. Намунадаги водород миқдори тажриба пайтидаги босимнинг ўзгариши, қурилма аналитик қисмининг ҳажми, атмосфера босими, хона ҳарорати ва Мак-Леод манометридаги босим ўзгаришини ҳисобга оладиган формула орқали аниқланди. Қотишмадаги газ ғовақларини ғовақ шкаласи орқали аниқланган. Бунда намунанинг ҳар хил жойларидаги учта 1 мм² ўлчамдаги квадратчаларнинг ғовақлар миқдорини ғовақ шкаласи ва эталон жадвали билан солиштириш орқали амалга оширилди. Алюминий оксидининг миқдори фотометрик ва концентрациялар пики усулларида аниқланган. Биринчи усулда 1,0 грамм оғирликдаги тозаланган намуна реакцион аралашма солинган 50 см³ ҳажмдаги колбага

жойлаштирилди. Бунда реакцион аралашма қуйидаги нисбатда тайёрланди: 65 см³ этилацетат 2,0 грамм бром калийси ва 7 см³ бром. Эритма хона ҳароратида тайёрланди. Намунанинг эриши тугаганидан сўнг колбага 5 см³ реакцион аралашма солиниб, 10-15 дақиқа давомида 45-50 °С эритиш давом эттирилди. Фильтрлаб олинган эритманинг оптик зичлиги алангали фотометр ПФМ ёрдамида аниқланди. Алюминий оксидининг массаси унинг намунаси массасига нисбати орқали чиқарилди. Намуналар олиш учун тадқиқот икки камерали газ шахта-қайтарувчи ва графитли электр ёй печларида ўтка-зилди. Юкланаётган шихтанинг, ваннадаги суюқ металлнинг ва электр ёй ёрдамида ишлов беришнинг ҳароратларини назорат қилиш учун ТХА –термо-электрик пирометрлардан фойдаланилди. Алюминий шихтасининг 20 °С, 100 °С, 200 °С, 400 °С ва 500 °С ларгача қиздирилишидан кейин печга юкланиши амалга оширилганидаги, суюқ металл юзасида флюс бўлган ва флюс бўлмаган ҳолатидаги, графитли электродлар ёрдамида қиздириш ва суюқлантириш камераларида ишлов беришдан кейинги ҳолатлардаги намуналар олинди. Электр ёй усулида қиздириш, суюқлантириш ва қизди-риш камераларида амалга оширилди. Ҳар бир усул учун 5 тадан намуна олинди. Намуналар олишда оксидланишнинг олдини олиш имконини берув-чи чойнаксимон чўмичлардан фойдаланилди.

Олинган намуналар микроструктураси МИМ–8 металлографик микроскоп ва РЭМ–200 электрон микроскопида ўрганилди. Микрошлифлар анъанавий бўлган усуллар ёрдамида тайёрланди. Алюминий қотишмаси таркибидаги қўшимчалар миқдорини аниқлашда масс-спектрометрия, спектрал таҳлил усуллари қўлланилди.

Алюминий қотишмасининг сифатини аниқлашда Харрингтоннинг истақлар функциясидан фойдаланилди. Бунда ҳар бир истақ функциясининг кўрсаткичларини хусусий истақга келтирилиб, хусусий истақлар мажмуидан умумий истақ ўртача геометрик кўрсаткич сифатида қабул қилинди. Хусусий истақ сифатида алюминий қотишмасидаги водороднинг миқдори, алюминий қотишмасидаги оксид миқдори, алюминий қотишмасининг чўзилишдаги мустаҳкамлик чегараси, алюминий қотишмасининг қаттиқлиги, алюминий қотишмасининг зарбий қовушқоқлиги, алюминий қотишмасининг нисбий чўзилиши қабул қилинди.

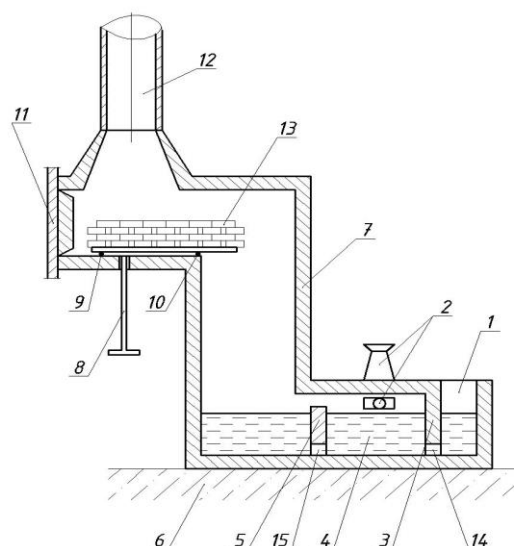
Диссертациянинг «Алюминий қотишмаларини газ печларида суюқлантириш технологиясини ишлаб чиқиш ва суюқлантириш агрегатининг конструкциясини такомиллаштириш» деб номланган учинчи бобида алюминий қотишмаларини суюқлантириш даврида структурага газ ва оксид қўшимчаларнинг сингишини бартараф қилувчи технологияни ишлаб чиқишга бағишланган.

Тажрибанинг биринчи босқичида алюминий қотишмаларини суюқлантиришда кенг миқёсда қўллаб келинаётган газли шахта-қайтарувчи печнинг конструкциясидан фойдаланган ҳолда тадқиқот ишларини олиб боришда эришилган сўнгги ютуқлардан фойдаланилди. Жумладан, Андреев-Гогин, Колеманн, Грачев томонидан ишлаб чиқилган конструкцияларда шихтани қиздириш учун шахта қисмидаги газ оқимининг иссиқлигидан фойдаланилган. В.А.Грачев, В.А.Моргунов ва А.О.Шазимов томонидан ишлаб

чиқилган конструкциядаги шахта ёрдамида шихтани қиздиришда фойдаланилганидан ташқари, печнинг ванна қисми иссиқбардош тўсиқ билан икки қисмга ажратилган ва суюқ металл эритиш камерасидан қиздириш камерасига тўсиқ остидаги канал орқали юборилган. Бунинг натижасида алюминий қотишмаси қиздириш камерасида газ ва оксид қўшимчалар билан қўшимча тўйинмаган. Лекин ушбу конструкциядан даврий равишда металл суюқлантирилганида шихтанинг қиздирилиш ҳароратини назорат қилиб бўлмайди. Шунинг учун ушбу диссертация ишининг экспериментал тадқиқотларини ўтказишда шихтанинг қиздириш ҳароратини назорат қилиш ва қиздириш ҳароратининг алюминий қотишмасидаги газ ва оксид қўшимчаларга боғлиқлик даражасини аниқлаш мақсадида газли шахта-қайтарувчи печининг шахта (1) қисмига шихта (13) ни қиздириш майдончаси ўрнатилди (9). Бу майдонча юклаш қурилмаси (8) ва шарнирлар (10) ёрдамида керакли ҳароратгача қизиган шихтани печь шахтаси (7) га юклатади. Қиздириш камераси (4) да металл юзасида ҳосил бўладиган оксид пардаси яхлитлигининг бузилмаслиги ва оксид қўшимчаларнинг ҳамда газ горелкалари (2) дан чиқаётган газнинг ёнишидан ҳосил бўладиган водороднинг металл таркибига сингиб кетмаслиги учун эритиш камерасидан суюқ металл иссиқбардош тўсиқ (5) остида жойлаштирилган ўтиш каналлари (15) орқали юборилди. Тайёр алюминий қотишмасидан намуналар олиш учун ишчи камера (1) яна бир иссиқбардош тусиқ (3) ва унинг остида утиш каналлари (14) билан таъминланди.

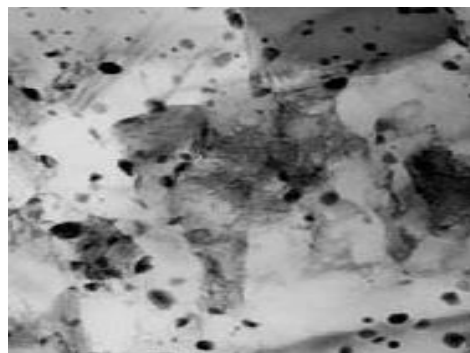
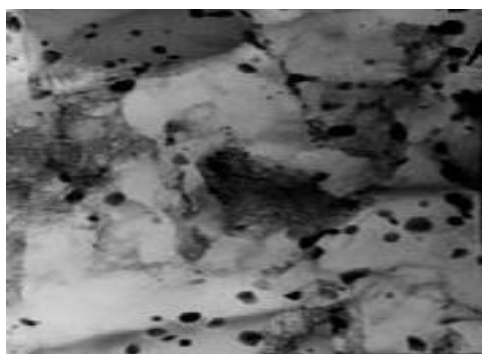
Тадқиқотнинг биринчи босқичида печга юкланаётган шихтанинг ҳарорати 20, 100, 200, 400 ва 500 °С гача қиздирилди. Тадқиқотлар натижасининг аниқлигини ошириш мақсадида ҳар бир ҳолат учун 5 тадан тажриба ўтказилди ва 5-7 тадан намуна олинди. Тадқиқотнинг биринчи босқичи ўтказилган печнинг схемаси 1-расмда келтирилган.

Печга юкланаётган шихтанинг эритиш камерасидаги оксид парданинг яхлитлигини бузиши натижасида металл таркибига нометалл қўшимчаларининг сингиш механизмини тадқиқ қилиш мақсадида, суюқ металл юзасига ҳимоя воситаси сифатида 4 та асосий таркибдаги флюслардан фойдаланилди ва уларга уч хил миқдорда улерод қўшилди. Биринчи босқичдаги тадқиқотлар натижасида шихтани суюқ металлга юклашдан олдинги қиздириш ҳарорати 400 °С гача бўлган оралиқда деярли сезилмаслиги аниқланди (2-расм).



1-расм. Газли шахта-қайтарувчи печь схемаси.

1-намуна олиш камераси, 2- газ горелкалари, 3,5-иссиқбардош тўсиқлар, 4-қиздириш камераси, 6-таглик, 7-печ шахтаси, 8-юклаш қурилмаси, 9-шихтани қиздириш майдончаси, 10-шарнир механизми, 11-шихтани юклаш эшиги, 12-атмосферага чиқарувчи қувур, 13-юкланаётган шихта, 14,15-ўтиш каналлари.

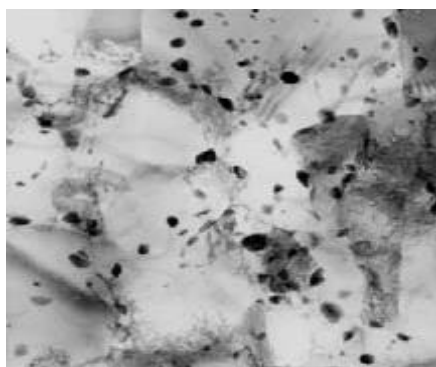


2-расм. Шихтанинг 200 °С дан 400 °С гача қиздиришдаги структура қурилиши

а –шихтанинг 200 °С гача қиздиришдаги структура қурилиши;

б- шихтанинг 400 °С гача қиздиришдаги структура қурилиши.

Лекин 400 °С дан 500 °С гача оралиқда қиздирилган шихтадан олинган қотишманинг таркибида водород ва оксид қўшимчаларнинг кескин камайиши кузатилди. Буни шихта таркибидаги намлик ва бошқа қўшимчаларнинг парчаланиши билан изоҳласа бўлади (3-расм).



3-расм. Шихтанинг 500 °С гача қиздиришдаги структура қурилиши

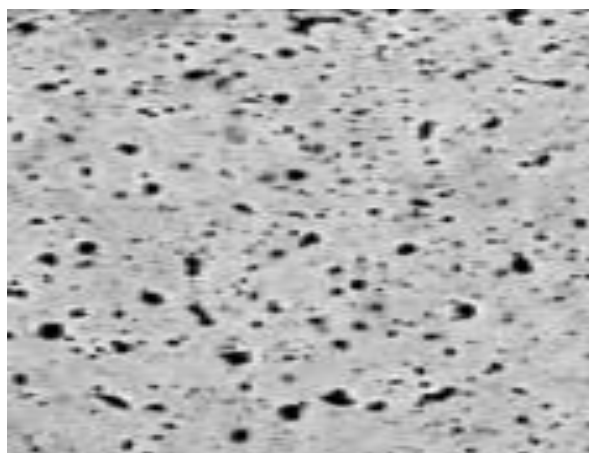
Шихтанинг суёқланишидан ҳосил бўлган қотишма таркибидаги водород ва оксид қўшимчаларнинг миқдорининг юкланаётган шихта ўртача диаметрига боғлиқлик даражаси 1-жадвалда келтирилган.

1-жадвал

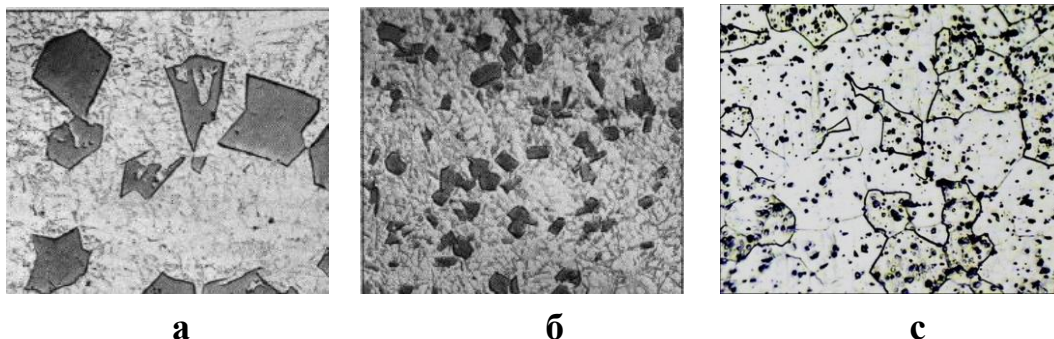
т/р	Юкланаётган шихтанинг ўртача диаметри, мм	Қотишмадаги водороднинг миқдори, см ³ /100 гр	Қотишмадаги оксиднинг миқдори, %
1	5-6	0,50-0,52	7-8
2	8-10	0,45-0,48	6-8
3	12-14	0,42-0,44	5-7
4	18-20	0,36-0,38	5-6
5	25-30	0,32-0,34	4-5

Олинган натижалардан келиб чиқиб, қўлланиладиган флюсларнинг таркиби структуранинг тақибига таъсир қилиш даражасини аниқлашда шихтани юклаш қурилмасида 450-500 °С гача қиздириш асосида амалга оширилди.

Олинган қотишманинг структураси 4-расмда келтирилган.



4-расм. Совуқ ҳолатда (20 °С да) газ печига юкланган шихтадан олинган қотишма микроструктураси



5-расм. Алуминий қотишмасининг структураси:

а - ишлов беришдан олдинги қотишма структураси, б - 660 °С да углеродли флюс ёрдамида ишлов берилган қотишма структураси, с - 2000 °С да углеродли электрод ёрдамида ишлов берилганидан кейинги қотишма структураси.

Алюминий қотишмасининг тўлиқ суюқланиши 10-12 дақиқада амалга оширилди. Печнинг ишга туширилганидан то суюқ металлни олгунга қадар 40-45 дақиқа вақт сарфланди. Металл таркибининг таҳлил натижалари 3-жадвалда келтирилган.

Олинган натижаларга кўра хулоса қилиш мумкинки, қотишма структурасидаги механик хоссаларга салбий таъсир қиладиган водороднинг 20-22 % миқдори ва алюминий оксиднинг 14-16 % миқдори қотишма таркибидан сиқиб чиқарилади.

2-жадвал

№ п/п	Шихтанинг суюқ ваннага юклаш давридаги ҳарорати, °С	Водород миқдори, см ³ /100 гр	Қотишмадаги алюминий оксиди миқдори, %
1	20	0,60-0,62	10-12
2	100	0,55-0,60	8-10
3	200	0,52-0,55	7-8
4	400	0,40-0,42	5-6
5	500	0,33-0,35	4-5

3-жадвал

т/р	Тадқиқот даврида қизиган шихтани ушлаб туриш вақти, дақиқа	Қотишмадаги водороднинг миқдори, см ³ /100 гр	Қотишмадаги оксиднинг миқдори, %
1	28-30	0,34-0,36	4-5
2	32-35	0,30-0,32	2-3
3	38-40	0,28-0,30	2-3
4	43-45	0,34-0,36	4-5
5	48-50	0,32-0,34	3-4
6	52-55	0,28-0,30	2-3
7	58-60	0,42-0,44	6-7
8	62-65	0,40-0,42	5-6

Шундай қилиб, алюминий қотишмаларини суюқлантиришда сифатли структуранинг шаклланиши учун печь атмосферасидан қотишма таркибига табиий ҳолда сингиб газ говаклари ва оксид қўшимчалар ҳосил қиладиган водород ва кислородни қотишма таркибидан чиқаришнинг технологияси ишлаб чиқилди.

Диссертациянинг «Алюминий қотишмаларини суюқлантиришда ресурс тежамкорликни таъминлайдиган газ печининг математик моделини ишлаб чиқиш» деб номланган тўртинчи бобида алюминий қотишмаларини суюқлантиришда ресурс тежамкорликни таъминлайдиган технология ишлаб чиқилган, ишлаб чиқилган технологияни амалга ошириш учун печнинг конструкцияси такомиллаштирилган, ишлаб чиқариш қувватига мувофиқ янги печь конструкциясининг математик модели ва иқтисодий самарадорлиги келтирилган.

Ишлаб чиқариш шароитида печнинг турли ҳажмдаги конструкцияси талаб этилади ва турли ҳажмдаги конструкцияларнинг ишлаш самарадорлиги турлича бўлади. Чунки ишлаб чиқариш қувватига кўра печнинг фойдали иш коэффициенти, иссиқликнинг фойдали сарфи, металлнинг ишчи юзаси кўрсаткичлари ва талаб этиладиган ёнилғи сарфи турлича бўлади. Бундан ташқари суюқ металлнинг кўндаланг кесим юзаси ва ванна чуқурлиги структурага сингадиган водород ва кислороднинг миқдори таъсир қилади. Шунинг учун ишлаб чиқилган печнинг конструкцион параметрлари билан ишлаб чиқиш қуввати ҳамда олинадиган қотишманинг кўрсаткичларини аниқлашда математик модель тузилди. Бунинг учун печнинг ишлашидаги иссиқлик балансидан фойдаланилди, яъни печга кириб келган иссиқлик миқдори сарфланган иссиқлик миқдorigа тенглиги қонуниятидан фойдаланилди:

$$Q_{\text{кир}} = Q_{\text{сарф}}. \quad (1)$$

Ўз навбатида, кириб келаётган иссиқлик миқдори суюқ металл ташқарисида табиий газнинг ёнишидан ҳосил бўладиган иссиқлик миқдоридан ва суюқ металл ичида электр ёйи ҳосил бўлишидан ҳосил бўлган иссиқлик миқдоридан иборат:

$$Q_{\text{кир}} = Q_{\text{газ}} + Q_{\text{ёй}}. \quad (2)$$

Газ ёнишидан ҳосил бўладиган иссиқлик миқдори ўз навбатида:

$$Q_{\text{газ}} = Q_{\text{газ исс}} + Q_{\text{хаво физ}} + Q_{\text{газ физ}} + Q_{\text{мет физ}}. \quad (3)$$

Ўз навбатида газ ёнишидан чиқадиган иссиқлик миқдори газнинг сарфи ва газнинг ёниш қувватига тўғри пропорционал [18]:

$$Q_{\text{газ исс}} = Q_{\text{газ}} \times B_0. \quad (4)$$

Хаво билан кирган хавонинг физик иссиқлиги ўз навбатида қуйидагича аниқланади:

$$Q_{\text{хаво физ}} = B_0 \times \alpha_{\text{газ}} \times I_{\text{хаво}}. \quad (5)$$

Ҳавонинг энтальпияси ҳаво ҳароратига кўра қуйидагича бўлади:

$$I_{\text{хаво}} = 1,3 \times T_{\text{хаво}}. \quad (6)$$

Юқоридагиларни ҳисобга олганда (5) қуйидаги кўринишга келади:

$$Q_{\text{хаво физ}} = V_0 \times \alpha_{\text{газ}} \times 1,3 \times T_{\text{хаво}}. \quad (7)$$

Газнинг ёнишидан келадиган иссиқликнинг физик қиймати қуйидагича аниқланади:

$$Q_{\text{газ физ}} = V_0 \times C_{\text{газ}} \times T_{\text{газ}}. \quad (8)$$

Газнинг ўртача иссиқлик сиғими қуйидагича аниқланади:

$$C_{\text{газ}} = 1,54 + 1,1 \times T_{\text{газ}}. \quad (9)$$

Металл билан печга кирган иссиқлик миқдори қуйидагича аниқланади:

$$Q_{\text{мет физ}} = G \times I_{\text{мет}}. \quad (10)$$

Энтальпия ўз навбатида қуйидагича аниқланади [19]:

$$I_{\text{мет}} = 280,7 + 1,028 \times T_{\text{мет}}. \quad (11)$$

Шундай қилиб, печга кириб келаётган иссиқлик миқдори қуйидагига тенг булади:

$$Q_{\text{кир}} = Q_{\text{газ}} \times V_0 + V_0 \times \alpha_{\text{газ}} \times 1,3 \times T_{\text{хаво}} + V_0 \times C_{\text{газ}} \times T_{\text{газ}} + Q_{\text{ёй}} + G \times (280,7 + 1,028 \times T_{\text{мет}}). \quad (12)$$

Печга кириб келган иссиқликнинг сарфи қуйидагича тақсимланади:

1. Чиқиб кетаётган ёниш маҳсулотларининг иссиқлиги [20]

$$Q_1 = V_0 \times V_{\text{чик газ}} \times C_{\text{чик газ}} \times T_{\text{чик газ}}, \quad (13)$$

$$V_{\text{чик газ}} = 10,5 + 0,0038 \times T_{\text{чик газ}}, \quad (14)$$

$$C_{\text{чик газ}} = 1,369 + 0,24 \times T_{\text{чик газ}}. \quad (15)$$

Печнинг узунлигини аниқлаш учун иссиқликни узунлик бўйича тенг тақсимланган деб қабул қиламиз. Ёниш ҳароратига нисбатан чиқаётган ёниш маҳсулотларининг печь узунлигига боғлиқлиги қуйидаги кўринишни олади:

$$T_{\text{чик газ}} = T_{\text{газ}} - 150 \times V. \quad (16)$$

Печнинг узунлигини ишлаб чиқариш қуввати ва ванна чуқурлигига боғлиқ формуласини қуйидагича чиқарамиз:

$$V = G \times 3600 / A \times H \times \rho. \quad (17)$$

2. Печнинг суяқ металлдан ҳоли қисмидаги иссиқлик ўтказувчанлиги ҳисобига бўлган иссиқлик йўқотишлари:

$$Q_2 = (T_{\text{газ}} - T_{\text{атр мух}}) / (1/\alpha_1 \times F_1 + S_1 / \lambda_1 \times F_1 + S_2 / \lambda_2 \times F_2 + S_3 / \lambda_3 \times F_3 + 1/\alpha_2 \times F_4) \quad (18)$$

3. Газнинг кимёвий ва механик нотўлиқ ёниши оқибатидаги йўқотишлар [20]:

$$Q_3 = V_0 \times (V_{\text{чик газ}} \times 3,45 + 0,05 \times Q_{\text{газ н}}). \quad (19)$$

4. Юклаш қурилмаси ва ишчи эшикларнинг очилиш вақтида нурланиш орқали иссиқликнинг йўқотилиши:

$$Q_4 = C_{\text{гшм}} \times (T_{\text{ур}} / 100)^4 \times F_9 \times \varphi_d \times (1 - \Psi). \quad (20)$$

5. Ишчи эшиклардан чиқиб кетаётган ёниш маҳсулотлари билан иссиқликнинг йўқотилиши:

$$Q_5 = V_{\text{чик эш}} \times I_{\text{ён мах}} \times (1 - \Psi). \quad (21)$$

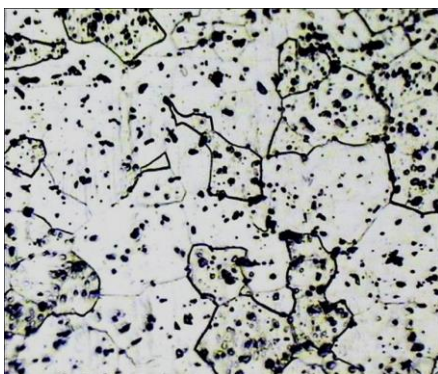
6. Печдан чиқарилаётган металлнинг иссиқлиги билан кетаётган иссиқлик миқдори:

$$Q_6 = C_{\text{гшм}} \times [(T_{\text{ур}} / 100)^4 - (T_{\text{м}} / 100)^4] \times F_{\text{м}} + \alpha_{\text{к}} \times (T_{\text{ур}} - T_{\text{м}}) \times F_{\text{м}}. \quad (22)$$

Шунда печь ишлашининг умумий математик модели қуйидаги кўринишга келади:

$$\begin{aligned} & Q_{\text{газ}} \times V_0 + V_0 \times \alpha_{\text{газ}} \times 1,3 \times T_{\text{хаво}} + V_0 \times C_{\text{газ}} \times T_{\text{газ}} + Q_{\text{ёй}} + \\ & + G \times (280,7 + 1,028 \times T_{\text{мет}}) = V_0 \times (10,5 + 0,0038 \times T_{\text{чик газ}}) \times (1,369 + 0,24 \times \\ & T_{\text{чик газ}}) \times T_{\text{чик газ}} + (T_{\text{газ}} - T_{\text{атр мух}}) / (1/\alpha_1 \times F_1 + S_1 / \lambda_1 \times F_1 + S_2 / \lambda_2 \times F_2 + S_3 / \lambda_3 \times \\ & F_3 + 1/\alpha_2 \times F_4) + V_0 \times (V_{\text{чик газ}} \times 3,45 + 0,05 \times Q_{\text{газ н}}) + C_{\text{гшм}} \times (T_{\text{ур}} / 100)^4 \times F_9 \times \varphi_d \times \\ & (1 - \Psi) + V_{\text{чик эш}} \times I_{\text{ён мах}} \times (1 - \Psi) + C_{\text{гшм}} \times [(T_{\text{ур}} / 100)^4 - (T_{\text{м}} / 100)^4] \times F_{\text{м}} + \alpha_{\text{к}} \times \\ & (T_{\text{ур}} - T_{\text{м}}) \times F_{\text{м}}. \quad (23) \end{aligned}$$

Натижада, ишлаб чиқилган технология асосида олинган алюминий қотишмаларининг таркибидаги водороднинг 40-43 % миқдори, алюминий оксидининг 55-58 % миқдори қотишма таркибидан сиқиб чиқарилишига эришилди.



6-расм. Ишлаб чиқариш шароитида олинган қотишма структураси.

Бу таркибида механик хоссаларга салбий таъсир қилувчи водород ва алюминий оксиди минимал бўлган сифатли структурага эга алюминий қотишмасини олиш имконини берди.

Диссертация хулосасида тадқиқот натижалари, асосий хулосалар шакллантирилган ва амалий таклифлар келтирилган.

ХУЛОСА

“Газ печларида алюминий қотишмаларини суюқлантириш технологиясини ишлаб чиқиш” мавзусидаги диссертация иши бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Суюқлантириш агрегатларидаги қаттиқ шихта ва шахтадаги чиқиб кетаётган газларнинг иссиқлик алмашинуви жараёни асосида алюминий қотишмаларини суюқлантириш технологияси ишлаб чиқилган. Бу газ печларининг самарасини оширишга хизмат қилади.
2. Ҳароратнинг ортиши натижасида алюминийнинг газ ютиш теплофизик хоссаларининг ўзгариши асосида шихтани печга юклашдан олдин қиздириш технологияси ишлаб чиқилган. Бу алюминий қотишмаларини суюқлантиришда энергия тежамкорлигини таъминлашга хизмат қилади.
3. Суюқ қотишма билан ванна устидаги ёниш маҳсулотлари ўртасидаги иссиқлик алмашинув характери асосида алюминий қотишмаларини қиздириш камерасида ушлаб туриш технологияси ишлаб чиқилган. Бу алюминий қотишмаларини суюқлантиришда қотишма таркибидаги газларни қотишмадан чиқариш технологияларини яратишга хизмат қилади.
4. Шихта билан табиий газ ёниш маҳсулотлари ўртасидаги иссиқлик алмашинув жараёнини ошириш имконини берадиган газ печидаги шахта қисмининг конструкцияси ишлаб чиқилган. Бу печнинг самарадорлигини ошириш учун хизмат қилади.
5. Металлнинг суюқлантириш камерасидаги совуб қолишини олдини олиш имконини берадиган шихтани шахтага меъёрлаб юклаш технологияси ишлаб чиқилган. Бу печ самарадорлигини ошириш учун хизмат қилади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ
03/30.12.2019.Т.04.02 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

КАМАЛОВ ЖАМАЛИДДИН САЙФИТДИНОВИЧ

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЛАВКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ
ГАЗОВЫХ ПЕЧАХ**

**05.02.01 – Материаловедение в машиностроении. Литейное производство.
Термическая обработка и обработка металлов давлением. Металлургия черных,
цветных и редких металлов.**

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

Ташкент–2021

Тема докторской диссертации зарегистрирована за № в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан

Докторская диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский) размещён на веб-странице по адресу www.tadqiqotchi@tdtu.uz и информационно-образовательном портале «ZIYONET» по адресу www.ziyonet.uz.

Научный руководитель: **Тураходжаев Нодир Джахонгирович**
доктор технических наук, профессор

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

Шазимов Анартой Олджабаевич
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация: **Фергансуй политехнический институт**

Защита диссертации состоится «__» _____ 2021 года в ____ часов на заседании Научного совета 03/30.12.2019.Т.03.04 при Ташкентском государственном техническом университете по адресу: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская 2. Тел/факс: (99871) 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz.

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

Автореферат диссертации разослан: «__» _____ 2021 года
(рестр протокола рассылки № ____ от ____ 2021 года).

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

Ш.Б. Ташбулатов
Учёный секретарь научного совета по
присуждению ученых степеней
д.ф.т.н., PhD

Н.С. Дуняшин
Председатель научного семинара при
научном совете по присуждению ученых
степеней д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (Аннотация докторской диссертации)

Актуальность и востребованность темы диссертации. В более чем пятидесяти странах мира ведутся исследования по повышению качества алюминиевых сплавов. Алюминий является самым распространённым металлом в земной коре и по своим запасам стоит на третьем месте после кислорода и кремния, а также в 350 раз больше чем запасы меди, свинца, хрома, олова и цинка вместе взятых. В то же время углубление процесса глобализации, интенсификация процесса глобального потепления становится актуальной применение алюминиевых сплавов вместо малоэффективных сплавов из чёрных металлов в таких странах как Америка, Япония, Англия, Германия, Украина, Россия и Узбекистан.

В годы независимости в нашей стране уделялось большое внимание получению качественной продукции из алюминиевых сплавов, которые могут конкурировать на мировом рынке. В этом направлении были достигнуты определённые результаты по получению качественных алюминиевых сплавов, применяемых для изготовления деталей и узлов автомобилестроения и машиностроения, а также локализации этой продукции.

На сегодняшний день наряду с получением качественной продукции из алюминиевых сплавов, актуальной является повышение экономической эффективности. В этом направлении ведутся ряд научно-исследовательских работ, в частности, проведение исследований в следующих направлениях является одним из основных задач: увеличение доли алюминиевых сплавов в промышленности учитывая его механические, физические и эксплуатационные свойства; разработка технологии плавки предотвращающей вредное воздействие нежелательных факторов; разработка технологии обеспечивающей ресурсо- и энергосбережение. Поэтому, проведение научно-исследовательских работ по разработке научно-технических решений в формировании качественной структуры при плавке алюминиевых сплавов имеет важное научно-практическое значение.

Данное диссертационное исследование в определённой степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указах Президента Республики Узбекистан № ПФ-1590 от 29 июля 2011 года «Меры углубления локализации производства готовых изделий, составляющих и материалов в период на 2011-2013 годы на основе кооперации промышленности», в Постановлениях Кабинета Министров №22 от 31 января 2012 года «Локализация кронштейнов для генераторов и моторов из алюминиевых сплавов», а также в приложении Кабинета Министров Республики Узбекистан №1 от 28 апреля 2018 года «Локализация генераторов и кронштейнов мотора изготовленных из алюминия для автомобилей нексия», «Контроль качества и сертификация изделий из алюминиевых сплавов», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование

выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики П. «Энергетика, энергия и ресурсосбережение».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации¹. Научные исследования, направленные на получение качественной структуры алюминиевых сплавов проводятся во многих ведущих научных центрах мира, в том числе в Национальном институте Стандартов и технологий - NIST (США), в компании Кобе стил LTD и в университете Цукуба (Япония), в Виенском техническом университете (Германия), в Австрийском научно-исследовательском институте (Австрия), в корпорации Сежедюр (Франция), в Лондонском университете технологий (Англия), в Европейской ассоциации сплавов (Бельгия), в Киевском политехническом университете (Украина), в Пензенском политехническом университете и во Всероссийском институте легких сплавов (Россия), в Ташкентском государственном техническом университете (Узбекистан).

В результате проведённых в мире исследований по получению качественной структуры алюминиевых сплавов, получены ряд научных результатов, в том числе: для снижения содержания водорода в алюминиевых сплавах была разработана технология внепечной обработки и состав модификаторов (Национальный институт Стандартов и технологий – NIST, Центр технологий, США); разработана технология высокотемпературной обработки для снижения содержания водорода в структуре алюминиевых сплавов (компания Кобе стил LTD и университет Цукуба, Япония); разработана технология восстановления до 30 % алюминия из его оксидов (Виенский технический университет, Германия, Австрийский научно-исследовательский институт, Австрия); разработана технология снижения водорода в алюминиевых сплавах при плавлении и конструкция газовой шахтно-отражательной печи (корпорация Сежедюр, Франция); разработана технология снижения оксидных включений в структуре алюминиевых сплавов и технология восстановления алюминия из его оксидов (Лондонский университет технологий, Англия; Европейская ассоциация сплавов, Бельгия); разработана конструкция газовой печи и технология для предотвращения внедрений вредных газовых включений в алюминиевые сплавы (Пензенский политехнический университет и Всероссийский институт легких сплавов, Россия).

В мире по получению качественной структуры алюминиевых сплавов проводятся исследования по ряду приоритетных направлений, в том числе: разработка технологий внепечной обработки расплава для снижения газовых и оксидных включений, отрицательно влияющих на механические свойства алюминиевых сплавов; разработка новых конструкций плавильных печей способствующих удалению влажности шихты и предотвращающих диффундированию водорода в структуру алюминия; разработка составов защитного флюса предотвращающего диффундирование водорода в алюминиевые сплавы при плавке; разработка технологий высокотемпературной обработки

оксидов алюминия для их восстановления.

Степень изученности проблемы. Ведущие учёные мира разработали различные технологии плавки алюминиевых сплавов. Для получения качественной структуры были разработаны ряд конструкций плавильных агрегатов.

Дж.Боин, М.Бертрам, Х.Пуга, Дж.Барбоса, А.Калеманн посвятили свои исследовательские работы технологии восстановления алюминия из его оксидов для получения качественной структуры, разработали ряд конструкций печей для плавки алюминиевых сплавов.

Учёными стран СНГ проведены важные исследования по формированию структуры алюминиевых сплавов (В.А.Грачев, Д.Андреев, А.Данилкин, В.Гогин, А.А.Григорьева, Л.Ф. Вьюгин, В.А.Гутов, О.С.Еремин, А.Н.Задиранов). Они усовершенствовали конструкции газовых плавильных агрегатов для повышения качества расплава, повысили коэффициент полезного действия газовых печей с 30 % до 60 %.

Разработана технология высокотемпературной обработки алюминиевых сплавов лазером для снижения количественного содержания водорода в расплаве (С.Сасаба, А.Матсунава, С.Катаяма). Разработан состав флюса способствующего предотвращению диффундирования водорода в расплав (В.Н. Симонов, Л.Ф. Вьюгин В.А.Гутов, О.С.Еремин, А.Н.Задиранов). Исследователи Узбекистана разработали двухкамерную конструкцию ванны газовой печи и механизм внедрения железа и свинца в алюминиевые сплавы при плавке (Н.Д.Тураходжаев, А.О.Шазимов, Ф.С.Абдуллаев, Ю.Н.Мансуров).

Несмотря на большие достижения исследований в области плавки алюминиевых сплавов, существует немало нерешенных проблем. Например, не разработана технология ведения плавки алюминиевых сплавов обеспечивающая образованию качественной структуры без дополнительной внепечной обработки. Все исследования проводились в основном при температурах плавления алюминия, обработка флюсами велась только на поверхности жидкой ванны. Основные исследовательские работы проводились над физико-химическими процессами между окисными включениями и атмосферой печи, исследовались процессы диффундирования водорода и окисных включений за счёт нарушения целостности окисной плёнки над жидкой ванной. Не были учтены изменения характера воздействия углерода при различных температурах. Не проводились исследования по изучению диффундирования водорода и оксида алюминия в среде углерода, а также не учитывались восстановительные свойства углерода при высоких температурах. Разработка технологии высокотемпературной обработки при плавке, предотвращающей естественное насыщение расплава газовыми и окисными включениями, для получения качественной структуры является актуальной и научно-практической задачей.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ. Диссертационное исследование выполнено в соответ-

ствии с планом научно-исследовательских работ Ташкентского государственного технического университета №12-18 «Разработка технологии плавки алюминиевых сплавов в газовых печах для снижения угара металла» (2018–2019 гг.).

Целью исследования является разработка конструкции газовой печи для плавки алюминиевых сплавов.

Задачи исследования:

- разработка режима загрузки шихты для плавки алюминиевых сплавов;
- разработка оптимальной технологии плавки и обработки для получения качественной структуры при плавке алюминиевых сплавов;
- разработка конструкции печи для плавки шихты для получения качественной структуры при плавке алюминиевых сплавов.

Объект исследования является сплавы алюминия марки АК7п и АК6, водород и оксид алюминия в расплаве.

Предмет исследования методы определения количественных показателей газовых и оксидных включений, технические аспекты плавки шихты в газовых печах.

Методы исследований. При изучении структуры сплава использовались электронный и оптический микроструктурный, рентгеноструктурный и спектральный анализ, при определении геометрических параметров разработанной печи применялся метод математического моделирования.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- на основе теплообменных процессов между твёрдой шихты и тепла отходящих газов в шахте плавильного агрегата разработана технология плавки алюминиевых сплавов;
- на основе изменения теплофизических свойств алюминия к поглощению газов при повышении температуры разработана технология предварительного нагрева шихты перед загрузкой в печь;
- на основе характера теплообменного процесса между жидким расплавом и продуктов сгорания над жидкой ванной, разработана технология выдержки алюминиевых сплавов в камере перегрева;
- разработана конструкция шахтной части газовой печи позволяющая увеличить теплообменный процесс между шихтой и продуктами сгорания природного газа;
- разработана технология порционной загрузки шихты в шахту печи позволяющую предотвратить захлаживание металла в камере плавления.

Практические результаты исследования. Обоснована и рекомендована технология, которая обеспечивает получение качественного расплава.

Достоверность полученных результатов основывается на данных статистической обработки результатов экспериментных исследований, в сравнении их существующими аналогами, внедрением полученных результатов в производство с реальными экономической эффектами и подтверждении результатов исследований компетентными структурными подразделениями производства.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследований подтверждается тем, что для получения качественного алюминиевого сплава с минимальным содержанием водорода и оксидных включений можно применить конструкцию печи с выносной шахтой.

Практическая значимость результатов исследований подтверждается тем, что обеспечение получения расплава служит получению экономического эффекта за счёт повышения механических свойств и срока службы получаемой продукции.

Внедрение результатов исследования. На основе результатов исследования по разработке технологии способствующей формированию качественной структуры при плавке алюминиевых сплавов:

- технология плавки алюминиевых сплавов в газовых печах внедрена на ООО “Далварзин таъмирлаш заводи” (справка АО “Узагросервис” №09-03/1737 от 19.12.2019 г.). В результате применения технологии потери тепла в ванной части печи снизились на 15-20%;

- технология предварительного нагрева шихты перед загрузкой в печь внедрена на ООО “Далварзин таъмирлаш заводи” (справка АО “Узагросервис” №09-03/1737 от 19.12.2019 г.). В результате применения технологии расход природного газа на плавку алюминиевых сплавов снизился на 6-7% снизились на 15-20%;

- технология выдержки алюминиевых сплавов в камере перегрева внедрена на ООО “Далварзин таъмирлаш заводи” (справка АО “Узагросервис” №09-03/1737 от 19.12.2019 г.). В результате применения технологии потери энергии при нагреве снизились на 8-10%.

Апробация результатов исследований. Основные положения диссертации докладывались на 7 международных конференциях и симпозиумах, а также на 3 республиканских научно-практических конференциях и научных семинарах. Полный текст диссертационной работы были изложены в следующих семинарах: научно-технический Совет Механического факультета Ташкентского государственного технического университета (Ташкент, 2021).

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликованы 38 научных трудов, из них 8 в научных журналах, рекомендованных для публикаций основных результатов научных исследований докторской диссертации Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в том числе, 5 в республиканских и 3 в зарубежных журналах.

Структура и объем диссертации. Содержание диссертации состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка использованной литературы. Объем диссертации состоит из 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введение диссертации приводятся актуальность и востребованность темы диссертации, цели и задачи исследований, а также сформулированы

объекты и предметы исследования, показаны соответствия исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, приведена научная новизна исследований, раскрыты теоретические и практические значения полученных результатов, список внедрённых разработок, приведены сведения об опубликованных работах и структуры диссертации.

В первой главе диссертации **«Анализ современного состояния получения алюминиевых сплавов с качественной структурой»** приводятся применение алюминиевых сплавов в промышленности и современное состояние усовершенствования конструкций печей для плавки алюминиевых сплавов, приводятся характеристики получения качественной структуры, приводятся методы обработки жидкого расплава для получения качественной структуры, тенденция развития печной и внепечной обработок алюминиевых сплавов.

Говорится, что для получения качественной структуры алюминиевых сплавов проводилось множество научно-исследовательских работ. В начале XIX века цена алюминиевого сплава была чуть ниже, чем цена на золото, и была чуть дороже серебра. Основной причиной этого заключалась в сложности и дороговизны получения этого металла, а также высокие физико-химические и механические свойства алюминия. Из алюминия изготавливались драгоценные изделия и украшения, использовали как денежное средство. С разработкой новой и дешёвой технологии получения алюминия его цена резко упала, а применение в промышленности резко увеличилось. Теперь алюминий стали применять в электротехнике, автомобилестроении, судостроении, а в последствии и в авиационном строительстве. Над усовершенствованием конструкции плавильных агрегатов для получения качественной структуры при плавке алюминиевых сплавов научные исследования вели А.Калеманн, В.А.Грачев, Д.Андреев, В.Гогин. Они усовершенствовали конструкции плавильных агрегатов разработали ряд конструкций шахты печи для нагрева загружаемой шихты. В результате наряду со снижением содержания водорода в составе сплава, разработали конструкцию алюминиевоплавильной печи с увеличением коэффициента полезного действия от 30 до 60 %. Под руководством профессора В.А.Грачёва учёные разработали технологию печной и внепечной обработки алюминиевого сплава со снижением количества газовых и оксидных включений на 15-18 %, а коэффициент полезного действия достиг 65-70 % за счёт равномерного распределения тепла отходящих газов в шахте печи. Дж.Боин, М.Бертрам, Х.Пуга и Дж.Барбоса разработали технологию восстановления алюминия из его оксида. На основе разработанной технологии обработка хлорсодержащим флюсом алюминиевого сплава при температуре 720-730 °С обеспечивает снижение содержания водорода на 35-40 %, а кислорода на 30%. С.Сасаба, А.Матсунава и С.Катаяма разработали технологию снижения содержания водорода методом лазерной обработки алюминиевых сплавов. А.Данилкин, А.А.Григорьева и В.А.Моргунов разработали технологию защиты алюминиевого расплава от диффундирования нарушающего целостность структуры водорода и влияния атмосферы при

заливке в форму. Исследования по изучению влияния флюса при температуре кипения проводили ученые В.Н. Симонов, Л.Ф. Вьюгин В.А.Гутов, О.С.Еремин и А.Н.Задиранов, которые разработали состав флюса как средство защиты от атмосферы печи. Ряд исследовательских работ по определению влияния на механические свойства алюминиевых сплавов неметаллических включений проводили учёные Узбекистана. В частности, А.О.Шазимовым разработана конструкция двухкамерной печи для плавки алюминиевых сплавов, позволяющая снизить количество водорода проникающего в жидкий расплав. Переходные каналы выполненные в нижней части огнеупорной перегородки обеспечивают целостность окисной плёнки на поверхности жидкого расплава в камере перегрева. В качестве защитного слоя от диффундирования водорода используется целостность оксидной плёнки в камере перегрева. Процесс диффундирования железа и свинца в процессе плавки алюминия исследовался профессором Ю.Н.Мансуровым. Профессором Ю.Н.Мансуровым разработана технология позволяющая предотвратить насыщение алюминиевых сплавов металлическими включениями. Профессором Н.Д.Тураходжаевым исследован механизм взаимодействия углерода находящегося в продуктах сгорания на структуру и механические свойства металлов. Профессором Ф.С.Абдуллаевым исследовано влияние дислокации оксидных включений на механические свойства и разработана технология обработки давлением тонкостенных алюминиевых сплавов для получения качественной структуры. Как показал литературный обзор, качественную структуру алюминиевых сплавов можно получить при плавке. Это в свою очередь позволит увеличить долю применения алюминиевых сплавов в промышленности, заменить изделия из чёрных металлов на легкий, коррозионостойкий алюминиевый сплав. В итоге этой замены вес изделий снизится в 3 раза, увеличится срок службы, улучшится дизайн и эстетический вид. Кроме того при получении изделий из алюминиевых сплавов расход энергоносителей снизится в 2 раза, температура отходящих в окружающую среду также снизится в 1,5-2 раза. Это даёт основания для проведения научно-исследовательских работ по получению качественной структуры при плавке алюминиевых сплавов.

Во второй главе диссертации **«Разработка объектов и методики исследования качества алюминиевых сплавов»** приводятся обоснование выбора объектов и методов проведения экспериментальных исследований.

В качестве объектов исследования выбраны газовые алюминиево-плавильные печи, дуговые электрические печи, содержание водорода и оксида алюминия в алюминиевых сплавах марок АК7 и АК6.

В качестве метода определения содержания водорода в алюминиевом сплаве выбран метод вакуумной экстракции. При этом откачку воздуха до создания вакуума 10^{-2} мм рт. ст. осуществляли форвакуумным насосом, а откачку до остаточного разряжения в системе 10^{-6} - 10^{-7} мм рт.ст. осуществляли диффузионным. Изменение давления в системе определяли с помощью манометра Мак-Леода. Для проведения анализа образцы нагревались до температуры на 30-40 °С ниже линии солидус. Выделявшиеся из образцов газы перекачивались в аналитическую часть установки

посредством диффузионного насоса. Контроль за вакуумом осуществлялся вакуумметром ВТ-3. Содержание водорода в образце определялся по формулам, учитывающих изменение давления во время эксперимента, объём аналитической части установки, атмосферное давление, температуру окружающей среды и изменение давления манометра Мак-Леода. Газовая пористость сплава определялась по шкале пористости. При этом проводились сравнения количества пор в трёх различных квадратах размером 1 мм^2 со шкалой пористости и эталонной таблицей. Содержание количества оксида алюминия определяли фотометрическим методом и методом концентрации пиков. В первом методе очищенный образец весом $1,0 \text{ грамм}$ размещается в колбу объёмом 50 см^3 с реакционным раствором. При этом реакционная порция: 65 см^3 этилацетат, $2,0 \text{ грамм}$ калий брома и 7 см^3 бром. Раствор готовится при комнатной температуре. После растворения образца в колбу добавляется реакционный раствор в количестве 5 см^3 , и растворяется в течении $10-15$ минут при температуре $45-50 \text{ }^\circ\text{C}$. Оптическая плотность отфильтрованного раствора определялся пламенным фотометром ПФМ. Масса оксида алюминия выводилась из отношения к массе его образца. Для получения образцов использовали сплавы алюминия, выплавляемые в газовых шахтно-отражательных печах и графитовых электродуговых печах. Для контроля температур загружаемой шихты, жидкого расплава в ванне печи и температуры обработки дугой электродуговой печи применялись термо-электрические пирометры–ТХА. Отбирались образцы алюминиевых сплавов при температуре загружаемой шихты равной $20 \text{ }^\circ\text{C}$, $100 \text{ }^\circ\text{C}$, $200 \text{ }^\circ\text{C}$, $400 \text{ }^\circ\text{C}$ и $500 \text{ }^\circ\text{C}$, при обработке графитовыми электродами в камерах плавления и перегрева, с применением защитного флюса и без него. Обработка с помощью электрической дуги осуществлялась в камерах плавления и перегрева. Для каждого метода отбирались по 5 образцов. При отборе образцов для предотвращения дополнительного окисления применялись чайниковые ковши.

Микроструктура образцов изучалась металлографическим микроскопом МИМ–8 и электронным микроскопом РЭМ–200. Микрошлифы готовили традиционным методом. Для определения содержания примесей в алюминиевых сплавах применялись методы масс-спектрометрии и спектрального анализа.

В третьей главе диссертации «Разработка технологии плавки алюминиевых сплавов и усовершенствование конструкции газовой печи» приводятся исследовательские работы по изучению механизма диффундирования газовых и оксидных включений в структуру алюминиевых сплавов при плавке в газовых печах.

В первом этапе экспериментов использовали достижения по оптимизации конструкции газовых шахтно-отражательных печей. В частности, в разработках А.Д.Андреева, В.Б.Гогина, Колеманн, В.А.Грачева применялась технология использования тепла отходящих газов для нагрева шихты в шахтной части печи. В печах разработанных В.А.Грачевым, В.А.Моргуновым ва А.О.Шазимовым кроме использования противотока в

шахте печи для нагрева шихты, применялась двухкамерная конструкция ванны печи с огнеупорной разделяющей перегородкой. Жидкий расплав поступал в камеру перегрева через соединительные каналы выполненные в нижней части перегородки. В результате алюминиевый расплав в камере перегрева остаётся под защитным слоем окисной пленки, что предотвращает диффундирование водорода и окисных включений в жидкий расплав. Однако, при периодическом режиме плавки, температуру нагрева шихты контролировать не представляется возможным. Поэтому, для контроля температуры нагрева шихты и определения влияния температуры нагрева шихты на содержание водорода и окисных включений при проведении экспериментальных работ данной диссертации, в шахтную часть (1) газовой шахтно-отражательной печи установлена площадка (9) для нагрева шихты (13). Эта площадка загружает в печь шахту (7) нагретую до заданной температуры шихту с помощью загрузочного механизма (8) и шарниров (10). В камеру перегрева (4) жидкий металл передаётся через переходные каналы (15), выполненные в нижней части огнеупорной перегородки (5), что предотвращает разрушение целостности оксидной плёнки образовавшегося на поверхности жидкого расплава и диффундирования газовых включений образующихся в результате горения газа в горелках (2). Для отбора образцов из алюминиевого расплава рабочая камера (1) разделена ещё одной огнеупорной перегородкой (3) и переходными каналами (14). В первом этапе эксперимента, шихта загружаемая в шахту печи нагревалась до температуры 20, 100, 200, 400 и 500 °С. Для получения объективного результата эксперименты проводились по 5 раза с отбором проб для каждого раза по 5-7 тадан намуна олштук. Схема печи для проведения первого этапа эксперимента показана на 1-рисунке.

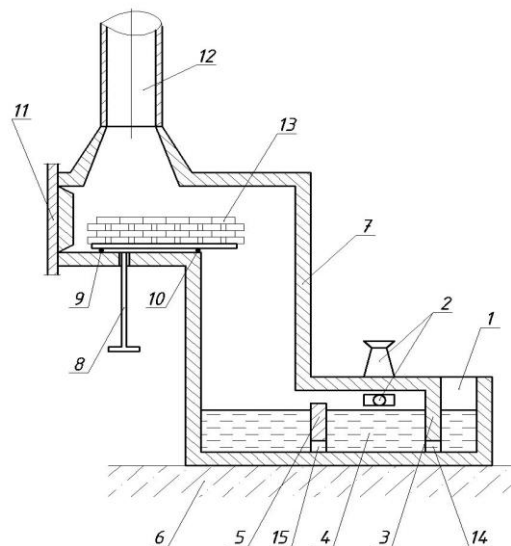


Рисунок 1. Экспериментальная газовая шахтно-отражательная печь.

1-камера для отбора образцов; 2- газовые горелки; 3,5-огнеупорные перегородки; 4- камераси перегрева; 6-подина; 7-шахта печи; 8-загрузочное устройство; 9-площадка нагрева шихты; 10-шарнирный механизм; 11-загрузочное окно шихты; 12-выхлопная труба в атмосфере; 13-загружаемая шихта; 14,15-переходные каналы.

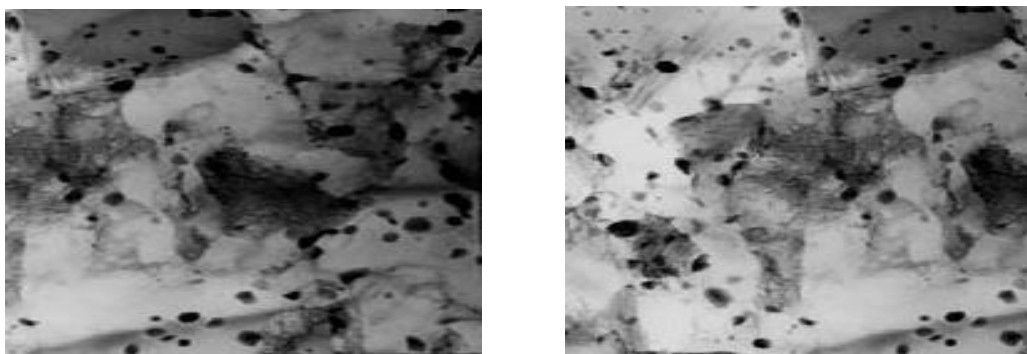


Рисунок 2. Структура сплава после нагрева шихты с 200 °С до 400 °С

а – структура сплава после нагрева шихты 200 °С;
б- структура сплава после нагрева шихты 400 °С.

Для определения влияний целостности оксидной плёнки на поверхности расплава, производили нагрев шихты до температуры 400 °С показал незначительные изменения структуры. Однако, при температурном интервале от 400 °С до 500 °С содержание водорода и оксида алюминия в расплаве резко снизилось (Рисунок 3).

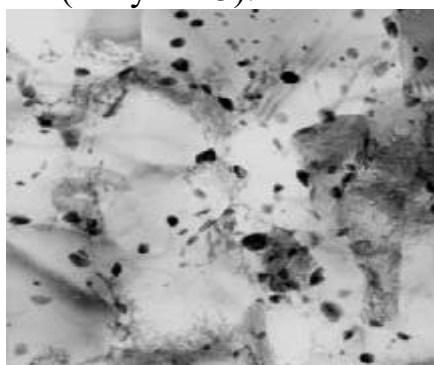


Рисунок 3. Структура сплава после нагрева шихты с 500 °С

Содержание водорода и окисных включений в расплаве зависит также и от среднего диаметра шихты, зависимость которого приведены в таблице 1.

Таблица 1.

т/р	Средний диаметр загружаемой шихты, мм	Содержание водорода в расплаве, см ³ /100 гр	Содержание оксида в расплаве, %
1	5-6	0,50-0,52	7-8
2	8-10	0,45-0,48	6-8
3	12-14	0,42-0,44	5-7
4	18-20	0,36-0,38	5-6
5	25-30	0,32-0,34	4-5

Это можно объяснить удалением адсорбированной влаги с поверхности шихты. Содержание водорода и оксида алюминия в расплаве после нагрева шихты до вышеуказанных температурах приведены в таблице 1.

Таблица 1

№ п/п	Температура шихты загружаемой в ванну, °С	Содержание водорода в расплаве, см ³ /100 гр	Содержание оксида алюминия в расплаве, %
1	20	0,60-0,62	10-12
2	100	0,55-0,60	8-10
3	200	0,52-0,55	7-8
4	400	0,40-0,42	5-6
5	500	0,33-0,35	4-5

Таблица 2

т/р	Время выдержки нагретой шихты, минут	Содержание водорода в расплаве, см ³ /100 гр	Содержание оксидов в расплаве, %
1	28-30	0,34-0,36	4-5
2	32-35	0,30-0,32	2-3
3	38-40	0,28-0,30	2-3
4	43-45	0,34-0,36	4-5
5	48-50	0,32-0,34	3-4
6	52-55	0,28-0,30	2-3
7	58-60	0,42-0,44	6-7
8	62-65	0,40-0,42	5-6

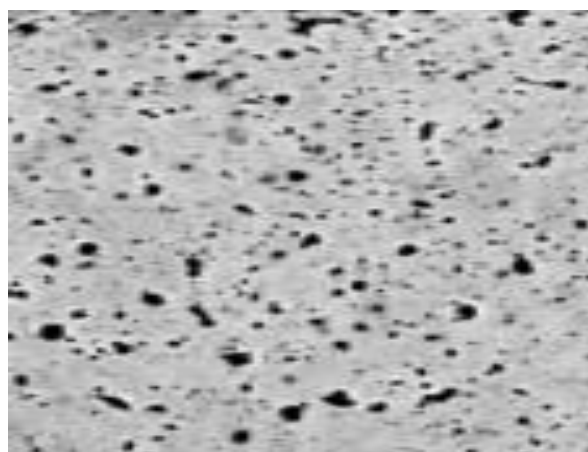


Рисунок 4. Структура алюминиевого сплава после плавки при комнатной температуре шихты.

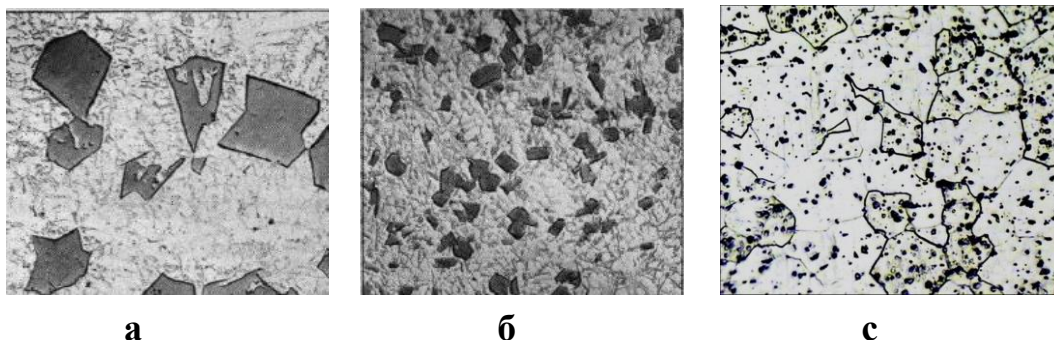


Рисунок 5. Структура алюминиевого сплава:

а – структура сплава до обработки; б – структура сплава после обработки при 660 °С углеродосодержащим флюсом; с - структура сплава после обработки при 2000 °С углеродосодержащим флюсом.

Таким образом, разработано технология плавки алюминиевых сплавов в газовых печах, которая позволяет предотвратить диффундирование водорода и кислорода, образующих газы поры и окисные включения в структуре расплава.

В четвёртой главе диссертации « **Разработка математической модели газовой печи и внедрение в производство**» разработана технология плавки алюминиевых сплавов, усовершенствована конструкция газовой плавильной печи для осуществления разработанной технологии, приведена математическая модель в зависимости от производительности и заданных параметров.

В производственных условиях используются печи различных производственных мощностей, и эффективность их эксплуатации также различная. Потому что коэффициент полезного действия печи, полезно используемое тепло, площадь поверхности ванны печи и расход теплоносителей зависят от производительности печи. Поэтому, создана математическая модель разработанной технологии и печи для определения её конструктивных параметров во взаимосвязи с показателями качества и производительности. При этом использовали тепловой баланс работы печи, то есть закон баланса количества вносимого тепла с количеством использованного тепла.

$$Q_{\text{внос}} = Q_{\text{исп}} \quad (1)$$

В свою очередь тепло вносимое в печь состоит из тепла от горения природного газа над жидким металлом и тепла вносимого в результате образования электрической дуги в жидком расплаве.

$$Q_{\text{внос}} = Q_{\text{газ}} + Q_{\text{дуг}} \quad (2)$$

Количество тепла от сгорания природного газа равна

$$Q_{\text{газ}} = Q_{\text{газ теп}} + Q_{\text{физ возд}} + Q_{\text{газ физ}} + Q_{\text{мет физ}} \quad (3)$$

В свою очередь тепло образующееся при сгорании природного газа пропорциональна расходу газа и теплоте сгорания газа [18]

$$Q_{\text{газ теп}} = Q_{\text{газ}} \times V_0 \quad (4)$$

Физическая теплота вносимая воздухом определяется:

$$Q_{\text{физ возд}} = V_0 \times \alpha_{\text{газ}} \times I_{\text{возд}} \quad (5)$$

Энтальпия воздуха зависит от температуры воздуха и определяется:

$$I_{\text{возд}} = 1,3 \times T_{\text{возд}} \quad (6)$$

Учитывая вышеприведённые показатели формула (5) примет вид:

$$Q_{\text{физ возд}} = V_0 \times \alpha_{\text{газ}} \times 1,3 \times T_{\text{возд}} \quad (7)$$

Физическое значение при сгорании газа равняется:

$$Q_{\text{газ физ}} = V_0 \times C_{\text{газ}} \times T_{\text{газ}} \quad (8)$$

Среднее значение теплоёмкости газа равно:

$$C_{\text{газ}} = 1,54 + 1,1 \times T_{\text{газ}} \quad (9)$$

Тепло вносимое металлом в печь определяется:

$$Q_{\text{мет физ}} = G \times I_{\text{мет}} \quad (10)$$

В свою очередь энтальпия определяется по следующей формуле [19]:

$$I_{\text{мет}} = 280,7 + 1,028 \times T_{\text{мет}} \quad (11)$$

Таким образом, общее количество тепла вносимое в печь определяется по следующей формуле:

$$Q_{\text{внос}} = Q_{\text{газ}} \times V_0 + V_0 \times \alpha_{\text{газ}} \times 1,3 \times T_{\text{возд}} + V_0 \times C_{\text{газ}} \times T_{\text{газ}} + Q_{\text{дуга}} + G \times (280,7 + 1,028 \times T_{\text{мет}}) \quad (12)$$

Тепло вносимое в печь расходуется на следующие составляющие:

1. Тепло выносимое продуктами сгорания [20]

$$Q_1 = V_0 \times V_{\text{вынос газ}} \times C_{\text{вынос газ}} \times T_{\text{вынос газ}} \quad (13)$$

$$V_{\text{вынос газ}} = 10,5 + 0,0038 \times T_{\text{вынос газ}} \quad (14)$$

$$C_{\text{вынос газ}} = 1,369 + 0,24 \times T_{\text{вынос газ}} \quad (15)$$

Для определения длины печи принимаем, что тепло равномерно распределяется по всей длине. В этом случае если учесть, что температура у передней стенки равна 1100 °С, а у задней стенки равна 950 °С, то зависимость температуры отходящих газов от длины печи будет иметь следующий вид:

$$T_{\text{вынос газ}} = T_{\text{газ}} - 150 \times B \quad (16)$$

Зависимость между длиной печи, её производительности и глубины ванны будет равна:

$$B = G \times 3600 / A \times H \times \rho \quad (17)$$

2. Потери тепла вследствие теплопроводности стенок свободных от жидкого расплава определяется по формуле:

$$Q_2 = (T_{\text{газ}} - T_{\text{окруж ср}}) / (1/\alpha_1 \times F_1 + S_1 / \lambda_1 \times F_1 + S_2 / \lambda_2 \times F_2 + S_3 / \lambda_3 \times F_3 + 1/\alpha_2 \times F_4) \quad (18)$$

3. Потери тепла вследствие химической и механической неполноты сгорания газа [20]:

$$Q_3 = V_0 \times (V_{\text{вынос газ}} \times 3,45 + 0,05 \times Q_{\text{газ н}}) \quad (19)$$

4. Потери тепла излучением из открывающихся рабочие окна и двери:

$$Q_4 = C_{\text{гшм}} \times (T_{\text{ур}} / 100)^4 \times F_3 \times \varphi_d \times (1 - \Psi) \quad (20)$$

5. Потери тепла уходящими продуктами сгорания через рабочие окна

$$Q_5 = V_{\text{раб окн}} \times I_{\text{прод сгор}} \times (1 - \Psi) \quad (21)$$

6. Потери тепла выносимые выпускаемым металлом:

$$Q_6 = C_{\text{гшм}} \times [(T_{\text{ур}} / 100)^4 - (T_{\text{м}} / 100)^4] \times F_{\text{м}} + \alpha_{\text{к}} \times (T_{\text{ур}} - T_{\text{м}}) \times F_{\text{м}} \quad (22)$$

Таким образом, общая математическая модель работы печи будет иметь вид:

$$\begin{aligned} & Q_{\text{газ}} \times V_0 + V_0 \times \alpha_{\text{газ}} \times 1,3 \times T_{\text{возд}} + V_0 \times C_{\text{газ}} \times T_{\text{газ}} + Q_{\text{дуга}} + \\ & + G \times (280,7 + 1,028 \times T_{\text{мет}}) = V_0 \times (10,5 + 0,0038 \times T_{\text{вынос газ}}) \times (1,369 + 0,24 \\ & \times T_{\text{вынос газ}}) \times T_{\text{вынос газ}} + (T_{\text{газ}} - T_{\text{окруж ср}}) / (1/\alpha_1 \times F_1 + S_1 / \lambda_1 \times F_1 + S_2 / \lambda_2 \times F_2 + S_3 / \lambda_3 \times \\ & F_3 + 1/\alpha_2 \times F_4) + V_0 \times (V_{\text{вынос газ}} \times 3,45 + 0,05 \times Q_{\text{газ н}}) + C_{\text{гшм}} \times (T_{\text{ур}} / 100)^4 \times F_3 \times \varphi_d \\ & \times (1 - \Psi) + V_{\text{раб окн}} \times I_{\text{прод сгор}} \times (1 - \Psi) + C_{\text{гшм}} \times [(T_{\text{ур}} / 100)^4 - (T_{\text{м}} / 100)^4] \times F_{\text{м}} + \\ & \alpha_{\text{к}} \times (T_{\text{ур}} - T_{\text{м}}) \times F_{\text{м}} \end{aligned} \quad (23)$$

По этой математической модели определены основные конструкционные параметры печей производительности от 50 кг/с до 2500 кг/с.

При изготовлении конструкции печи использовали конструкцию газовой шахтно-отражательной печи. В результате применения разработанной технологии обеспечилось вытеснение из структуры расплава до 40-43 % водорода и 55-58 % оксида алюминия. Это позволило получить качественную структуру алюминиевых сплавов с минимальным содержанием отрицательно влияющих водорода и алюминия.

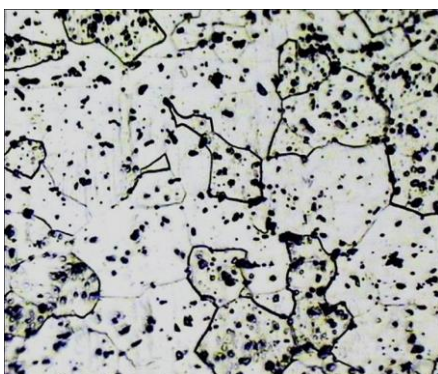


Рисунок 6. Структура алюминиевого сплава после высокотемпературной обработки при температуре 2000 °С -2100 °С.

Полученные результаты в диссертации позволили создать высокоэффективную технологию плавки алюминиевых сплавов в газовых печах. В заключении диссертация приведены результаты исследований, приведены основные выводы и практические предложения к применению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведённых исследований по докторской диссертации на тему «Разработка технологии плавки алюминиевых сплавов газовых печах» представлены следующие выводы:

1. На основе теплообменных процессов между твёрдой шихты и тепла отходящих газов в шахте плавильного агрегата разработана технология плавки алюминиевых сплавов. Это послужит для повышения эффективности газовых печей.

2. На основе изменения теплофизических свойств алюминия к поглощению газов при повышении температуры разработана технология предварительного нагрева шихты перед загрузкой в печь. Это может служить для обеспечения энергосбережения при плавке алюминиевых сплавов.

3. На основе характера теплообменного процесса между жидким расплавом и продуктов сгорания над жидкой ванной, разработана технология выдержки алюминиевых сплавов в камере перегрева. Это может служить при

разработке технологии выведения газов из расплав при плавке алюминиевых сплавов.

4. Разработана конструкция шахтной части газовой печи позволяющая увеличить теплообменный процесс между шихтой и продуктами сгорания природного газа. Это послужит для повышения эффективности печи.

5. Разработана технология порционной загрузки шихты в шахту печи позволяющую предотвратить захлаживание металла в камере плавления. Это послужит для повышения эффективности печи.

**RESEARCH COUNCIL TO AWARD THE DEGREE OF DOCTOR OF
SCIENCES 03/30.12.2019.T.03.04 UNDER TASHKENT STATE
TECHNICAL UNIVERSITY**

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

KAMALOV JAMALIDDIN SAYFITDINOVICH

**DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR MELTING ALUMINUM
ALLOYS IN GAS FURNACES**

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

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

Tashkent–2021

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

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

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

Scientific supervisor: **Turakhodjaev Nodir Djakhongirovich**
doctor of technical sciences, professor

Official opponents: **Nurmurodov Salokhiddin Dustmurodovich**
doctor of technical science, professor

Shazimov Anartay Oldjabaevich
candidate of technical science, dosent

Leading organization: **Fergana Polytechnic Institute**

The defense of the dissertation will be held « ____ » on « ____ » _____ in 2021 at the meeting of the Scientific Council DSc.03/30.12.2019.T.03.04 at the Tashkent State Technical University and National University of Uzbekistan (Address: 100095, Tashkent, University street, 2, tel/fax.: (99871) 227-10-32, E-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz).

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

The abstract of the dissertation is distributed on « ____ » on « ____ » _____ in 2021 protocol at the register № ____ dated « ____ » on « ____ » _____ in 2021.

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 scientific degrees,
The Doctor of Philosophy (phd)
of Technical Sciences

N.S.Dunyashin

Chairman of scientific seminar at scientific
council on awarding of scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

GENERAL DESCRIPTION OF DISSERTATION

The aim of the research work development of the design of a gas furnace for melting aluminum alloys.

The object of the research are aluminum alloys of AK7 and AK6 brands, hydrogen and aluminum oxide in the melt.

The scientific novelty of a research consists in the following:

on the basis of heat exchange processes between the solid charge and the heat of the exhaust gases in the shaft of the smelting unit, a technology for melting aluminum alloys has been developed;

- based on the change in the thermophysical properties of aluminum to the absorption of gases with an increase in temperature, a technology has been developed for preheating the charge before loading it into the furnace;

- based on the nature of the heat exchange process between the liquid melt and combustion products above the liquid bath, a technology for holding aluminum alloys in the overheating chamber has been developed;

- the design of the shaft part of the gas furnace has been developed, which allows to increase the heat exchange process between the charge and the products of natural gas combustion;

- the technology of batch loading of the charge into the furnace shaft has been developed, which allows to prevent chilling of the metal in the melting chamber.

Implementation of the research results. Based on the results of research on the development of technology contributing to the formation of a high-quality structure when melting aluminum alloys:

- The technology of smelting aluminum alloys in gas furnaces has been introduced at Dalvarzin Tamirlash Zavodi LLC (certificate of Uzagroservice JSC No. 09-03 / 1737 dated 19.12.2019). As a result of the application of the technology, the heat loss in the bath of the furnace decreased by 15-20%;

- the technology of preheating the charge before loading into the furnace was introduced at Dalvarzin Tamirlash Zavodi LLC (certificate of Uzagroservice JSC No. 09-03 / 1737 dated 19.12.2019). As a result of the application of the technology, the consumption of natural gas for smelting aluminum alloys decreased by 6-7%; decreased by 15-20%;

- the technology of holding aluminum alloys in the overheating chamber has been introduced at Dalvarzin Tamirlash Zavodi LLC (certificate of Uzagroservice JSC No. 09-03 / 1737 dated 19.12.2019). As a result of the application of the technology, energy losses during heating decreased by 8-10%.

The structure and volume of the thesis. The structure of the dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, the list of references, applications. The volume of the dissertation is 120 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Тураходжаев Н.Д., Шазимов А.О., Камолов Ж.С. Повышение качества алюминиевых сплавов, получаемых из газовых печей. //ТошДТУ хабарлари. – Ташкент, 2008. - № 2-3. - С. 193–195. (05.00.00. №16)

2. Н.Д.Тураходжаев, Ж.С.Камолов, Ф.Н.Тураходжаева, Ш.Б.Ташбулатов, Ш.М.Чоршанбиев Тепаловая схема плавки металла под слоем биологически активного флюса// Проблемы механики илмий-техникавий ва амалий журнали, 2018. №3.– С.75-79 (05.00.00., №6).

3. Н.Д.Тураходжаев, Ж.С.Камалов Математическая модель процесса плавки медных сплавов для обеспечения ресурсосбережения// Композицион материаллар илмий-техникавий ва амалий журнали, 2018. №3.– С.104-106 (05.00.00., №13).

4. N.Turahodjaev, J.S.Kamalov “Definity of modes of fusion of aluminium alloys with application of a protectibe gumboil” //ТошДТУ хабарлари 2018. №4.– С.79-80 (05.00.00., №16).

5. Н.Тураходжаев Ш.Ташбулатов, Ж.С.Камолов Переработки шлаков медеплавильного производства и алюминовых шлаков// Композицион материаллар илмий-техникавий ва амалий журнали, 2019. №4.– С.112-116 (05.00.00., №13).

6. Н.Д. Тураходжаев, Ж.С. Камалов, Т.Х. Турсунов, Ш.Н. Турахужаева, Н.И. Садикова, С.Ж. Тураходжаев, Н.Э. Искандаров. Метод получения качественной структуры при плавке алюминиевых композитов// Композицион материаллар илмий-техникавий ва амалий журнали, 2020. №3.– С.155-158 (05.00.00., №13).

7. Н.Д. Тураходжаев, Ж.С. Камалов, Т.Х. Турсунов, Ш.Н. Турахужаева, Н.И. Садикова, С.Ж. Тураходжаев. Математическая модель для расчёта теплообменных процессов при плавке металлов. Композицион материаллар илмий-техникавий ва амалий журнали, 2020. №3.– С.279-282 (05.00.00., №13).

II бўлим (II часть; II part)

8.Nodir Turakhodjaev, Mukhammadali Akramov, Shirinkhon Turakhujaeva, Sarvar Tursunbaev, Azizakhon Turakhujaeva, Jamaliddin Kamalov CALCULATION OF THE HEAT EXCHANGE PROCESS FOR GEOMETRIC PARAMETERS// Calculation of the Heat Exchange Process for Geometric Parameters// International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics, 2021, Issue 9, p.-90-95.

9. Турахужаева Ш.Н., Сайдахмедов Р.Х., Тураходжаев Н.Д., Камалов Ж.С. Теплообменный процесс плавки алюминиевых композитов. Международная

научно-техническая конференция «Композиционные материалы на основе техногенных отходов и местного сырья: состав, свойства и применение. 16-17 сентября 2021 года, Ташкент 2021. С.-130-132.

10. Турахужаева Ш.Н., Сайдахмедов Р.Х., Тураходжаев Н.Д., Камалов Ж.С. Состав флюса для плавки алюминиевых композитов. Международная научно-техническая конференция «Композиционные материалы на основе техногенных отходов и местного сырья: состав, свойства и применение. 16-17 сентября 2021 года, Ташкент 2021. С.-132-133.

11. Тураходжаев Н.Д., Камалов Ж.С., Турсунов Т.Х. Применение альтернативной энергии при плавке алюминиевых сплавов. Сборник материалов Международной онлайн конференции «Тенденция развития современной физики полупроводников: проблемы, достижения и перспективы», Uzps 2021.

12. Ш.Н. Турахужаева, Ж.С. Камалов, Т. Х.Турсунов. Применение алюминия для восстановительных процессов. Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы инновационного развития науки, образования и производства». Андижан, 2020. С.-101-104

13. Ш.Н. Турахужаева, Ж.С. Камалов, Т.Х. Турсунов. Повышение механических свойств алюминиевых сплавов. Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы инновационного развития науки, образования и производства». Андижан, 2020. С.-104-108

14. Камалов Ж.С., Таджиев Н.Х. Снижение газовых включений в расплаве методом предварительного нагрева шихты. Международная научная и научно-техническая конференция «Ресурсо- и энергосберегающие инновационные технологии в литейном производстве» 13-15 апреля, 2021, Ташкент. С.-349-351.