

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

ТОШКЕНТДАГИ ТУРИН ПОЛИТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ТЎРАХЎЖАЕВА ШИРИНХОН НОДИР ҚИЗИ

**Олинаётган қотишма таркибидаги газ қўшимчаларини камайтириш
орқали структурани яхшилаш учун алюминий қотишмаларини эритиш
технологияси ва флюс таркибини ишлаб чиқиш**

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

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

ТОШКЕНТ – 2021

Фалсафа доктори(PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси
Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Тўрахўжаева Ширинхон Нодир қизи

Олинаётган қотишма таркибидаги газ қўшимчаларини камайтириш орқали структурани яхшилаш учун алюминий қотишмаларини эритиш технологияси ва флюс таркибини ишлаб чиқиш.....3

Турахужаева Ширинхон Нодир қизи

Разработка состава флюса и технологии плавки алюминиевых сплавов для улучшения структуры за счет снижения газовых включений в получаемом расплаве23

Turakhujaeva Shirinkhon Nodir qizi

Development of a flux composition and technology for melting aluminum alloys to improve the structure by reducing gas inclusions in the resulting melt43

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works47

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

ТОШКЕНТДАГИ ТУРИН ПОЛИТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ТЎРАХЎЖАЕВА ШИРИНХОН НОДИР ҚИЗИ

**Олинаётган қотишма таркибидаги газ қўшимчаларини камайтириш
орқали структурани яхшилаш учун алюминий қотишмаларини эритиш
технологияси ва флюс таркибини ишлаб чиқиш**

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

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
АВТОРЕФЕРАТИ**

ТОШКЕНТ – 2021

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2021.2.PhD/Г2291 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкентдаги Турин политехника университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасининг (www.tdtu.uz) ва «Ziynet» Ахборот таълим порталида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар: Сайдахмедов Ровшан Ҳолходжаевич
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар: Зиямухамедова Умида Алижоновна
техника фанлари доктори, профессор

Атажанов Гапур Латибович
техника фанлари номзоди, доцент

Етакчи ташкилот: Фаргона политехника институти

Диссертация химояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.03/30.12.2019.Т.03.04 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил «22» декабрь соат 11⁰⁰ 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).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (232 рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент шаҳар, Олмазор тумани, Университет кўчаси 2-уй. Тел/факс.: (99871) 277-10-32).

Диссертация автореферати 2021 йил «09» декабрь куни тарқатилди.
(2021 йил «09» декабрдаги № 130 рақамли реестр баённомаси).




К.А. Каримов
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси,
техника фанлари доктори, профессор


Ш.Б. Ташбулатов
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби, техника
фанлари бўйича фалсафа доктори


Н.С. Дуняшин
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш қошидаги илмий семинар
раиси, техника фанлари доктори, профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда алюминий қотишмаларини суюқлантиришда ресурс ва энергия тежамкорлигини таъминлайдиган технологиялар ишлаб чиқиш алоҳида аҳамият касб этмоқда. Шу билан бирга алюминий қотишмаларини суюқлантиришда газ қўшимчалари билан тўйинишининг олдини олиш учун иссиқлик алмашинув жараёнини ҳисобга олган ҳолда эффектив технология ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади. Шу билан бир қаторда газлар билан алюминий қотишмалари тўйинишининг олдини олишга хизмат қилувчи флюс таркибини ишлаб чиқиш муҳим вазифа ҳисобланади. Бу борада дунёнинг қатор мамлакатларида, жумладан саноати ривожланган АҚШ, Канада, Германия, Франция, Корея, Япония, Россия, Украина ва Хитой давлатларида алюминий қотишмаларини суюқлантиришда сифатли қотишмалар олиш технологиясини яратиш ва татбиқ этиш ишлари юқори суръатларда амалга оширилмоқда ва буларга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда алюминий қотишмаларини суюқлантиришда технологияларни такомиллаштириш ва янги технологиялар яратиш, алюминий қотишмаларини суюқлантириш учун қўлланиладиган флюсларнинг янги ва самарали таркибларини ишлаб чиқиш, флюсни қотишма таркибига киритишнинг самарали технологияларини ишлаб чиқиш бўйича кенг қўламда илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан МДХ давлатларида, жумладан Россия, Украина ва Ўзбекистонда алюминий қотишмаларини суюқлантиришда ресурс тежайдиган технологияларни қўллаш муҳим аҳамият касб этмоқда. Шу билан бирга, алюминий қотишмаларини суюқлантиришда унинг кислород ёрдамида оксидланишининг ва газлар билан тўйинишининг олдини оладиган флюс таркибини ишлаб чиқиш зарур вазифа ҳисобланади.

Республикамизда алюминий қотишмаларини суюқлантириш технологиясини такомиллаштириш, қуйма усулда олинадиган алюминий деталларининг хизмат муддатини ошириш ва қотишма структурасида газ қўшимчаларини камайтиришни таъминлайдиган суюқлантириш флюсларининг таркибини ишлаб чиқиш юзасидан кенг қамровли чоратадбирлар амалга оширилиб, муайян натижаларга эришилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириши бўйича Ҳаракатлар стратегиясида жумладан «... макроиқтисодий барқарорликни мустаҳкамлаш ва юқори иқтисодий ўсиш суръатларини сақлаб қолиш, миллий иқтисодиётнинг рақобатбардошлигини ошириш, ... иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш»¹¹ бўйича муҳим вазифалар белгилаб берилган. Ушбу вазифаларни амалга оширишда, жумладан, суюқлантириш жараёнини такомиллаштириш, алюминий қотишмаларини

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони

эритишда қотишма таркибидаги газ қўшимчаларини камайтиришга хизмат қиладиган флюсларнинг арзон ва самарали таркибини ишлаб чиқиш муҳим аҳамият касб этмоқда. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ- 4947-сонли “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги Фармони, ЎзР Вазирлар Маҳкамасининг 2012 йилнинг 31 январидagi 22-сон «Нексия автомобилларининг алюминий қотишмаларидан ясалган генератор ва мотор кронштейнларини локаллаштириш»даги Қарорида, 2016 йил 26 декабрдаги ПҚ-2698-сон “2017-2019 йилларда тайёр маҳсулот турлар, бутловчи буюмлар ва материаллар ишлаб чиқаришни маҳаллийлаштириш истиқболли лойиҳаларини амалга оширишни давом эттириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги Қарори 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 устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот Республика фан ва технологиялар ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурстежамкорлик» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Дунёнинг етакчи олимлари алюминий қотишмаларини эритишнинг янги технологияларини яратиш ва мавжуд технологияларни такомиллаштириш, эритишда қўлланиладиган ҳимоя қобиғини янада самаралироқ таркибини ишлаб чиқиш, алюминий қотишмаларини эритиш учун ҳимоя қобиқларини қўллаш технологиясини ишлаб чиқдилар.

Калифорния (АҚШ) ва Жинан университети (Хитой) қўшма тадқиқот гуруҳи Min Zuo, Maximilian Sokoluk, Chezheng Cao, Jie Yuan, Shiqi Zheng, Xiaochun Li (Department of Mechanical and Aerospace Engineering, University of California Los Angeles, California), Min Zuo (School of Materials Science and Engineering, University of Jinan, Jinan, 250022, People’s Republic of China) алюминий қотишмаларининг хоссаларини яхшилаш борасида илмий-тадқиқот ишларини олиб бордилар ва қўшимча сифатида TiC (20 мкм) нанозарраларидан фойдаланиб, юқори эриш ҳароратига эгаллиги, юқори мустаҳкамлиги, иссиқда кенгайишининг паст коэффиценти ҳисобига механик хоссаларининг ошишига эришдилар (қаттиқлик 110HV дан 180HVга). Алюминий оксидининг эритмада пайдо бўлиши ва газ қўшимчаларининг эритмада тарқалишини аниқлаш устида Канада орлимлари Т.А. Utigard, R.R. Roy ва К. Friesen шуғулланиб бир канча тажрибалар ўтказганлар. Табиий газнинг ёниш маҳсулотлари сув буғини ўз ичига олиши ва сув билан бўлган реакциянинг муқаррарлигини ҳисобга олган ҳолда алюминий эритмаси юзасига сув буғининг таъсирини камайтириш орқали металл таркибидаги газ ғовакларининг миқдорини 6-8% га камайтиришга эришганлар. Буюк Британия ва Италия олимларидан ташкил топган гуруҳ, Annalisa Pola, Marialaura Tosci and Plato Karpanos, ярим қаттиқ металлни юқори иситиш тезлигида қайта ишлаш ва секин совутиш орқали қотишма структурасининг шарсимон ҳолатга

келишига сабаб бўлиши асосида механик хоссаларнинг яхшиланишига эришилган. Эритма намланишининг олдини олиш мақсадида Германия изланувчиси Jean Ducrocq эритма юзасидаги кўпикни доимий равишда олиш асосида ҳамда оксид қобик иссиқлик ўтказиш коэффицентини камайтиришини таъминлаш ҳисобига энерготежамкорликни 6-7% га оширишга эришган. Хитойлик тадқиқотчилар Zang Liguо, Van Wenhong, Ma Tao, Fan Jianhai, Wang Huilin, Hao Lirong, Chen Shao Long, Ma Mingming, Chjao Nana алюминий қотишмаларига ишлов беришда қўлланиладиган химоя қобиғининг натрийсиз таркибини ишлаб чиққанлар. Унинг таркиби калий фтороалюминат (15-25) (%), кальций фторид (5-15%), шувоқ тузи (10-25%), калий сульфат (10-25%), барий сульфат (5-15%), репон калий (15-30%) ва сувсиз алюминий хлорид (3-5%)дан иборат бўлган. Харбин университети олими Zongyan Chjan флюснинг янги таркиби учун патент олган. У калий хлорид (20-65% масса бўйича), натрий хлорид (20-65%), литий хлорид (1-20%), калий фторид (огирлиги бўйича 0,3 -5%) ва натрий гидросульфат (огирлиги бўйича 0,2-3%) эга таркиб ишлаб чиқган ва алюминий оксиди таркибидан алюминий металлининг ажралиш фоизини оширишга эришган.

МДХ мамлакатлари изланувчилари химоя флюсларини қўллашнинг самарадорлигини ошириш мақсадида қатор тадқиқотлар ўтказганлар. Беларусь Миллий техника университети олимлари С.П.Задруцкий, Г.А.Румянцева, Б.М.Немененок, И.А.Горбель алюминий қайта ишлаш самарадорлигини ошириш учун флюс таркибида карбонат қўшимчаларидан фойдаланганлар. Анъанавий таркибга эга флюсдан фойдаланиш натижасида эритиш жараёнининг технологик ва экологик шароитлари сезиларли даражада ёмонлашишини эътиборга олган ҳолда эритма массасининг 0,5% миқдоридида $13\% \text{KCl} + 55\% \text{NaCl} + 17\% \text{Na}_3\text{AlF}_6 + 10\% \text{Na}_2\text{CO}_3 + 5\% \text{CaCO}_3 * \text{MgCO}_3$ таркибидаги карбонат тузларидан фойдаланиш хлорид ва фторид эмиссиясининг сезиларли даражада камайишига ва чанг миқдорининг 20% гача камайишига эришилган. Россиялик олимлар, жумладан Самара миллий тадқиқот университети тадқиқотчилари С.В. Воронин ва П.С. Лобода ўзига хос механик хоссалари юқори бўлган, ғовак структурага эга алюминий қотишмаларини ишлаб чиқариш усулларини ишлаб чиққанлар. Покистон университети профессори Р.Набибуллаҳ денгиз чиғанокларидан флюс сифатида фойдаланиш бўйича тадқиқотлар олиб борган ва денгиз чиғанокларини майдалаб кукун ҳолатида куйма қолипида қўллаш натижасида эритманинг ушбу филтрдан ўтиши оқибатида нометалл ва газ қўшимчаларининг миқдорини 14-16% га камайтиришга эришган.

Ўзбекистон тадқиқотчилари доцент Э.Х.Туляганов, профессор Н.Д.Тураходжаев ва доцент Т.Х.Турсуновлар ўз тадқиқот ишларида электршлак печларида химоя қобиғи сифатида графит таркибли электродлар билан биргаликда 3-4 мм қалинликдаги синиқ шишалари (SiO_2 , CaO , Na_2O)дан фойдаланганлар. Ушбу технология натижасида углерод билан тўйиниш натижасида куймадаги газ қўшимчаларининг миқдорини 12-14% га камайтиришга эришилган. Профессор Ю.Н.Мансуров алюминий

қотишмаларини шибба ташкил этувчиларидан тозалаш технологиясини ишлаб чиқиши натижасида алюминий қотишмаларининг оқувчанлигини 7-8% га оширишга эришган.

Ҳимоя материаллари ва технологияларидан фойдаланиш натижасида алюминий қотишмаларини эритиш соҳасида эришилган катта ютуқларга қарамай, кўплаб ҳал қилинмаган муаммолар мавжуд. Масалан, шихта эритиш жараёнида газ қўшимчаларининг миқдорини минимал даражада сақлашни таъминлайдиган алюминий қотишмаларини эритиш учун флюс таркиби ишлаб чиқилмаган. Деярли барча тадқиқотларда флюс эритма ваннасининг юза қисмида ҳимоя қатлами сифатида ёки эритма таркибида дегазатор вазифасида қўлланилган. Тадқиқотларнинг асосий қисми металл ва атмосфера ўртасидаги физик-кимёвий жараёнларга қаратилган бўлиб, оксид қобикнинг яхлитлиги бузилиши натижасида оксид ва газ қўшимчаларининг эритма таркибига кириш жараёнлари ўрганилган. Эритма ва жараёнлар натижасида ҳароратнинг ўзгаришида таркибий қисмнинг хусусиятига бўлган таъсири ҳисобга олинмаган. Флюс таркибий қисмларининг эритма ва атмосфера билан ўзаро таъсири жараёнини компонентларнинг ўзаро таъсирини ҳисобга олган ҳолда ўрганиш бўйича тадқиқотлар олиб борилмаган, бу эса долзарб ва илмий-амалий вазифа ҳисобланади.

Тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари билан ўзаро боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкентдаги Турин техника университетининг ва Ўзбекистон-Япония ёшлар инновация марказининг илмий-тадқиқот ишлари режаларига биноан №2-18 рақамли «Алюминий қотишмаларини суюқлантиришда газ қўшимчаларини камайтириш технологиясини ишлаб чиқиш» мавзусидаги лойиҳа доирасида бажарилган (2018-2019 йй).

Тадқиқотнинг мақсади Алюминий қотишмаларини эритиш жараёнида ҳосил бўлган эритма таркибида газ қўшимчалари миқдорини камайтиришни таъминлайдиган флюс таркибини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқот вазифалари қуйидагидан иборат:

алюминий қотишмасини суюқлантириш учун унинг таркибида газ қўшимчаларини камайтиришга хизмат қиладиган флюс таркибини ишлаб чиқиш;

алюминий қотишмаларини суюқлантиришда флюсни қўллаш технологиясини ишлаб чиқиш;

алюминий қотишмасини ҳимоя флюси билан ишлов беришнинг иссиқлик режимини ишлаб чиқиш;

газ қўшимчаларининг алюминий қотишмасига сингишини камайтиришни таъминлайдиган флюсни қотишмага киритиш технологиясини ишлаб чиқиш;

суюқ алюминий қотишмасини печь ичида ва печдан ташқари флюс билан ишлов бериш технологиясини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида АЛ9 ва АК5М2 маркали алюминий қотишмалари олинган.

Тадқиқотнинг предмети сифатида алюминий қотишмаларини флюс остида эритиш натижасида газ ва оксид қўшимчалари билан тўйиниш жараёни олинган.

Тадқиқотнинг усуллари. Олинган қотишманинг миқдорий кўрсаткичларини ўрганишда оксид ва газ қўшимчаларининг миқдорий кўрсаткичлари экстракция усули билан аниқланган, қотишма таҳлили UV-VIS-NIR маркали оптик спектроскопия ёрдамида амалга оширилди; нурларнинг ўтиши асосида SEM-EDX маркали сканерлаш электрон микроскопи ёрдамида қотишманинг микро тузилиши ўрганилди; қотишманинг механик хоссалари ва структураси Empyrean Malvern Panalytical дифрактометри орқали ўрганилди, газ ғовакларини аниқлаш учун ғоваклик шкаласидан фойдаланилди, кимёвий таркибнинг лаборатория синовлари мураккаб сканерловчи электрон микроскоп (Carl Zeiss EVO-MA-10) ёрдамида амалга оширилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

- алюминий қотишмасини суюқлантириш учун унинг таркибида газ қўшимчаларини камайтиришга хизмат қиладиган флюс таркиби кимёвий элементларнинг кимёвий активлиги асосида ишлаб чиқилган;

- алюминий қотишмаларини суюқлантиришда флюсни қўллаш технологияси флюс ташкил этувчилари билан алюминий қотишмасининг ташкил этувчилари орасидаги кимёвий реакциялари асосида ишлаб чиқилган;

- алюминий қотишмасини ҳимоя флюси билан ишлов беришнинг иссиқлик режими флюс ташкил этувчиларининг кимёвий активлигининг ўзгариши асосида ишлаб чиқилган;

- газ қўшимчаларининг алюминий қотишмасига сингишини камайтиришни таъминлайдиган флюсни қотишмага киритиш технологияси печь атмосфераси билан суюқ қотишма орасидаги иссиқлик алмашинув жараёни асосида ишлаб чиқилган;

- суюқ алюминий қотишмасини печь ичида ва печдан ташқари флюс билан ишлов бериш технологияси суюқ қотишманинг физик ҳолати асосида ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

алюминий қотишмаларини суюқлантириш учун ишлаб чиқилган ҳимоя флюси газ қўшимчаларининг миқдорини 6-8% га камайтириш имконини берган;

флюснинг алюминий қотишмасига кириш технологияси қотишма таркибидан водородни чиқариш самарадорлигини 10-12 % га ошириш имконини берган;

алюминий қотишмасига ишлов беришнинг иссиқлик режими қотишманинг кислород ва водород билан тўйинишини 16-18% га камайтириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги аниқ қўйилган вазифа асосида олинган, алюминий қотишмасини флюс билан ишлов бериш технологик жараёнини ишлаб

чиқишда экспериментал тадқиқотларнинг кўплиги ва экспериментларни математик режалаштириш усулини кўллаб, экспериментлар натижаларининг математик асосда қайта ишлов берилиши замонавий техника ва технологиялардан фойдаланиш асосида аниқланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти алюминий қотишмасининг таркибий қисмлари билан флюснинг таркибий қисмларининг кимёвий реакциялари асосида алюминий қотишмаларини эритиш учун флюснинг янги таркибини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти эритма таркибидаги газ кўшимчаларининг камайиши ва қуйма маҳсулотлари сифатининг ошишини таъминлайдиган ишлаб чиқилган флюс таркибини жорий этиш натижасида олинадиган иктисодий самарадорликдан иборат.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Алюминий қотишмаларини суюқлантиришда олинадиган қотишма таркибидаги газ кўшимчаларини камайтириш ҳисобига структурани яхшилаш учун флюс таркибини ва технологияни ишлаб чиқишда олинган натижалар асосида қуйидагилар ишлаб чиқилди ва ишлаб чиқаришга жорий этилди:

- алюминий қотишмаларини эритиш учун флюс таркиби «UzAuto-Inzi» МЧЖ ҚКга жорий этилди («UzAuto» АЖнинг 06 сентябрь 2021 йилдаги №15/06-25-1565-сон маълумотномаси). Жорий этиш натижасида алюминий қотишмалари таркибидаги газ кўшимчаларининг миқдори 6-8% га камайган;
- алюминий қотишмаларини эритиш жараёнида флюс юклаш технологияси «UzAuto-Inzi» МЧЖ ҚКга жорий этилди («UzAuto» АЖнинг 06 сентябрь 2021 йилдаги №15/06-25-1565-сон маълумотномаси). Технологияни жорий этиш натижасида водород газининг эритма таркибидан чиқиб кетиш тезлиги 10-12% га ошган;
- алюминий эритмасини флюс билан ишлов беришнинг термик режими «UzAuto-Inzi» МЧЖ ҚКга жорий этилди («UzAuto» АЖнинг 06 сентябрь 2021 йилдаги №15/06-25-1565-сон маълумотномаси). Термик ишлов бериш режимини жорий этиш натижасида кислород ва водороднинг алюминий эритмасига сингиши 16-18% га камайган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертациянинг тадқиқот натижалари 12 та, шу жумладан 8 та халқаро ва 4 та республика конференциялари ва симпозиумларида муҳокамадан ўтган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича 40 та илмий иш чоп этилган. Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш учун тавсия этилган илмий ишларида 8 та мақола, 5 та Хорижий журналлар (1 та Scopus)да нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертациянинг таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 120 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқот мақсади ва вазифалари, объекти ва предметлари таснифланган, тадқиқотнинг Республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва асосий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Алюминий қотишмалари сифатини ошириш бўйича олиб борилган илмий-тадқиқот ишлар таҳлили**» деб номланган биринчи бобида саноатда шлакларни қайта ишлашнинг мавжуд технологиялари, шлак ҳосил бўлиш жараёнлари, шлакнинг физик-кимёвий хоссалари бўйича тадқиқотларга багишланган ишлар кўриб чиқилди, шунингдек, уларнинг қайта қўлланилиши бўйича муаммоларнинг ҳозирги ҳолати кўриб чиқилди.

Хорижий ва Республика олимлари томонидан алюминий ва унинг қотишмаларини флюс билан қайта ишлаш технологияси соҳасида олиб борилган илмий-тадқиқот ишлари ўрганилди ва таҳлил қилинди. Қаттиқ флюслар асосан хлорид ва фторид тузларининг аралашмаси бўлиб, уларнинг махсус хоссаларини таъминлайди. Асосан флюслар калий ва натрий хлоридлар аралашмасига асосланган бўлиб, улар паст ҳароратли (665°C) эвтектикани ҳосил қилади. Флюсларнинг яна бир кенг тарқалган таркибий қисми NaF бўлиб, у KCl ва NaCl билан учламчи эвтектика (607°C) ҳосил қилади. Бунда алюминийнинг эриш ҳарорати (Техник жиҳатдан тоза) $655\text{--}660^{\circ}\text{C}$ ни ташкил этади. Ишлаб чиқаришда алюминий қотишмаларининг эриш жараёни учун ҳимоя флюсларини ишлаб чиқариш муҳим ҳисобланади. Оддий ҳимоя флюси асосан $47,5\% \text{NaCl}$, $47,5\% \text{KCl}$ ва 5% фтор тузларидан ташкил топади. Паст эриш ҳарорати флюснинг оқувчанлик хусусиятини оширади. Яна бошқа ҳимоя флюсларининг асосини $\text{MgCl}_2\text{-KCl}$ тузлар аралашмаси ташкил қилади ва 424°C қуйи эвтектикани ҳосил қилади. Ёки 485°C ҳароратда эрийдиган карналлит ($\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl}$) тузидан иборат бўлади.

Юқоридаги ҳимоя флюслари юқори оқувчанликка эга ва эритма юзасида юпқа қатлам ҳосил қилади. Аммо магний тузлари қимматлиги боис уни асосан натрий элементи бўлмаган таркибли флюс таркибида 2% атрофида алюминий қотишмалари учун қўлланилади.

Кўриниб турибдики, диссертация ишида кўриб чиқилган, алюминий қотишмаларини эритиш жараёнида газ қўшимчаларининг минимумлигини таъминлайдиган флюс таркибини ишлаб чиқиш муаммоси етарлича ўрганилмаган.

Диссертациянинг «**Тадқиқот объектини танлаш ва методикасини ишлаб чиқиш**» деб номланган иккинчи бобида тадқиқот объектлари танлаб олинган, фойдаланилаётган материалларнинг асосий физик-кимёвий хоссалари, шунингдек, ўрганиш учун замонавий физик-механик, кимёвий ва

физик-кимёвий усуллар ва жихозлар (IR-спектроскопия, электрон микроскопия, заррачалар ҳажмий таҳлили)дан фойдаланганлик тўғрисида маълумотлар берилган.

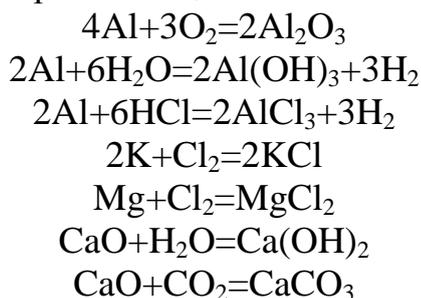
Тадқиқот иши натижасида олинган намуналар микротаҳлили сканерловчи электрон микроскоп (SEM-EDX)да амалга оширилган. Намуна юзаси бўйлаб элементлар жойлашуви ва чизиқ бўйлаб элементлар анализи график тарзда (автоматик ва қўлда) кўриб чиқилган. Усулнинг самарадорлиги тўлиқ оптик спектроскопия (ютилиш, узатиш, акс эттириш, кинетика, ранг) ёрдамида оптик таҳлил қилинган. Кўплаб материаллар - қаттиқ, плёнка, суюқ, газсимон, композит- Япония спектрометри (spectrophotometer shimadzu) ёрдамида акс эттирилган (185 дан 3300 нм гача бўлган спектрал диапазон такдим этади) 2 ёруғлик манбаи ва 3 та нурланиш детектори 0,1 нм дастурий таъминот uv-probe 2.00 (windows-7 prof / vista business) дунёдаги энг паст шовқин ва ёруғлик тарқалиш даражаси энг юқори сезувчанликни таъминлайди 0,00003 (~ mkg / L), энг юқори концентрация диапазони таминлабберади.

Диссертациянинг «**Алюминий қотишмаларини суюқлантиришда газ қўшимчаларини камайтиришни таъминлайдиган флюс таркибини ишлаб чиқиш**» деб номланган учинчи боби да флюс таркибини ишлаб чиқиш ва эритмага флюс юклаш технологияси бўйича олиб борилган тадқиқот натижалари келтирилган. Алюминий қотишмаларини эритишда газ қўшимчаларини камайтириш учун технологияни ишлаб чиқиш бўйича илмий-тадқиқот ишларини олиб боришдан олдин тажриба ишларини режалаштирамиз:

1. Алюминий қотишмаларида газ қўшимчаларига флюс таркибининг таъсирини аниқлаш учун илмий-тажриба ўтказиш.
2. Алюминий қотишмаларида газ қўшимчаларига флюс юклаш технологияси таъсирини аниқлаш учун илмий-тажриба ўтказиш.
3. Алюминий қотишмаларида газ қўшимчаларига шихтанинг эриш жараёнининг таъсирини аниқлаш учун илмий-тажриба ўтказиш.
4. Алюминий қотишмаларида газ қўшимчаларига печдан ташқари флюс билан ишлов беришнинг таъсирини аниқлаш учун илмий-тажриба ўтказиш.
5. Алюминий қотишмаларида газ қўшимчаларига маълум ҳарорат режими асосида флюс билан ишлов беришнинг таъсирини аниқлаш учун илмий-тажриба ўтказиш.
6. Алюминий қотишмаларининг газ қўшимчаларига ишлаб чиқилган флюс таркибини қўллаш самарадорлигини аниқлаш учун қиёсий таҳлил ўтказиш.

«UzAuto-Inzi» МЧЖ ККда ишлаб чиқариш шароитида алюминий қотишмаларида газ қўшимчаларининг сингишини камайтириш учун флюс таркибини ишлаб чиқиш бўйича илмий тадқиқотлар ўтказилди. Шу мақсадда корхонанинг қуёв цехида қуввати 2500 кг/соат бўлган газ печларидан фойдаланилди.

Турли кимёвий элементларнинг таъсирини ўрганиш мақсадида турли ҳароратда элементлар хоссаларини аниқлаймиз. Масалан, 20-24 С ҳароратда



Келтирилган маълумотлар асосида алюминий эритмаси таркибида водород ва литий элементларининг таъсирини кўриб чиқамиз. 3.1-расмда эритма таркибидаги водород миқдорининг литий миқдорига бўлган таъсири кўрсатиб ўтилган.



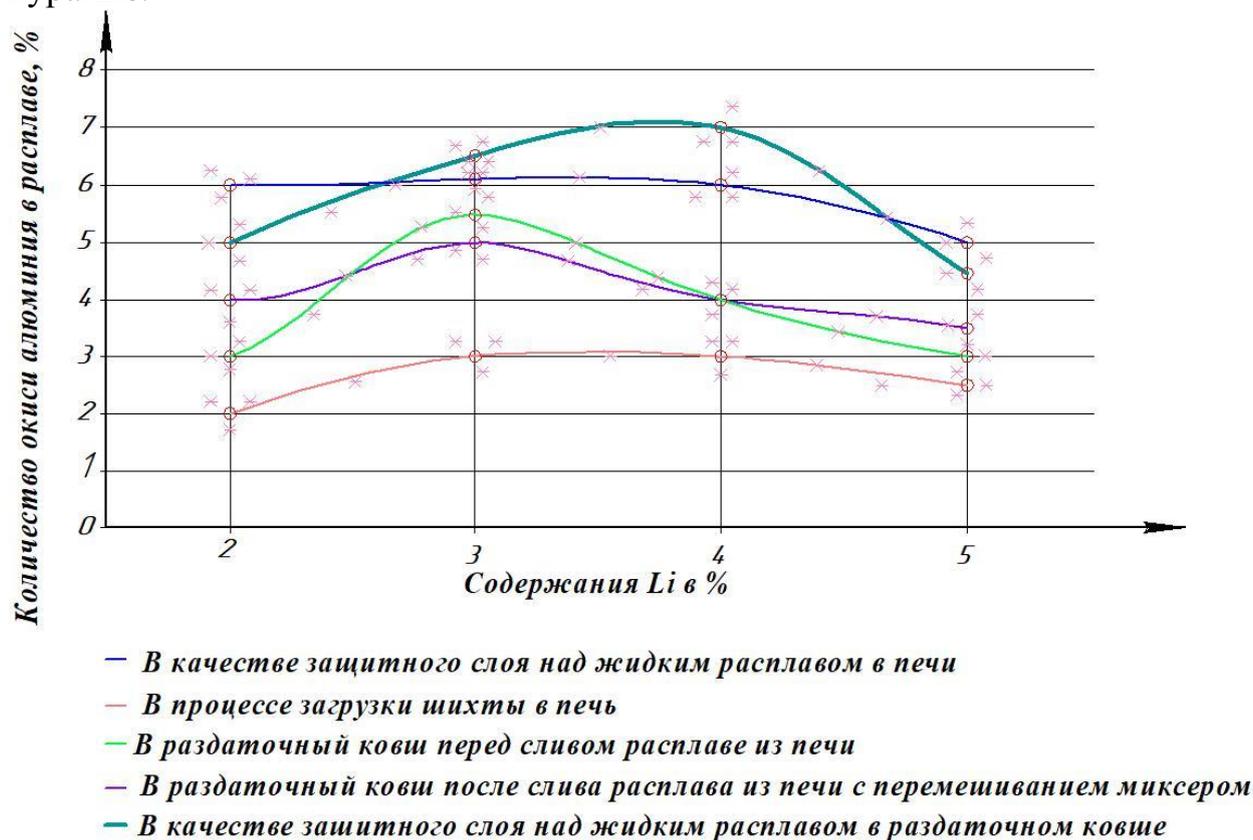
3.1- расм. Қотишма таркибидаги водород миқдорининг литий миқдорига боғлиқлик графиги.

Олинган натижалар асосида шундай хулоса қилиш мумкин: ковш ичидаги ва эритма юзасидаги ҳимоя қобиғида литий миқдорининг ошиши билан водород миқдори ошиб боради (3% гача) кейин камайиб боради.

Печь ичида ҳимоя қобиғи сифатида ҳамда шихта юклаш жараёнида водород миқдори деярли ўзгармайди. Бу ерда флюс шихта билан биргаликда юкланиш жараёнида водород миқдори паст бўлади.

Юқоридаги маълумотларга таянган ҳолда литий миқдорининг ўзгаришининг водород миқдорига таъсирини кўриб чиқамиз. 3.2-расмда эритма таркибидаги алюминий оксид миқдорининг литий миқдорига боғлиқлигини

кўрамиз.

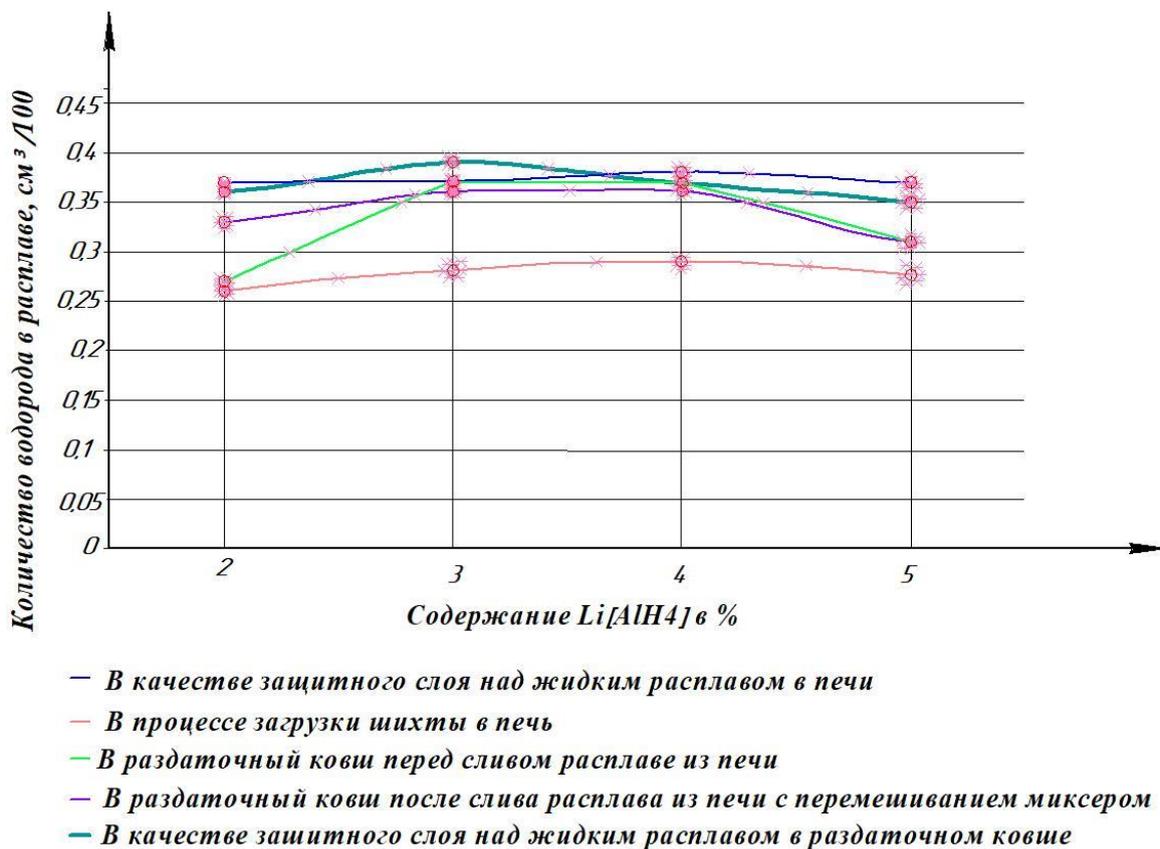


3.2- расм. Қотишма таркибидаги алюминий оксид миқдорининг литий миқдорига боғлиқлик графиги.

Олинган натижалар асосида қуйидаги хулосага келиш мумкин, флюс печь ичида эритма устига ҳимоя қобиғи сифатида юкланганда, литий миқдори 2% дан кейинги ҳолатда ўсиб бориши эритма таркибидаги алюминий оксид миқдорининг тенг равишда камайишига олиб келади. Флюс шихта билан биргалиқда печга юкланиш жараёнида, литий миқдорининг 4% гача кўпайиши эритма таркибидаги алюминий оксид миқдорининг ошишига олиб келади, 4%дан миқдори ошганида алюминий оксид эритма таркибидаги фоиз миқдори камайиб боради. Флюсни ковшга эритма юклаш жараёнидан олдин юкланган шароитда, литий миқдори 3% гача ошиши эритма таркибидаги алюминий оксид фоиз миқдорининг ошишига олиб келади, 3% да сўнг фоиз миқдор камаяди. Флюсни ковшга эритма юклангандан сўнг юклаб миксерлаш натижасида, литийнинг фоиз миқдори 3% бўлгунча эритма таркибидаги оксид алюминий миқдори ошиб боради ва 3% дан сўнг эритма таркибидаги алюминий оксид фоиз миқдори камайиб боради. Бу ерда ҳам оксид алюминий фоиз миқдори флюсни шихта билан биргалиқда юклаш технологиясида минимал бўлади.

Барча тажрибалар 5-7 мартадан ўтказилиб, ўрта натижалар олинган.

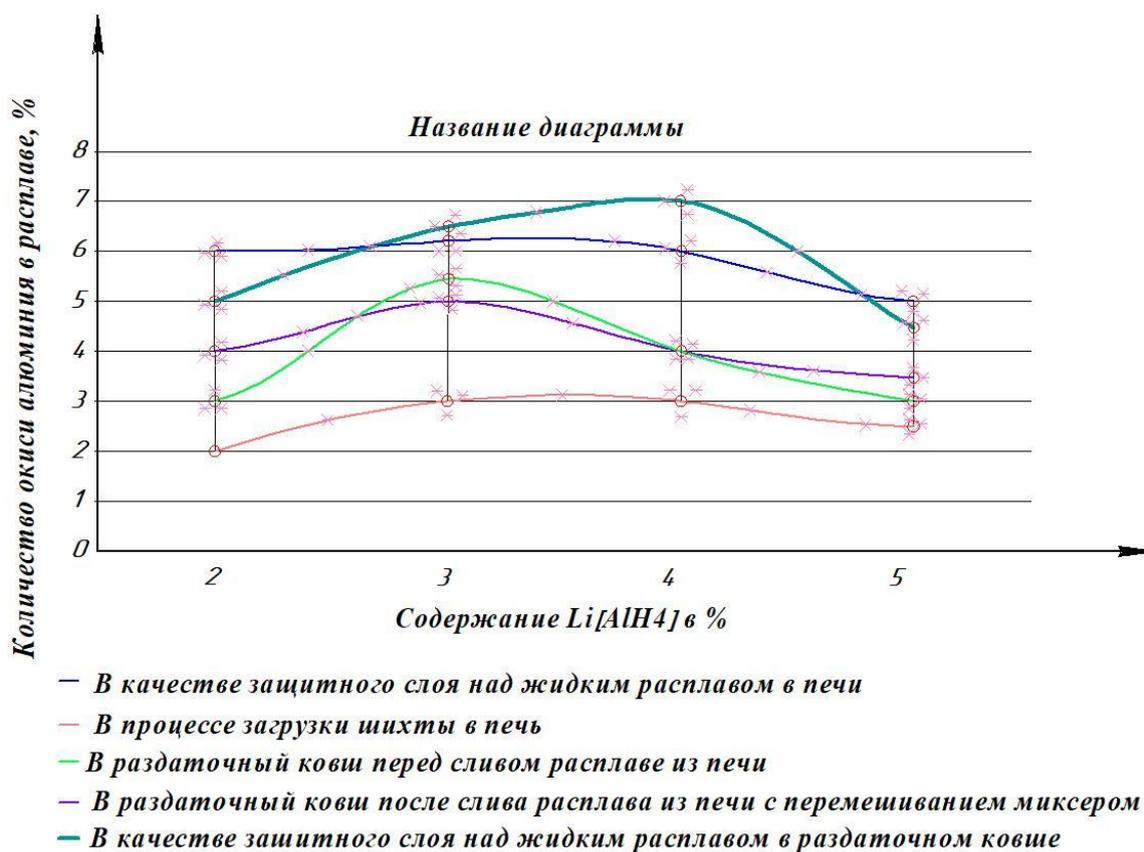
Флюс таркибида $Li[AlH_4]$ миқдорининг эритма таркибидаги водород миқдорига таъсирини ўрганиш учун тажриба ўтказилди. Тадқиқот натижалари 3.3-расмда келтириб ўтилган.



3.3- расм. Эритма таркибидаги водород микдорининг Li[AlH4] микдорига боғлиқлик графиги.

Олинган натижалар асосида куйидаги хулосага келиш мумкин, флюс печь ичида эритма устига химоя қобиғи сифатида юкланганда, Li[AlH4] микдори 4% дан кейинги ҳолатда ўсиб бориши эритма таркибидаги водород микдорининг тенг равишда камайишига олиб келади. Флюс шихта билан биргаликда печга юкланиш жараёнида Li[AlH4] микдорининг 4% гача кўпайиши эритма таркибидаги водород микдорининг ошишига олдиб келади, 4%дан микдори ошганида водород эритма таркибидаги фоиз микдори камайиб боради. Флюсни ковшга эритма юклаш жараёнидан олдин юкланган шароитда литий микдори 3,5% гача ошиши эритма таркибидаги водород фоиз микдорининг ошишига олиб келади, 3% да сўнг фоиз микдор камаяди. Флюсни ковшга эритма юклангандан сўнг юклаб миксерлаш натижасида, Li[AlH4] нинг фоиз микдори 3% бўлгунча эритма таркибидаги водород микдори ошиб боради ва 3% дан сўнг эритма таркибидаги водород фоиз микдори камайиб боради. Бу ерда ҳам водород фоиз микдори флюсни шихта билан биргаликда юклаш технологиясида минимал бўлади.

Флюс таркибида Li[AlH4] микдорининг эритма таркибидаги алюминий оксид микдорига таъсирини ўрганиш учун тажриба ўтказилди. Тадқиқот натижалари 3.4 -расмда келтириб ўтилган.



3.4- расм. Қотишма таркибидаги алюминий оксид микдорининг Li[AlH4] микдорига боғлиқлик графиги.

Диссертациянинг “Ишлаб чиқариш шароитида ишланмани жорий қилиш ва математик моделини яратиш” деб номланган тўртинчи бобида ишлаб чиқилган флюс таркибини синовдан ўтказиш натижалари ва ишлаб чиқарилаётган эритмага флюс юклаш технологияси, шунингдек, ҳарорат режимига боғлиқ ҳолда эритмани флюс билан қайта ишлаш жараёнининг математик модели келтирилган.

«UzAuto-Inzi» МЧЖ КК шароитида алюминий қотишмаларини эритиш учун ишлаб чиқилган флюс таркибини жорий этиш учун эритиш 2 режимда амалга оширилди. Биринчи режим янги ишланмадан олдин қўлланилган технологияга мувофиқ амалга оширилди, иккинчи режим уни қўллаш учун тегишли технология билан ишлаб чиқилган флюс таркиби ёрдамида амалга оширилди. Бу режимлар қиёсий таҳлил қилиниб, технологияларнинг ижобий ва салбий томонларини аниқлаш имконини берди. Амалдаги флюс таркиби ишлов бериш режимига тўғри келди.

Ҳимоя флюси сифатида 4.1-жадвалда келтирилган таркибдан фойдаланилди.

4.1- жадвал

№	Флюс қўлланилиши	Флюсинг оғирлик таркиби, %								
		NaCl	KCl	NaF	NaN	KN	CaO	CaCl ₂	Li	Li[AlH ₄]
1	Ҳимоя қатлами сифатида	40	20	5	3	3	10	15	2	2
2	Ҳимоя қатлами сифатида	40	30	5	3	3	10	5	2	2
3	Ҳимоя қатлами сифатида	50	20	3	2	3	8	7	3	4
4	Ҳимоя қатлами сифатида	50	30	3	3	2	2	2	5	3
5	Ҳимоя қатлами сифатида	40	30	5	5	5	4	2	5	4
6	Ҳимоя қатлами сифатида	40	30	2	2	2	12	7	1	4

Флюсинг шихта билан биргаликда юкланиши ва Li-2%; Li[AlH₄]-5% ва KCl-30% таркибли флюсдан фойдаланиш юқори самара берди. 4.2-жадвалда «UzAuto-Inzi» МЧЖ КК учун қўлланилган флюс натижалари келтириб ўтилган. Корхонанинг куёв цехида куввати 2500 кг/соат бўлган газ печларидан фойдаланилди.

4.2-жадвал

Флюс №	Эритмага қўшиш жараёни	Эритмада алюминий оксиди сони, %	Эритмада водород сони, см ³ /100 гр.
1	2	3	4
7	Печдаги суюқлик эритмаси устидаги химоя қатлами сифатида	5-7	0,38-0,40
7	Зарядни ўчоққа юклаш жараёни	2-5	0,28-0,32
7	Эритмани ўчоқдан тўкиб ташлашдан олдин тақсимловчи идишга солиш	3-5	0,30-0,36
7	Эритмани ўчоқдан тўкиб ташлангандан сўнг, миксер билан аралаштириб, тақсимловчи идишга солиш	5-6	0,33-0,35
7	Суюқлик устидаги химоя қатлами сифатида ўтказгичда эритиш	6-7	0,36-0,40

Солиштирма таҳлил учун эритиш жараёни флюс ёрдамида ва флюссиз ўтказилди. Флюс қўлланмаган ҳолатда атмосфера ва эритма бевосита таъсири натижасида, эритма таркибидаги оксид қўшимчалари 8-10% ни ташкил этди. Водород миқдори эса 0,64-0,66 см³ /100 гр ни ташкил этди. Флюс юклаш технологияси ва ишлов бериш режими самарадорликка таъсир қилади.

Тажрибадан аниқланган маълумотлар асосида шихтанинг суюқланишидан ҳосил бўлган қотишма таркибидаги водород ва оксид қўшимчалари миқдорининг юкланаётган шихта ўртача диаметрига боғлиқлик даражаси 1 - жадвалда келтирилган. Ушбу маълумотлар асосида қотишма таркибидаги водород ва оксид қўшимчаларининг миқдорий ўзгаришини математик моделлаштириш масаласини яъни математик функционал боғланишни аниқлаш ёрдамида тажриба натижаларини аналитик нуқтаи назардан аниқлаб, кейинги тажрибаларни ўтказмасдан математик баҳолашни кўриб чиқамиз. Тажриба натижасида олинган маълумотларни математик функция ёрдамида аниқлаш учун юқори даражали кўпхад коэффицентларини бир қийматли аниқлаш масаласига эквивалент ҳисобланади. Дастлаб юкланаётган шихтанинг ўртача диаметри ўзгариши билан қотишмадаги водород миқдорининг ўзгаришини аниқлаймиз. Жадвалда келтирилган тажрибадан аниқланган маълумотлар асосида қуйидагиларни келтириш мумкин:

$$\begin{aligned} d_1 &= 6\text{нм}, d_2 = 10\text{нм}, d_3 = 14\text{нм}, d_4 = 20\text{нм}, d_5 = 30\text{нм}; \\ \lambda_1 &= 0,52, \lambda_2 = 0,48, \lambda_3 = 0,44, \lambda_4 = 0,38, \lambda_5 = 0,34, \left[\frac{\text{см}}{100\text{г}} \right]. \end{aligned} \quad (1)$$

Алгебраик тенгламалар системаси қуйидагича бўлади:

$$\begin{cases} a_1 + 6a_2 + 36a_3 + 216a_4 + 1296a_5 = 0,52 \\ a_1 + 10a_2 + 100a_3 + 1000a_4 + 10000a_5 = 0,48 \\ a_1 + 14a_2 + 196a_3 + 2744a_4 + 38416a_5 = 0,44 \\ a_1 + 20a_2 + 400a_3 + 8000a_4 + 160000a_5 = 0,38 \\ a_1 + 30a_2 + 900a_3 + 27000a_4 + 810000a_5 = 0,34 \end{cases} \quad (2)$$

Ушбу бир жинсли бўлмаган алгебраик тенгламалар системасини Гаусс ёки Крамер усулида *Maple 13* дастурий пакети ёрдамида ечсак, қуйидаги ечимларга эга бўламиз:

$a_1 = 0,59312, a_2 = -0,01509, a_3 = 0,00069, a_4 = -0,00004, a_5 = 0$ бўлиб, шихтанинг ўртача диаметри ўзгариши билан қотишмадаги водород миқдорининг ўзгаришини характерлайдиган функция қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\lambda(d) = 0,59312 - 0,01509d + 0,00069d^2 - 0,00004d^3. \quad (3)$$

Ушбу ифода ёрдамида шихтанинг ўртача диаметри d нинг ўзгариши билан қотишмадаги водород миқдорини бир қийматли аниқлаш имконини

беради. Аниқлик даражасини кўрсатиш кўриш учун *Maple 13* дастуридан фойдаланамиз:

> restart;

>

>

```
solve( {x + 6·y + 36·z + 216·t + 1296·v = 0.52, x + 10·y + 100
      *z + 1000·t + 1002·v = 0.48, x + 14·y + 196·z + 2744·t
      + 38416·v = 0.44, x + 20·y + 400·z + 8000·t + 160000·v
      = 0.38, x + 30·y + 302·z + 303·t + 304·v = 0.34}, [x, y, z, t, v])
;
```

```
[[x = 0.5931250000, y = -0.01509375000, z = 0.0006906250000, t =
  -0.00003906250000, v = 7.81250000010-7]]
```

> $\lambda := 0.5931250000 - 0.01509375000d + 0.0006906250000d^2$
 $- 0.00003906250000d^3 + 7.812500000 \cdot 10^{-7} \cdot d^4;$

```
 $\lambda := 0.5931250000 - 0.01509375000d + 0.0006906250000d^2$   

 $- 0.00003906250000d^3 + 7.81250000010^{-7} d^4$ 
```

> eval(λ , d = 6);

0.5200000000

> eval(λ , d = 10);

0.4800000000

> eval(λ , d = 14);

0.4400000000

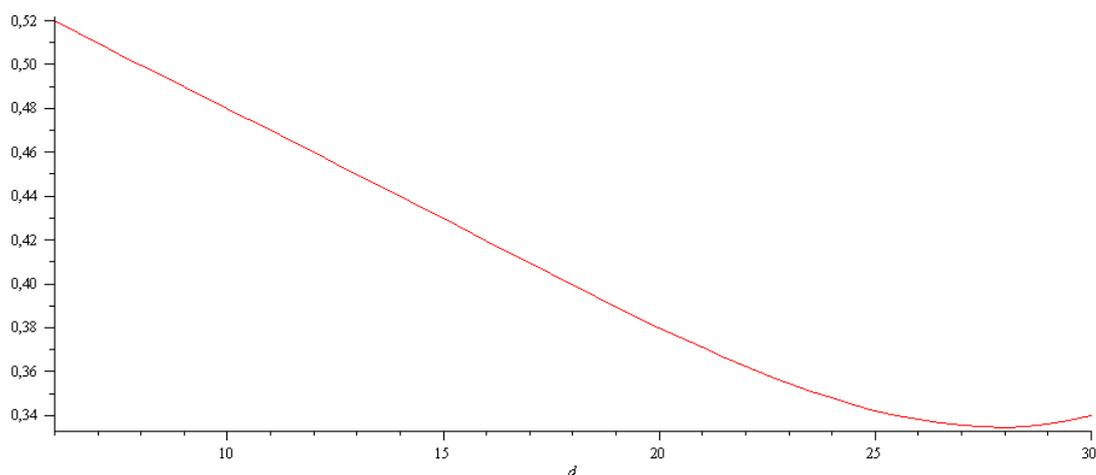
> eval(λ , d = 20);

0.3800000000

> eval(λ , d = 30);

0.3400000000

> plot(λ , d = 6..30);



4.1-расм. Шихтанинг ўртача диаметри d нинг ортиши билан қотишмадаги водород миқдорининг ўзгариши графиги

Энди юкланаётган шихтанинг ўртача диаметри ўзгариши билан қотишмадаги оксид қўшимчаларининг миқдорий ўзгаришини аниқлаймиз.

Жадвалда келтирилган тажрибадан аниқланган маълумотлар асосида қуйидагиларни келтириш мумкин:

$$\begin{aligned} d_1 &= 6\text{нм}, d_2 = 10\text{нм}, d_3 = 14\text{нм}, d_4 = 20\text{нм}, d_5 = 30\text{нм}; \\ \alpha_1 &= 7\%, \alpha_2 = 8\%, \alpha_3 = 7\%, \alpha_4 = 6\%, \alpha_5 = 5\%. \end{aligned} \quad (4)$$

Алгебраик тенгламалар системаси қуйидагича бўлади:

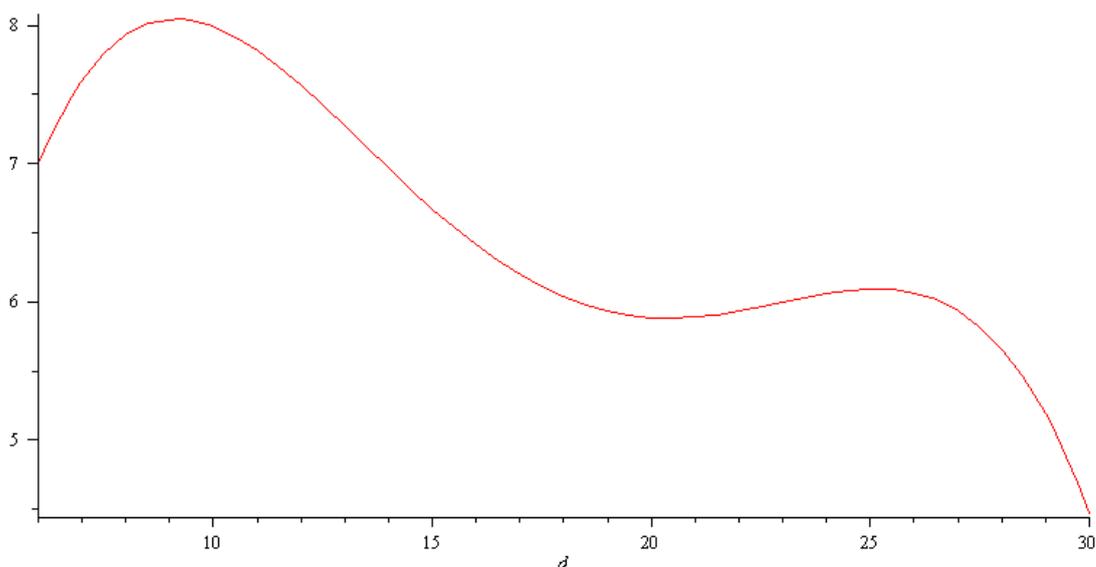
$$\begin{cases} a_1 + 6a_2 + 36a_3 + 216a_4 + 1296a_5 = 7 \\ a_1 + 10a_2 + 100a_3 + 1000a_4 + 10000a_5 = 8 \\ a_1 + 14a_2 + 196a_3 + 2744a_4 + 38416a_5 = 7 \\ a_1 + 20a_2 + 400a_3 + 8000a_4 + 160000a_5 = 6 \\ a_1 + 30a_2 + 900a_3 + 27000a_4 + 810000a_5 = 5 \end{cases} \quad (5)$$

Ушбу бир жинсли бўлмаган алгебраик тенгламалар системасини ҳам Гаусс ёки Крамер усулида Maple 13 дастурий пакети ёрдамида ечсак, тенгламанинг қуйидаги ечим илдизларига эга бўламиз: $a_1 = -6,1875$, $a_2 = 4,11801$, $a_3 = -0,40832$, $a_4 = 0,01603$, $a_5 = -0,00022$ бўлиб, шихтанинг ўртача диаметри ўзгариши билан қотишмадаги оксид қўшимчаларининг миқдорий ўзгаришини характерлайдиган функция қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\alpha(d) = -6.1875 + 4.11801d - 0.40832d^2 + 0.01603d^3 - 0.00022d^4. \quad (6)$$

Ушбу ифода ёрдамида шихтанинг ўртача диаметри d нинг ўзгариши билан қотишмадаги оксид қўшимчаларнинг миқдорий ўзгаришини бир қийматли аниқлаш имконини беради. Аниқлик даражасини кўрсатиш кўриш учун бу ерда ҳам Maple 13 дастуридан фойдаланамиз:

```
>  $\alpha := -6.1875 + 4.11801 \cdot d - 0.40832 \cdot d^2 + 0.01603 \cdot d^3 - 0.00022$ 
 $\cdot d^4;$ 
 $\alpha := -6.1875 + 4.11801d - 0.40832d^2 + 0.01603d^3 - 0.00022d^4$ 
> eval( $\alpha$ , d = 6);
6.99840
> eval( $\alpha$ , d = 10);
7.99060
> eval( $\alpha$ , d = 14);
6.96872
> eval( $\alpha$ , d = 20);
5.88470
> eval( $\alpha$ , d = 30);
4.47480
plot( $\alpha$ , d = 6..30);
```



4.2-расм. Шихтанинг ўртача диаметри d нинг ўзгариши билан қотишмадаги оксид қўшимчаларнинг миқдорий ўзгариши графиги

ХУЛОСА

«Алюминий қотишмаларини суюқлантиришда олинадиган қотишма таркибидаги газ қўшимчаларини камайтириш ҳисобига структурани яхшилаш учун флюс таркибини ва технологияни ишлаб чиқиш» мавзусидаги техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича ўтказилган тадқиқот натижалари қуйидагилардан иборат:

1. Кимёвий элементларнинг кимёвий фаоллиги асосида алюминий қотишмаларини эритиш учун флюс янги таркиби ишлаб чиқилган бўлиб, бу эритма таркибидаги газ қўшимчаларининг таркибини камайтириш имконини беради. Бу алюминий қотишмаларини турли печларда эритиш технологиясини ишлаб чиқиш учун хизмат қилади.
2. Флюс таркибий қисмлари ва алюминий қотишмасининг таркибий қисмлари ўртасида кимёвий реакциялар асосида алюминий қотишмаларини эритишда флюс қўллаш технологияси ишлаб чиқилган. Бу алюминий қотишмаларини суюқлантиришда ресурстежамкорликни таъминлаш имконини беради.
3. Флюс таркибий қисмларининг кимёвий фаоллиги ўзгариши асосида алюминий эритмасини ҳимоя флюси билан ишлов беришнинг термик режими ишлаб чиқилган. Бу алюминий эритиш жараёнида турли ҳароратда флюсдан унумли фойдаланиш имконини яратади.
4. Атмосфера ва суюқ қотишма ўртасидаги иссиқлик алмашинув жараёнлари натижасида газ қўшимчаларининг сингиши камайишини таъминлайдиган, алюминий эритмасига флюс юклаш технологияси ишлаб чиқилди. Бу ўз навбатида алюминий эритмасидаги газ қўшимчалари миқдорининг камайишини таъминлайди.
5. Суюқ эритманинг физик ҳолатига мос равишда, алюминий эритмасига печда ва печдан ташқари ишлов бериш технологияси ишлаб чиқилган.

Бу ишлаб чиқариш корхоналарининг шароитига мос равишда флюсдан самарали фойдаланиш учун хизмат қилади.

6. Флюс таркибининг дисперслигига боғлиқ ҳолда, флюс юклаш жараёнининг математик модели ишлаб чиқилди. Бу эритиш режимига боғлиқ ҳолда оптимал ҳажмдаги флюс танлаш имконини беради.
7. «UzAuto-Inzi» МЧЖ ҚК нинг ишлаб чиқариш шароитига мос равишда алюминий қотишмаларини эритиш учун флюс таркиби ва флюс юклаш технологияси жорий этилди. Бунинг натижасида тўрт миллиард тўрт юз эллик миллион иқтисодий самара олиш имконини берди.

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

ТУРИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ В ТАШКЕНТЕ

ТУРАХУЖАЕВА ШИРИНХОН НОДИР ҚИЗИ

**РАЗРАБОТКА СОСТАВА ФЛЮСА И ТЕХНОЛОГИИ ПЛАВКИ
АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СТРУКТУРЫ ЗА
СЧЕТ СНИЖЕНИЯ ГАЗОВЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ПОЛУЧАЕМОМ
РАСПЛАВЕ**

**05.02.01 –Материаловедение в машиностроении. Литейное производство.
Термическая обработка и обработка металлов давлением. Metallurgy 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 – 2021

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан под номером B2021.2.PhD/T2291

Диссертация выполнена в Туринском политехническом университете в Тапкенте.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета по адресу (www.tdtu.uz) и информационно-образовательном портале «Ziynet» по адресу (www.ziynet.uz).

Научный руководитель: Сайдахмедов Ровшан Ҳолходжаевич
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Зиямухамедова Умида Алижоновна
доктор технических наук, профессор

Атажанов Гапур Латибович
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация: Ферганский политехнический институт

Защита диссертации состоится «22» декабрь 2021 г. в 11⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.03.04 при Тапкентском государственном техническом университете. (Адрес: 100095, г. Тапкент, Алмазарский район, ул. Университетская, 2. Тел./факс:(99871) 227-10-32, e-mail: (tadqiqotchit@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Тапкентского государственного технического университета (зарегистрирована за № 232) (Адрес: 100095, г. Тапкент, Алмазарский район, ул. Университетская, 2. Тел./факс: (99871) 227-10-32).

Автореферат диссертации разослан «09» декабря 2021 года.
(реестр протокол рассылки № 130 от «09» декабря 2021 года).



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

Ш.Б.Ташбулатов
Учёный секретарь научного совета
по присуждению учёных степеней,
доктор философии по техническим наукам

Н.С.Дуняшин
Председатель Научного семинара при научном
совете по присуждению учёных степеней,
доктор технических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире на сегодняшний день разработка технологий по ресурсо-и энергосбережению при плавке алюминиевых сплавов приобретает особую важность. Ресурсосбережение сплавов при плавке алюминиевых сплавов имеет особую значимость в виду особенностей теплообменных процессов, при которых происходят насыщение сплавов газовыми и неметаллическими включениями. В связи с этим разработка защитных флюсов для снижения газовых и других неметаллических включений, оптимизация процесса плавки и повышение качества получаемых отливок из алюминиевых сплавов является одной из важных задач современности. В этом направлении во многих развитых странах, включая США, Канаду, Германию, Францию, Корею, Японию, Россию, Украину и Китай уделяется особое внимание снижению газовых и других неметаллических включений в расплаве из алюминиевых сплавов.

Во всем мире проводятся целевые научно-исследовательские работы по созданию новых и усовершенствованию существующих технологий плавки алюминиевых сплавов, разработка новых более эффективных составов защитного флюса, применяемых при плавке, разработке технологии введения защитных флюсов для плавки алюминиевых сплавов. В странах СНГ, в том числе России, Украине и Узбекистане разрабатывают новые технологии для повышения качества расплавов получаемых при плавке алюминиевых сплавов. В этом направлении приобретает особое значение проведение научных исследований по разработке новых составов защитных флюсов, позволяющих предотвратить окисление алюминия кислородом и насыщения расплава газовыми включениями.

В Республике Узбекистан ведутся исследовательские работы по усовершенствованию технологий плавки алюминиевых сплавов, а также составов защитных флюсов для плавки алюминиевых сплавов, позволяющих повысить качество расплава при плавке. Кроме этого проводятся объемные исследования как повышение эффективности ведения плавки, так и применение новых защитных материалов и конструкций для обеспечения этих технологий. Ввиду этого, необходимо повысить приоритет проводимых научно-исследовательских работ по разработке эффективных составов защитных флюсов, повышению эффективности применения флюсов при плавке широко применяемых в производстве алюминиевого сплава.

В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 годах определены задачи, включая «... укрепление макроэкономической стабильности и сохранение высоких темпов роста экономики, повышение ее конкурентоспособности, ... сокращение энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство ресурсо-и энергосберегающих технологий»². Для выполнения данных задач,

² №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

в частности для обеспечения качества расплава при плавке алюминиевых сплавов, первоначально важной задачей считается разработка новых составов защитных флюсов и технологии введения плавки с применением этого флюса. Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», в Постановлениях № ПП-2698 от 26 декабря 2016 года «О мерах по дальнейшей реализации перспективных проектов локализации производства готовых видов продукции, комплектующих изделий и материалов на 2017-2019 годы», № ПП-3117 от 7 июля 2017 года «О мерах по дальнейшему развитию научно-технической базы в сфере сельскохозяйственного машиностроения», № ПП-3682 от 27 апреля 2018 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования основным приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. Ведущие учёные мира разработали различные технологии по созданию новых и усовершенствованию существующих технологий плавки алюминиевых сплавов, разработки новых более эффективных составов защитного флюса применяемых при плавке, технологии введения защитных флюсов для плавки алюминиевых сплавов.

Совместная исследовательская группа Университета Калифорния (США) и Университета Жинан (Китай) Min Zuo, Maximilian Sokoluk, Chezheng Cao, Jie Yuan, Shiqi Zheng, Xiaochun Li (Department of Mechanical and Aerospace Engineering, University of California Los Angeles, California), Min Zuo (School of Materials Science and Engineering, University of Jinan, Jinan, 250022, People's Republic of China) работали по улучшению качества алюминиевого сплава, где применяли наночастицы TiC (20 мкм) и достигли повышению механических характеристик (Твердость от 110 HV до 180 HV) благодаря их высокой температуре плавления, высокой жесткости, высокой твердости, хорошей термической стабильности и низкому коэффициенту теплового расширения. Для изучения процесса образования оксидов алюминия и диффундирования газов в расплав ученые Канады Т.А. Utigard, R.R. Roy и К. Friesen провели ряд экспериментов, которые более наглядно показывают процесс образования окислов. Так как продукты сгорания природного газа имеют в своём составе пары воды, во всех газовых печах эта реакция неизбежна, предотвращение воздействий паров воды на поверхность алюминиевого расплава позволило снизить газосодержание металла на 6-8 %. Группа ученых из Великобритании и Италии Annalisa Pola, Marialaura Tossi

and Plato Kapranos усовершенствовали технологию получения алюминия путём обработки полутвердого металла с обработкой при высокой скорости нагрева и медленного охлаждения приводящий к сферообразной структурой сплава что в итоге привело к улучшению механических свойств. Для уменьшения смачивания оксидных каркасов захваченным алюминием ученный из Германии Jean Ducrocq предложил регулярного снятие с поверхности вплаваемого алюминия пена, с целью уменьшения энергозатраты за счет удаления оксида алюминия с поверхности, так как окисной слой ухудшает теплопередачи на глубину расплаваемой ванны. Китайские исследователи Цзанг Лиго, Ван Вэньхун, Ма Тао, Фань Цзяньхай, Ван Хуэйлинь, Хао Лижун, Чэнь Шао Лонг, Ма Минмин, Чжао Нана разработали безнатриевую добавку флюса для алюминиевых сплавов, его компонента представляет собой фторалюминат калия(15-25%), фторид кальция (5-15%), соль полыни(10-25%), сульфат калия(10-25%), сульфат бария(5-15%), Репон К(15-30%) и безводный хлорид алюминия(3-5%). Ученный из Харбинского университета Цзунъян Чжан получил патент на состав флюса хлорид калия (20-65 % по массе), хлорид натрия(20-65 % по массе), хлорид лития(1-20 % по массе), фторид калия(0,3-5 % по весу) и гидросульфат натрия(0,2-3 % по весу), эффективно предотвращающей окисление алюминия в процессе плавки алюминия и увеличивает выход алюминия.

Учёными стран СНГ проведены важные исследования по обеспечению эффективности использования защитных флюсов. С.П.Задруцкий, Г.А.Румянцева, Б.М.Немененок, И.А.Горбель из Беллорусского национального технического университета использовали карбонатных флюсов для повышения эффективности при переработке алюминия. При использовании традиционного флюса заметно ухудшаются технологические и экологические условия плавки. С применением карбонатного флюса составом 13% KCl+ 55% NaCl+ 17%Na₃AlF₆+ 10%Na₂CO₃+ 5%CaCO₃*MgCO₃ в количестве 0,5% от массы расплава был получен результат значительно сниженными выбросы хлоридов и фторидов и снизились выбросы пыли почти на 20%. Ученые России С.В. Воронин, П.С. Лобода из Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва разработали способы получения алюминия с наиболее оптимальной пористой структурой с высокими удельными механическими свойствами и высокой весовой эффективностью. Профессор Пакистанского университета Р.Набибўллах проводил исследовательские работы по применению морских ракушек в качестве флюса. Размельчив морских ракушек он расположил порошкообразную эту массу на чашу литейной формы. Проходя через этот фильтр, жидкий расплав рафинировался от неметаллических и газовых включений. В результате такой обработки содержание газов в отливках снизилось на 14-16%. Исследователи Узбекистана доцент Э.Х.Туляганов, профессор Н.Д.Тураходжаев и доцент Т.Х.Турсунов в своих исследовательских работах использовали в качестве

флюса битое стекло толщиной 3-4 мм (SiO_2 , CaO , Na_2O) в электрошлаковой печи с графитовым электродом. В результате применения этого материала в электрошлаковой печи, где он насыщается углеродом из графитового электрода, содержание газовых включений в отливках снизилось на 12-14 %. Профессор Ю.Н.Мансуров разработал технологию очистки алюминиевых сплавов от состоящих футеровки, что позволило повысить жидкотекучесть алюминиевого расплава на 7-8%.

Несмотря на большие достижения исследований в области плавки алюминиевых сплавов с применением защитных материалов и технологий, существует немало нерешенных проблем. Например, не разработан эффективный состав флюса для ведения плавки алюминиевых сплавов обеспечивающая минимальное количество газовых включений при оплавлении шихты. Все исследования проводились в основном флюсами только на поверхности жидкой ванны как защитный слой или в расплаве как дегазатор. Основные исследовательские работы проводились над физико-химическими процессами между металлом и атмосферой печи, исследовались процессы диффузирования водорода и окисных включений за счёт нарушения целостности окисной плёнки над жидкой ванной. Не были учтены изменения характера взаимодействия элементов при разных температурах перегрева расплава. Не проводились исследования по изучению процесса взаимодействия составляющих флюса с расплавом и атмосферой с учетом взаимодействия составляющих, что является актуальной и научно-практической задачей.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего образовательного учреждения или научно-исследовательскими институтами, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планами научно-исследовательских работ Туринского технического университета в Ташкенте в рамках проектов по темам №2-18 от 01 января 2018 года «Разработка технологии плавки и заливки в литейные формы алюминиевых сплавов с целью снижения пористости отливок и потерь металла на угар» (2018–2019).

Цель исследования состоит в разработке составов флюса для плавки алюминиевых сплавов для снижения содержания газовых включений в получаемом расплаве.

Задачи исследования:

разработка нового состава флюса для плавки алюминиевых сплавов позволяющий снизить содержание газовых включений в расплаве;

разработка технологии применения флюса при плавке алюминиевых сплавов;

разработка теплового режим обработки алюминиевого расплава защитным флюсом;

разработка технологии введения флюса в алюминиевый расплав обеспечивающей снижение диффузирования газовых включений;

разработка технологии печной и внепечной обработки алюминиевого расплава защитным флюсом.

Объектом исследования являются алюминиевые сплавы марки АЛ9 и АК5М2.

Предметом исследования является процесс насыщения расплава газовыми и окисными включениями при плавке с применением защитного флюса.

Методы исследований. При изучении количественных показателей получаемого сплава использовались аналитические методы определения количественных показателей окисных и газовых включений методом экстракции, анализ сплава проводился с помощью оптической спектроскопии марки UV-VIS-NIR; микроструктура сплава изучалась с помощью сканирующего электронного микроскопа марки SEM-EDX на основе проходимости лучей; механические свойства и структура сплава изучалась с помощью диффрактометра Empyrean Malvern Panalytical, для определения газовой пористости применялась шкала пористости, лабораторные испытания химического состава проводились с применением комплексного сканирующего электронного микроскопа (Carl Zeiss EVO-MA-10).

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- на основе химических активностей составляющих химических элементов, разработан новый состав флюса для плавки алюминиевых сплавов позволяющий снизить содержание газовых включений в расплаве;
- на основе химических реакций в жидком расплаве между составляющими флюса и составляющими алюминиевого сплава, разработана технология применения флюса при плавке алюминиевых сплавов;
- на основе изменения химической активности составляющих флюса, разработан тепловой режим обработки алюминиевого расплава защитным флюсом;
- на основе теплообменных процессов между атмосферой печи и жидким расплавом, разработана технология введения флюса в алюминиевый расплав, обеспечивающая снижение диффузирования газовых включений;
- в зависимости от физического состояния жидкого расплава, разработана технология печной и внепечной обработки алюминиевого расплава защитным флюсом.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработанный состав защитного флюса для плавки алюминиевых сплавов позволяет снизить содержание газовых включений в расплаве на 6-8 %;

разработанная технология введения флюса в расплав позволяет повысить эффективность удаления водорода из расплава на 10-12 %;

разработанный тепловой режим обработки алюминиевого расплава позволяет снизить насыщение расплава кислородом и водородом на 16-18 %.

Достоверность результатов исследования основывается на данных статистической обработки результатов экспериментных исследований, все

полученные лабораторные технологические параметры в процессе проведения экспериментов и полупромышленных испытаний производились с помощью аттестованных измерительных приборов и оборудования, применением современных методов и устройств для изучения результатов исследовательских работ (оптическая спектроскопия UV-VIS-NIR, диффрактометр Empyrean Malvern Panalytical, сканирующий электронный микроскоп Carl Zeiss EVO-MA-10).

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в разработке нового состава флюса для плавки алюминиевых сплавов на основе химических реакций, составляющих флюса с составляющими алюминиевого сплава.

Практическая значимость результатов исследования заключается в экономической эффективности от внедрения разработанного состава флюса обеспечивающего снижение газовых включений в расплаве и повышение качества получаемых отливок.

Внедрение результатов исследования. На основании полученных результатов по разработке состава флюса для плавки алюминиевых сплавов разработаны и внедрены в производство:

состав флюса для плавки алюминиевых сплавов внедрен на СП ООО «UzAuto-Inzi» (справка №15/06-25-1565 «UzAuto» от 06 сентября 2021 года). В результате внедрения нового состава флюса газосодержание в алюминиевом расплаве снизилось на 6-8 %;

технология введения флюса в алюминиевый расплав внедрен на СП ООО «UzAuto-Inzi» (справка №15/06-25-1565 «UzAuto» от 06 сентября 2021 года). В результате внедрения технологии скорость удаления водорода из расплава увеличилась на 10-12 %;

тепловой режим обработки алюминиевого расплава флюсом внедрен на СП ООО «UzAuto-Inzi» (справка №15/06-25-1565 «UzAuto» от 06 сентября 2021 года). В результате внедрения теплового режима обработки, диффундирование кислорода и водорода в алюминиевый расплав снизилось на 16-18 %.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования диссертации были обсуждены на 12 научно-практических конференциях, в том числе на 8 международных и 4 республиканских конференциях и симпозиумах.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано всего 40 научных работ, в том числе 5 статьи в зарубежных журналах (1 в журнале Scopus), 8 статей в журналах, рекомендованных опубликованию основных научных результатов докторских диссертаций ВАК Республики Узбекистан (республиканские журналы).

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

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность и востребованность проведенного исследования, его цель и задачи, характеризуются его объект и предмет, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии Республики Узбекистан, излагаются научная новизна и практическая значимость полученных результатов, даются сведения о опубликованных работах по результатам исследования и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Анализ научно-исследовательских работ проводимых для повышения качества алюминиевых сплавов»** проведен обзор работ, посвященных исследованиям, существующим технологиям переработки производственных шлаков, процессов шлакообразования, физико-химических свойствах шлака, а также, современное состояние проблем по их утилизацию.

Изучены и проанализированы проведенные исследовательские работы зарубежных и республиканских ученых в области технологии обработки алюминия и его сплавов флюсами. Твердые флюсы являются в основном смесью хлористых или фтористых солей с добавками, которые дают им специальные свойства. Большинство флюсов основаны на смеси KCl и $NaCl$, которые образуют низкотемпературную эвтектику ($665\text{ }^{\circ}C$). Другим частым ингредиентом флюсов является NaF , который образует тройную эвтектику с KCl и $NaCl$ с точкой плавления $607\text{ }^{\circ}C$. При этом температура плавления алюминия (технически чистого) составляет около $655-660\text{ }^{\circ}C$. Покровные флюсы для алюминиевого расплава имеют большой спрос в производстве. Обычный покровный флюс содержит около $47,5\%$ $NaCl$, $47,5\%$ KCl и 5% фтористой соли. Низкая температура плавления повышает текучесть флюса. Другие покровные флюсы основаны на смеси $MgCl_2-KCl$, которая образует низкоплавкую эвтектику при $424\text{ }^{\circ}C$, или на карналлите ($MgCl_2 \cdot KCl$), который плавится при $485\text{ }^{\circ}C$. Эти покровные флюсы имеют высокую текучесть и могут образовывать на поверхности расплава тонкий слой. Однако $MgCl_2$ является довольно дорогим, поэтому его применяют в основном во флюсах без натрия для алюминиевых сплавов с содержанием магния более 2% .

Доказана, что проблема разработки состава флюса для получения алюминиевого сплава с минимальным содержанием газовых включений, которая решается в диссертационной работе изучена не в достаточной степени.

Во второй главе диссертации **«Выбор объекта и разработка методики исследования»** приведены выбор объекта исследования, основные физический и химический свойства используемых материалов, а также представлены сведения по использованию современных физико-механических, химических и физико-химических методов и аппаратуры для исследования свойств материалов (ИК-спектроскопия, электронная микроскопия, гранулометрический анализ).

Для проведения микроанализа образцов полученных при проведении исследовательских работ был применен сканирующий электронный микроскоп на проходящих лучах (SEM-EDX) в комплекте с Системой микроанализа и Напылительной установкой. Поэлементное картирование по поверхности образца и элементный анализ вдоль линий с построением графиков концентраций. Качественный элементный анализ (автоматический и ручной). Эффективность метода - полная оптическая спектроскопия (поглощение, пропускание, отражение, кинетика, цвет) широчайшая область применений оптического анализа, большое разнообразие материалов – твердые, пленки, жидкие, газообразные, композитные uv-vis-nir spectrophotometer shimadzu (Япония). Спектральный диапазон от 185 до 3300 нм обеспечивается 2 источниками света и 3 детекторами излучения разрешающая способность 0,1 нм программное обеспечение uv-probe 2.00 (windows-7 prof/ vista business) самые низкие в мире уровни шумов и светорассеяния обеспечивают самую высокую чувствительность по поглощению 0.00003 (~мкг/л) самый большой диапазон концентраций.

В третьей главе диссертации **«Разработка состава флюса для снижения газовых включений при плавке алюминиевых сплавов»** приводятся результаты исследований по разработке состава флюса и технологии введения флюса в расплав. Перед проведением научно-исследовательских работ по разработке технологии снижения количества газовых включений при плавке алюминиевых сплавов произведём планирование экспериментов:

1. Проведение научного эксперимента по определению влияния состава флюса на газосодержание алюминиевых сплавов.

2. Проведение научного эксперимента по определению влияния технологии ввода флюса при плавке алюминиевого сплава на газосодержание отливок.

3. Проведение научного эксперимента по определению влияния процесса плавки алюминиевой шихты под слоем покровного флюса на газосодержание отливок.

4. Проведение научного эксперимента по определению влияния внепечной обработки алюминиевого сплава флюсами на газосодержание отливок.

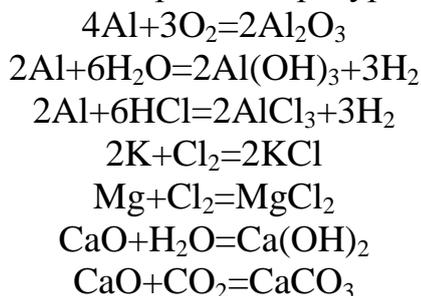
5. Проведение научного эксперимента по определению влияния температурного режима обработки расплава флюсами на газосодержание отливок.

6. Проведение сопоставительного анализа по определению эффективности применения разработанного состава флюса на газосодержание алюминиевых сплавов.

Для проведения экспериментальных по разработке состава флюса для снижения газовых включений в алюминиевых сплавах, в производственных условиях СП ООО «UzAuto-Inzi» были проведены экспериментальные

исследования плавки алюминиевых сплавов. Для этой цели в литейном цеху предприятия использовались газовые печи производительностью 2500 кг/час.

Для определения влияния различных химических элементов, определяем их химическую активность при различных температурах. Так, например, химические реакции, протекающие при температуре 20-24 С



По приведенным данным определяем влияние содержания лития на содержание водорода в алюминиевом расплаве. На рисунке 3.1 приведена зависимость содержания водорода в расплаве в зависимости от содержания лития.

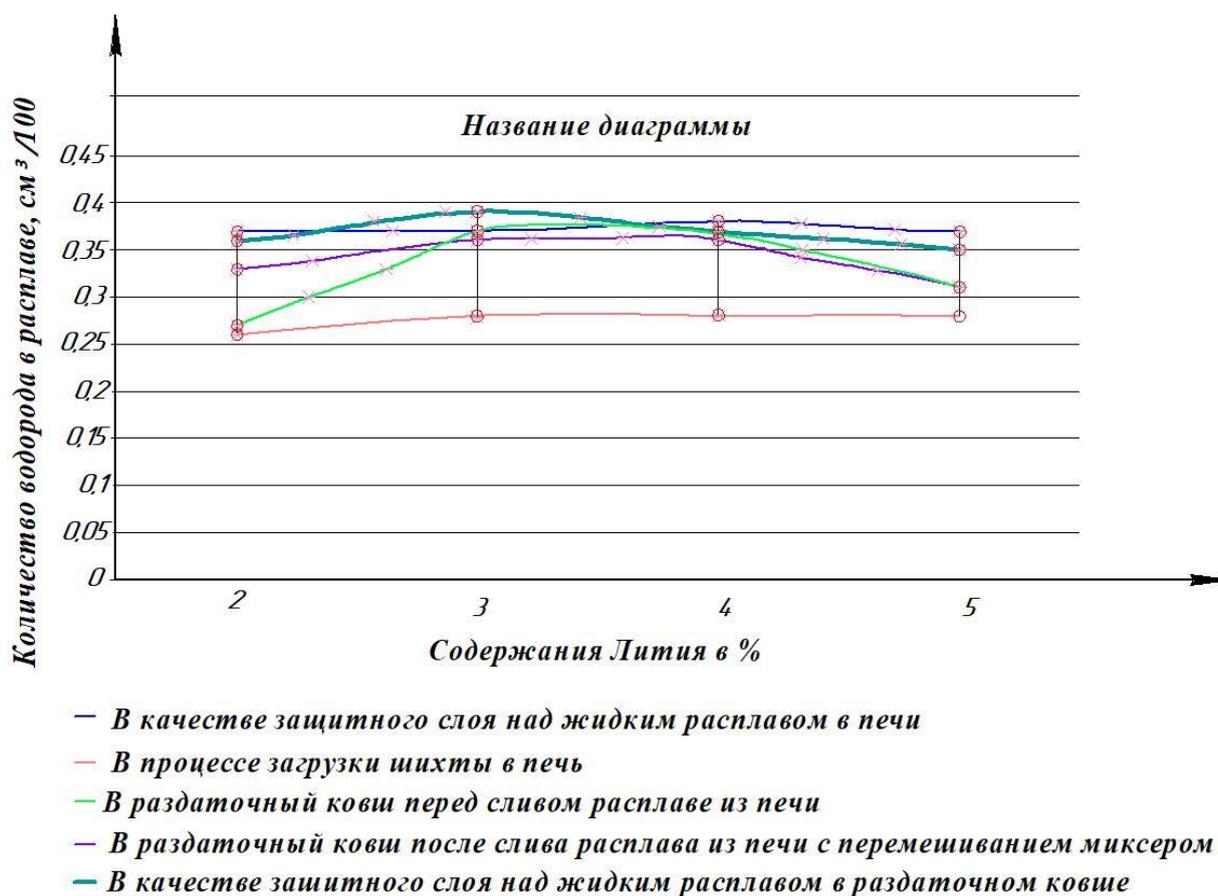


Рис. 3.1. Зависимость содержания водорода в расплаве в зависимости от содержания лития.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что с увеличением содержания лития в раздаточном ковше и защитного слоя над

жидким расплавом в раздаточном ковше, содержание водорода до 3% увеличивается, а затем снижается. В качестве защитного слоя над жидким расплавом в печи и в процессе загрузки шихты в печь содержание водорода меняется не значительно. Здесь содержание водорода ниже в случае загрузки флюса вместе с шихтой.

По вышеуказанным данным также определяем влияние содержания лития на содержание водорода в алюминиевом расплаве. На рисунке 3.2 приведена зависимость содержания окиси алюминия в расплаве в зависимости от содержания лития.

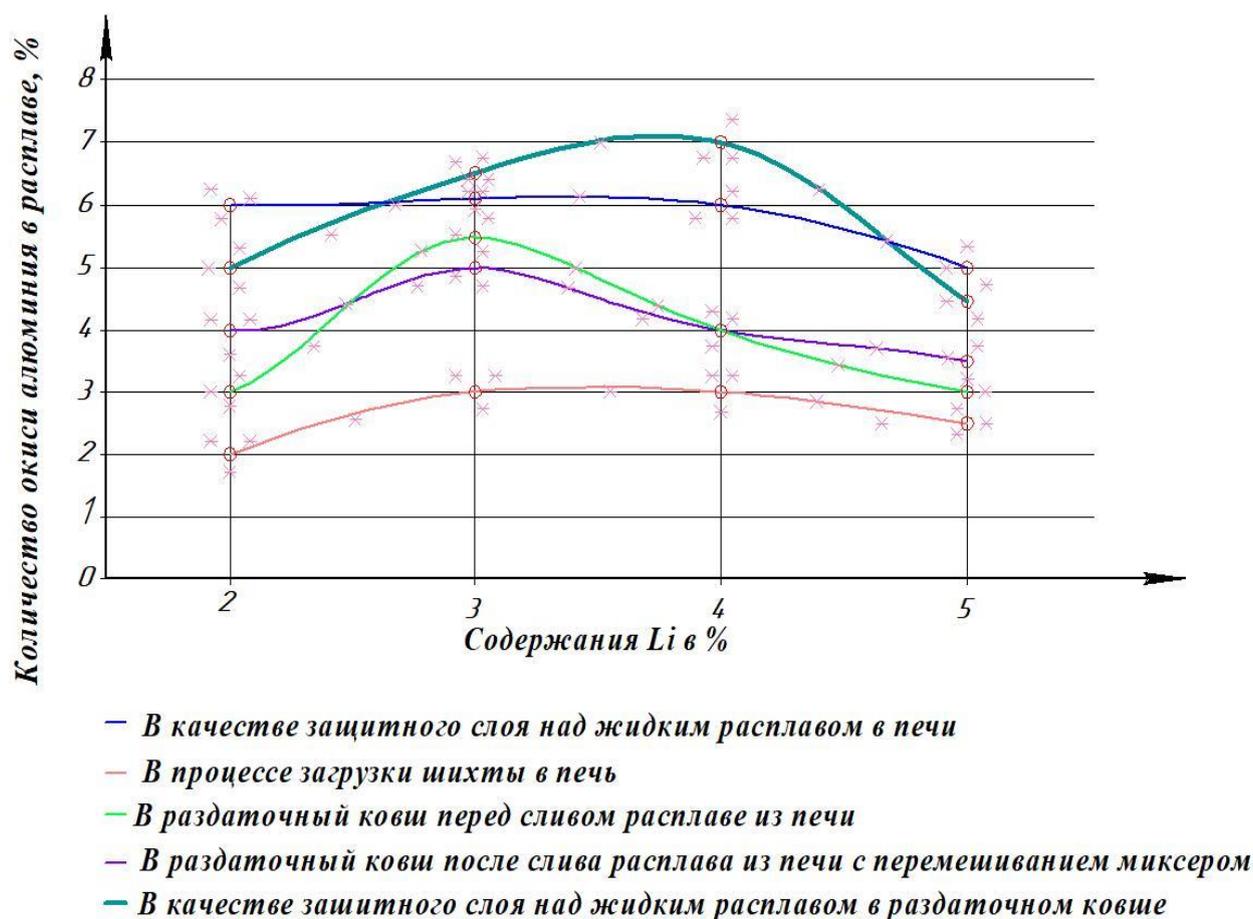


Рис. 3.2. Зависимость содержания водорода в расплаве в зависимости от содержания лития.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что с увеличением содержания лития свыше 2 % в качестве защитного слоя над жидким расплавом в печи, содержание окиси алюминия равномерно снижается. При добавлении лития до 4 % в качестве флюса при загрузке шихты в печь, содержание окиси алюминия увеличивается и при добавлении свыше 4 % содержание окиси алюминия снижается. При добавлении лития до 3% в флюс в раздаточный ковш перед сливом расплава из печи, содержание окиси алюминия увеличивается, а свыше 3 % снижается. При добавлении лития в флюс в количестве до 3% в раздаточный ковш после слива расплава из печи с перемешиванием миксером в ковше количество

окси алюминия в расплаве увеличивается, а при содержании лития свыше 3 % содержание окиси алюминия в расплаве снижается. Здесь также содержание окиси алюминия ниже в случае загрузки флюса вместе с шихтой.

Все эксперименты проводились по 5-7 раза с отбором проб для каждого раза по 5-7 штук.

Для определения влияния содержания водорода при применении флюса с содержанием $\text{Li}[\text{AlH}_4]$ проводили экспериментальные плавки по первой схеме. Результаты исследования приведены на рисунке 3.3.

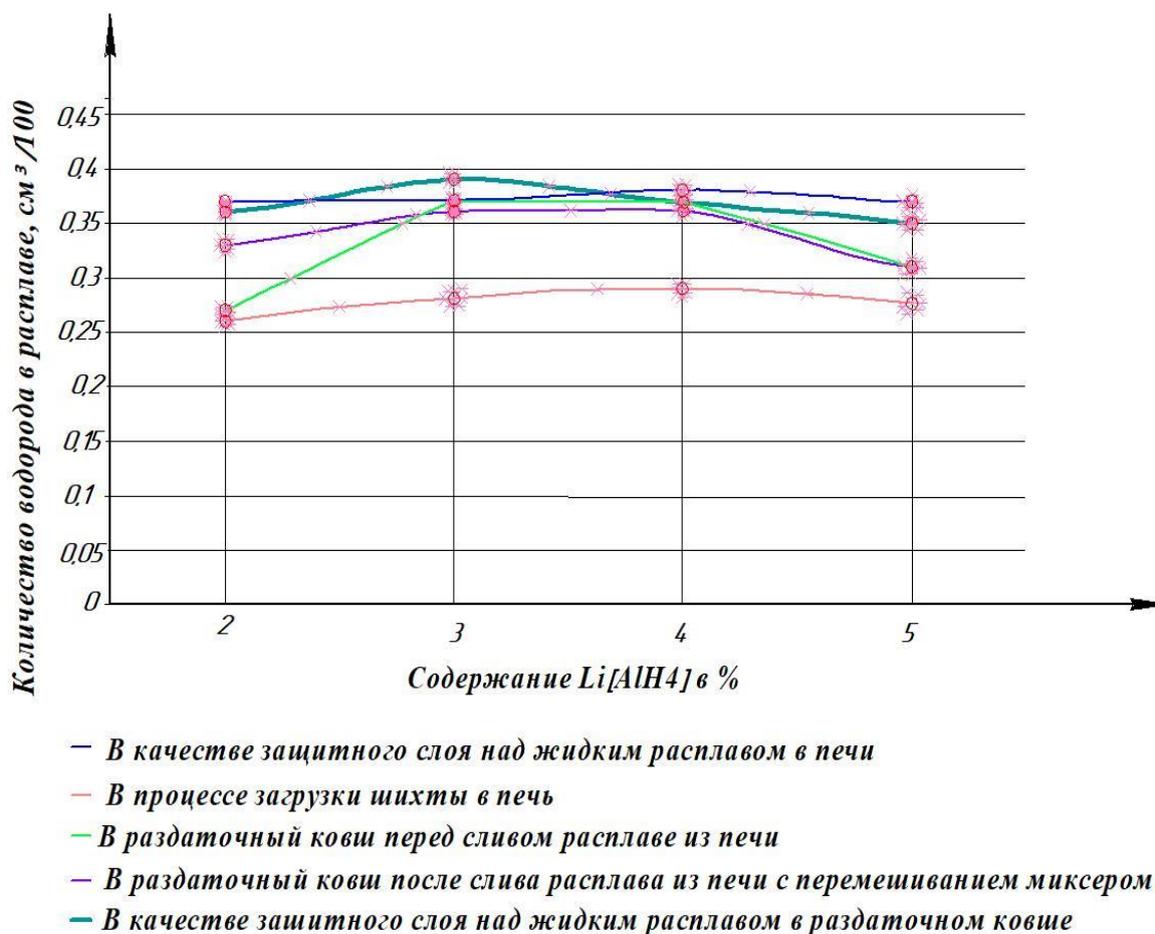


Рис. 3.3. Зависимость содержания водорода в расплаве в зависимости от содержания гидроксида лития.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что с увеличением содержания гидроксида лития свыше 4 % в качестве защитного слоя над жидким расплавом в печи, содержание водорода равномерно снижается. При добавлении лития до 4 % в качестве флюса при загрузке шихты в печь, содержание водорода увеличивается и при добавлении свыше 4 % содержание водорода снижается. При добавлении гидроксида лития до 3,5 % в флюс в раздаточный ковш перед сливом расплава из печи, содержание водорода увеличивается, а свыше 3,5 %

снижается. При добавлении гидроксида лития в флюс в количестве до 3% в раздаточный ковш после слива расплава из печи с перемешиванием миксером в ковше количество водорода в расплаве увеличивается, а при содержании гидроксида лития свыше 3 % содержание водорода в расплаве снижается. Здесь содержание водорода ниже в случае загрузки флюса вместе с шихтой.

Для определения влияния содержания окиси алюминия в расплаве при применении флюса с содержанием $Li[AlH_4]$, проводили ряд экспериментальных плавов по вышеуказанному принципу. Результаты исследования приведены на рис. 3.4.

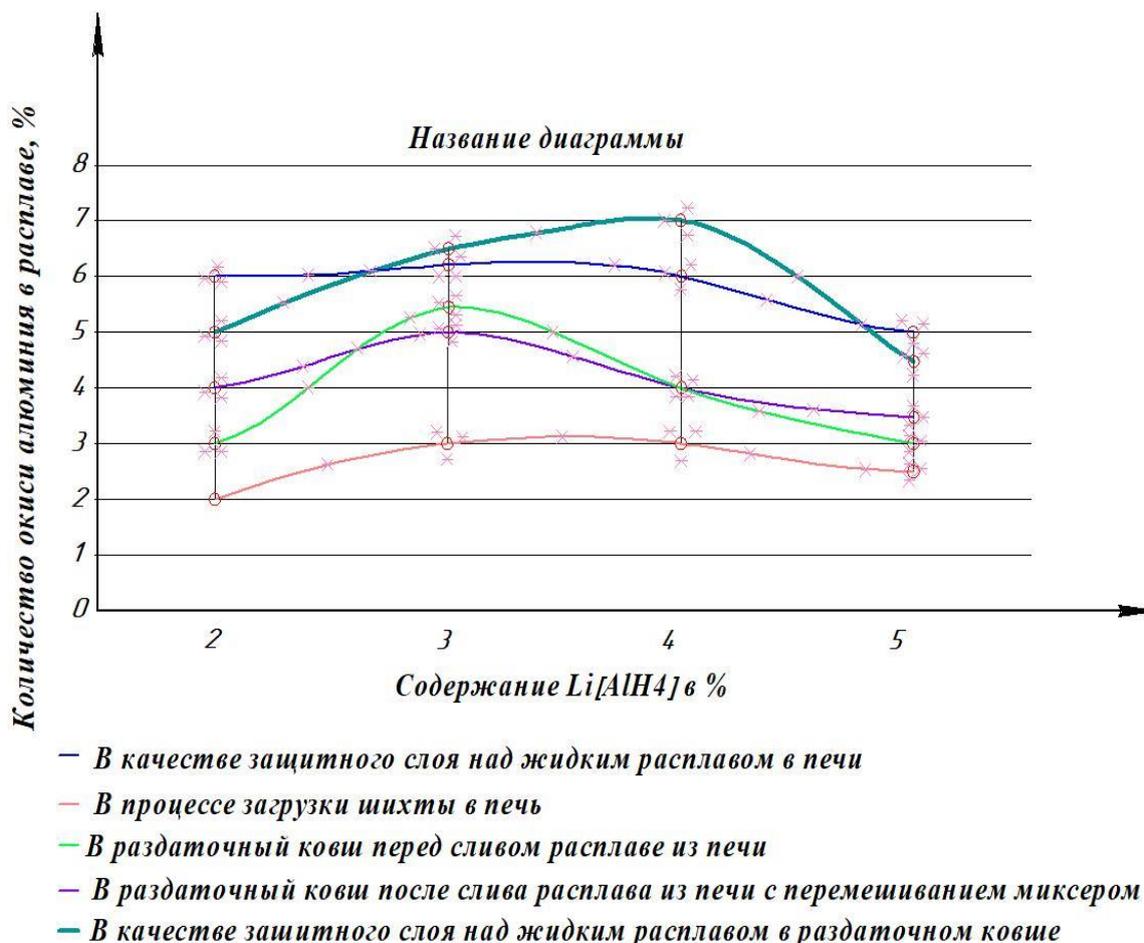


Рис. 3.4. Зависимость содержания окиси алюминия в расплаве в зависимости от содержания гидроксида лития.

В четвертой главе «Внедрение технологии извлечения меди и других металлических включений в производство и разработка её математической модели» приведены результаты апробирования разработанного состава флюса и технологии введения флюса в расплав в производственных условиях, а также математическая модель процесса обработки расплава флюсами в зависимости от температурных параметров.

Для внедрения разработанного состава флюса для плавки алюминиевых сплавов в условиях СП ООО «UzAuto-Inzi» вели плавку в двух режимах. Первый режим осуществлялся по применяемой до новой разработки технологии, а второй режим осуществлялся с применением разработанного состава флюса с соответствующей технологией его применения. Это позволило сделать сопоставительный анализ режимов и выявить положительные и отрицательные стороны технологий. Состав применяемого флюса соответствовал режиму обработки.

В качестве защитного слоя применялся флюс химического состава, приведённый в таблице 4.1.

Таблица 4.1.

№	Назначение флюса	Составляющие флюса в весовых процентах, %								
		NaCl	KCl	NaF	NaN	KN	CaO	CaCl ₂	Li	Li[AlH ₄]
1	В качестве защитного слоя	40	20	5	3	3	10	15	2	2
2	В качестве защитного слоя	40	30	5	3	3	10	5	2	2
3	В качестве защитного слоя	50	20	3	2	3	8	7	3	4
4	В качестве защитного слоя	50	30	3	3	2	2	2	5	3
5	В качестве защитного слоя	40	30	5	5	5	4	2	5	4
6	В качестве защитного слоя	40	30	2	2	2	12	7	1	4

При применении флюса с содержанием Li-2% и Li[AlH₄]-5% при KCl-30% при загрузке в составе шихты при загрузке в плакильный агрегат наблюдается наиболее высокий эффект. В таблице 4.2 приведены результаты внедрения этого флюса в производственных условия совместного производства СП ООО «УЗАВТО-ИНЗИ». Результаты применения в условиях газовой плавильной печи производительностью 2,5 т/ч приведены с учетом специфики производства.

Таблица 4.2.

№ флюса	Режим введения в расплав	Количество окиси алюминия в расплаве, %	Количество водорода в расплаве, см ³ /100 гр.
1	2	3	4
7	В качестве защитного слоя над жидким расплавом в печи	5-7	0,38-0,40
7	В процессе загрузки шихты в печь	2-5	0,28-0,32
7	В раздаточный ковш перед сливом расплава из печи	3-5	0,30-0,36
7	В раздаточный ковш после слива расплава из печи с перемешиванием миксером	5-6	0,33-0,35
7	В качестве защитного слоя над жидким расплавом в раздаточном ковше	6-7	0,36-0,40

Для сравнительного анализа были проведены плавки с применением флюса и без его применения. При первом режиме плавки, то есть при плавке в атмосфере печи без защитного слоя, содержание окисных включений в составе полученного расплава составило 8-10 %. Количество водорода в этом режиме 0,64-0,66 см³ /100 гр. Эффективность ведения плавки с применением флюса при плавке алюминиевого сплава в печи естественна, однако немаловажным является и то, при каких температурных режимах оказывается флюс.

На основании экспериментальных данных степень зависимости количества добавок водорода и оксидов в сплаве, образующемся при оплавлении шихты в зависимости от средней дисперсности загружаемого флюса разработана математическая модель процесса. На основе этих данных рассматривается задача математического моделирования количественных изменений водородных и оксидных добавок в сплаве, то есть математическая оценка результатов экспериментов с аналитической точки зрения путем определения математической функциональной связи. Определение экспериментальных данных с помощью математической функции эквивалентно задаче определения однозначных многоуровневых коэффициентов. Сначала определяем изменение количества водорода в сплаве при изменении среднего дисперсность загруженного флюса. Исходя из опыта работы, можно написать следующее выражение:

$$d_1 = 6\text{нм}, d_2 = 10\text{нм}, d_3 = 14\text{нм}, d_4 = 20\text{нм}, d_5 = 30\text{нм};$$

$$\lambda_1 = 0,52, \lambda_2 = 0,48, \lambda_3 = 0,44, \lambda_4 = 0,38, \lambda_5 = 0,34, \left[\frac{\text{см}}{100\text{г}} \right]. \quad (1)$$

Система алгебраических уравнений выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} a_1 + 6a_2 + 36a_3 + 216a_4 + 1296a_5 = 0,52 \\ a_1 + 10a_2 + 100a_3 + 1000a_4 + 10000a_5 = 0,48 \\ a_1 + 14a_2 + 196a_3 + 2744a_4 + 38416a_5 = 0,44 \\ a_1 + 20a_2 + 400a_3 + 8000a_4 + 160000a_5 = 0,38 \\ a_1 + 30a_2 + 900a_3 + 27000a_4 + 810000a_5 = 0,34 \end{cases} \quad (2)$$

Если мы решим эту систему неоднородных алгебраических уравнений с использованием метода Гаусса или Крамера с использованием программного пакета Maple 13, мы получим следующие решения:

$$a_1 = 0,59312, a_2 = -0,01509, a_3 = 0,00069, a_4 = -0,00004, a_5 = 0.$$

Функция, характеризующая изменение количества водорода в сплаве при изменении средней дисперсности флюса, выглядит следующим образом:

$$\lambda(d) = 0,59312 - 0,01509d + 0,00069d^2 - 0,00004d^3. \quad (3)$$

Используя это выражение, можно определить количество водорода в сплаве со значением, изменяя средней дисперсности флюса d . Мы используем Maple 13, чтобы показать уровень точности:

> restart;

>

> solve({x + 6·y + 36·z + 216·t + 1296·v = 0.52, x + 10·y + 100·z + 1000·t + 10000·v = 0.48, x + 14·y + 196·z + 2744·t + 38416·v = 0.44, x + 20·y + 400·z + 8000·t + 160000·v = 0.38, x + 30·y + 900·z + 27000·t + 810000·v = 0.34}, [x, y, z, t, v])

[[x = 0.5931250000, y = -0.01509375000, z = 0.0006906250000, t = -0.00003906250000, v = 7.81250000010⁻⁷]]

> λ := 0.5931250000 - 0.01509375000d + 0.0006906250000d² - 0.00003906250000d³ + 7.81250000010⁻⁷·d⁴;

λ := 0.5931250000 - 0.01509375000d + 0.0006906250000d² - 0.00003906250000d³ + 7.81250000010⁻⁷·d⁴

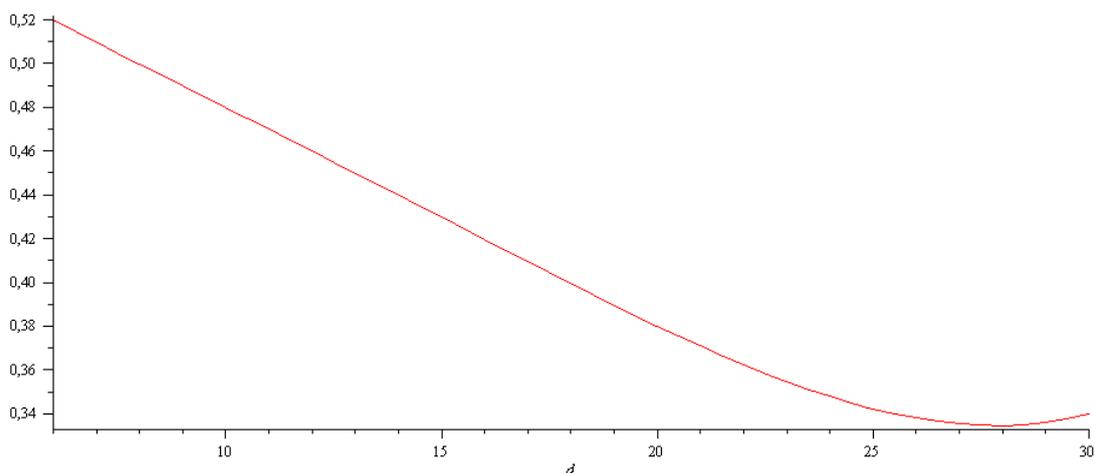


Рис. 4.1. График изменения количества водорода в сплаве при увеличении средней дисперсности флюса d .

Определим теперь количественное изменение оксидных добавок в сплаве при изменении средней дисперсности флюса. Исходя из опыта работы с таблицей, можно сказать следующее:

$$\begin{aligned} d_1 = 6\text{нм}, d_2 = 10\text{нм}, d_3 = 14\text{нм}, d_4 = 20\text{нм}, d_5 = 30\text{нм}; \\ \alpha_1 = 7\%, \alpha_2 = 8\%, \alpha_3 = 7\%, \alpha_4 = 6\%, \alpha_5 = 5\%. \end{aligned} \quad (4)$$

Система алгебраических уравнений выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} a_1 + 6a_2 + 36a_3 + 216a_4 + 1296a_5 = 7 \\ a_1 + 10a_2 + 100a_3 + 1000a_4 + 10000a_5 = 8 \\ a_1 + 14a_2 + 196a_3 + 2744a_4 + 38416a_5 = 7 \\ a_1 + 20a_2 + 400a_3 + 8000a_4 + 160000a_5 = 6 \\ a_1 + 30a_2 + 900a_3 + 27000a_4 + 810000a_5 = 5 \end{cases} \quad (5)$$

Если мы решим эту систему неоднородных алгебраических уравнений методом Гаусса или Крамера с использованием программного пакета Maple 13, мы получим следующие корни решения уравнения: $a_1 = -6,1875, a_2 = 4,11801, a_3 = -0,40832, a_4 = 0,01603, a_5 = -0.00022$

Используя это выражение, можно сделать однозначное определение количественного изменения оксидных добавок в сплаве при изменении средней дисперсности флюса d . Здесь мы также используем Maple 13, чтобы увидеть уровень точности:

$$\begin{aligned} > \alpha := -6.1875 + 4.11801 \cdot d - 0.40832 \cdot d^2 + 0.01603 \cdot d^3 - 0.00022 \\ & \quad \cdot d^4; \\ \alpha & := -6.1875 + 4.11801d - 0.40832d^2 + 0.01603d^3 - 0.00022d^4 \end{aligned}$$

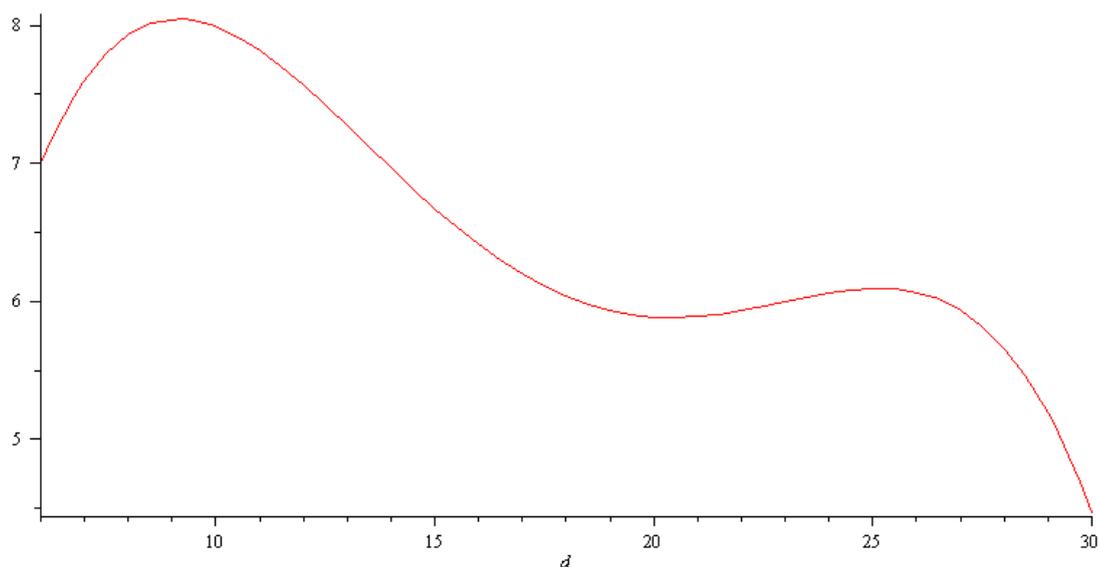


Рис. 4.2. График количественного изменения оксидной добавки в сплаве при изменении средней дисперсности флюса d .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований по диссертационной работе доктора философии (PhD) на тему «РАЗРАБОТКА СОСТАВА ФЛЮСА И ТЕХНОЛОГИИ ПЛАВКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СТРУКТУРЫ ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ ГАЗОВЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ПОЛУЧАЕМОМ РАСПЛАВЕ» сформулированы следующие выводы:

1. На основе химических активностей составляющих химических элементов, разработан новый состав флюса для плавки алюминиевых сплавов, позволяющий снизить содержание газовых включений в расплаве. Это может служить для разработки технологии плавки алюминиевых сплавов в различных типах печей.

2. На основе химических реакций в жидком расплаве между составляющими флюса и составляющими алюминиевого сплава, разработана технология применения флюса при плавке алюминиевых сплавов. Это позволит обеспечить ресурсосбережение при плавке алюминиевых сплавов.

3. На основе изменения химической активности составляющих флюса, разработан тепловой режим обработки алюминиевого расплава защитным флюсом. Это позволит эффективно использовать флюс при различных температурных режимах плавки алюминиевых сплавов.

4. На основе теплообменных процессов между атмосферой печи и жидким расплавом, разработана технология введения флюса в алюминиевый расплав, обеспечивающая снижение диффундирования газовых включений. Это позволит снизить содержание газовых включений в алюминиевом расплаве.

5. В зависимости от физического состояния жидкого расплава, разработана технология печной и внепечной обработки алюминиевого расплава защитным флюсом. Это послужит обеспечению эффективного использования флюса в зависимости от условий производственного предприятия.

6. Разработана математическая модель введения флюса в алюминиевый расплав в зависимости от дисперсности состава флюса. Это позволит выбрать оптимальные размеры флюса в зависимости от режима плавки.

7. Внедрен в производственные условия предприятия СП «УзАвто-Инзи» состав флюса для плавки алюминиевых сплавов и технология введения флюса при плавке. Это позволило получить экономическую эффективность в четыре миллиарда четыреста пятьдесят миллионов сум.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.03/30.12.2019.T.03.04. ON THE ADMISSION
OF SCIENTIFIC AT THE TASHKENT STATE TECHNICAL
UNIVERSITY**

TURIN POLITEKHNIC UNIVERSITY IN TASHKENT

TURAKHUJAEVA SHIRINKHON NODIR QIZI

**DEVELOPMENT OF A FLUX COMPOSITION AND TECHNOLOGY FOR
MELTING ALUMINUM ALLOYS TO IMPROVE THE STRUCTURE BY
REDUCING GAS INCLUSIONS IN THE RESULTING MELT**

**05.02.01 - Material Science in Mechanical Engineering. Foundry. Heat treatment and
treatment of metals by pressure. Metallurgy of ferrous, non-ferrous and rare metals**

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

Tashkent 2021

The theme of the dissertation of the Doctor of Philosophy (PhD) in technical sciences is registered in the Higher Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan for B2021.2.PhD/T2291.

The dissertation was completed at Turin Polytechnic University in Tashkent.

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

Scientific adviser: **Saydakhmedov Rovshan Kholkhodjaevich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents: **Ziyamukhamedova Umida Alijonovna**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Atajanov Gapur Latibovich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Leading organization: **Ferghana polytechnical Institute**

The defense of the dissertation consists of «22» december 2021 at 11⁰⁰ hours at a meeting of the Scientific Council .No DSc.03/12.2019.T.03.04. under the Tashkent State Technical University (Address: 100095, Tashkent, Universitetskaya St., 2. Tel./fax: (99871) 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz)

The dissertation can be found in the Information Resource Center of Tashkent State Technical University (registered for №232. (Address: 100095, Tashkent, Universitetskaya St., 2. Tel. / Fax: (99871) 227-10-32)

The abstract of the dissertation is distributed on «09» december in 2021 (mailing report № 130 on «09» december in 2021)



K.A. Karimov

K.A. Karimov
Chairman of the Award Scientific Council accounting degrees, doctor of technical sciences, professor

Sh.B. Tashbulatov

Sh.B. Tashbulatov
1st Deputy Scientific Secretary of the Scientific Council for Award accounting degrees, doctor of philosophy technical sciences

N.S. Dunyashin

N.S. Dunyashin
Chairman of the Scientific Seminar at the Scientific Council by award of accounting degrees, Doctor of Technical Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The purpose of the study: The purpose of the study is to develop flux compositions for melting aluminum alloys to reduce the content of gas inclusions in the resulting melt.

The object of study are aluminum alloys of grades AL9 and AK5M2.

Research Methods. To study the structural and phase transformations during the combined XTO, we used a MIM-8M, Neofot-21 metallographic microscope with an increase from 100 to 800X. The value of austenitic grain was determined according to GOST 5639-82. X-ray diffraction analysis was performed on a Dron 3.0-Dron-3M installation. The hardness of the samples and the tool was determined on hardness testers TK-2, microhardness on PMT - 3.

The scientific novelty of the study is as follows:

- on the basis of the chemical activities of the constituent chemical elements, a new composition of the flux for melting aluminum alloys has been developed, which allows to reduce the content of gas inclusions in the melt;

- on the basis of chemical reactions in the liquid melt between the components of the flux and the components of the aluminum alloy, a technology has been developed for the use of a flux in the melting of aluminum alloys;

- on the basis of the chemical activities of the constituent chemical elements, a new composition of the flux for melting aluminum alloys has been developed, which allows to reduce the content of gas inclusions in the melt;

- on the basis of changes in the chemical activity of the components of the flux, a thermal regime for processing an aluminum melt with a protective flux has been developed;

- on the basis of heat exchange processes between the furnace atmosphere and the liquid melt, a technology has been developed for introducing a flux into an aluminum melt, which ensures a decrease in the diffusion of gas inclusions;

- depending on the physical state of the liquid melt, a technology has been developed for furnace and out-of-furnace treatment of aluminum melt with a protective flux.

Implementation of research results. Based on the results obtained on the development of the composition of the flux for melting aluminum alloys, the following were developed and introduced into production:

- the composition of the flux for melting aluminum alloys was introduced at the UzAuto-Inzi JV LLC (certificate No. 15 / 06-25-1565 "UzAuto" dated September 6, 2021). As a result of the introduction of a new composition of the flux, the gas retention in the aluminum melt decreased by 6-8%;

- The technology for introducing a flux into an aluminum melt was introduced at the UzAuto-Inzi JV LLC (certificate No. 15 / 06-25-1565 "UzAuto" dated September 6, 2021). As a result of the introduction of the technology, the rate of hydrogen removal from the melt increased by 10-12%;

- The thermal regime for the processing of aluminum melt with a flux was introduced at the UzAuto-Inzi JV LLC (certificate No. 15 / 06-25-1565 "UzAuto" dated September 6, 2021). As a result of the introduction of a thermal treatment

regime, the diffusion of oxygen and hydrogen into the aluminum melt decreased by 16-18%.

The structure and scope of the dissertation. The structure of the dissertation consists of introduction, five chapters, conclusion, list of used literature, applications. The scope of the dissertation is 120 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; part I)

1. Тураходжаев Н.Д., Абдурахмонов Х.З., Турсунов Т.Х., Якубов Л.Э., Турахужаева Ш.Н. Применение алюминиевых сплавов в биметаллических композиционных материалах/ “Композиционные материалы”. Узбекский научно-технический и производственный журнал. Ташкент, 2015. №1. - С. 65-67 (05.00.00., №13).

2. 1. Тураходжаев Н.Д., Абдурахмонов Х.З., Турсунов Т.Х., Якубов Л.Э., Турахужаева Ш.Н., Валиева М.А., Шоазимова У.Х. Способ переплава алюминисодержащих композиционных материалов для получения качественной структуры /“Композиционные материалы” Узбекский научно-технический и производственный журнал. Ташкент, 2015. №3. - С.30-31. (05.00.00., №13).

3. N.Turakhodjaev, Kh.Abdurakhmanov, Sh. Turakhujaeva, T.Tursunov, L.Yakubov, Sh.Tashbulatov, A.Mukimov./ Definition of modes of fusion of aluminium alloys with application of a protective gumboil./ Вестник ТашГТУ 2015. №3. – С. 174-179. (05.00.00., №16).

4. Н.Д.Тураходжаев, Ж.С.Камалов, Ш.Н.Турахужаева, Т.Х.Турсунов, Н.И.Садикова, С.Ж.Тураходжаев, Н.Э.Искандаров. /Метод получения качественной структуры при плавке алюминиевых композитов/ kompozitsion materiallar ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali 2020.№3.- С. 155-158. (05.00.00., №13).

5. Н.Д.Тураходжаев, Ж.С.Камалов, Ш.Н.Турахужаева, Т.Х.Турсунов, Н.И.Садикова, С.Ж.Тураходжаев. /Математическая модель расчёта шихты для получения литых композитов/ Kompozitsion materiallar ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali/ 2020. №3. - С.192-195. (05.00.00., №13).

6. Н.Д.Тураходжаев, Ж.С.Камалов, Ш.Н.Турахужаева, Т.Х.Турсунов, Н.И.Садикова, С.Ж.Тураходжаев. /Математическая модель для расчёта теплообменных процессов при плавке металлов/ Kompozitsion materiallar ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali/ 2020. №3. - С. 279-282. (05.00.00., №13).

7. Nodir Turakhodjaev, Mukhammadali Akramov, Shirinkhon Turakhujaeva, Sarvar Tursunbaev, Azizakhon Turakhujaeva, Jamaliddin Kamalov Calculation of the heat exchange process for geometric parameters/ International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics. 2021, 1(9)/ 90-95 p.

8. Turakhodjaev Nodir; Saidmakhamadov Nosir; Turakhujaeva Shirinkhon; Odilov Furkat; Turakhodjaeva Fazilatkhon; Akramov Mukhammadali; Asatov Sunnatullo; Turaev Anvar. «Development of Technology for Obtaining a High-Quality Alloy». International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology India Copyright to IJARSET Vol. 7, Issue 10 ,

October 2020 pp. 15347-15354.

9. Nodir Turakhodjaev, Nosir Saidmakhamadov, Fatkhulla Abdullaev, Shirinkhon Turakhujaeva, Zafar Bobodustov, Ulugbek Rakhmanov, Furkhat Odilov. «Development Of A New Brand of Alloy Instead Of 280x29nl Brand Spreadable Cast Alloy». The American Journal of Engineering and Technology. The USA Journals Volume 03 Published: March 25, 2021. Pages: 36-43.

10. Nodir Turakhodjaev, Nosir Saidmakhamadov, Shirinkhon Turakhujaeva, Mukhammadali Akramov, Azizakhon Turakhujaeva, Fazilatkhon Turakhodjaeva /Effect of metal crystallation period on product quality/ International Scientific Journal Theoretical and Applied Science. p-ISSN: 2308-4944(print) e-ISSN 2409—0085 (online) Year 2020 Issue 11 Volume 91 Published 07.11.2020 <http://T-Science.org> P. 23-31 (05.00.00. №11).

11. Nodir turakhodjaev, Nosir saidmakhamadov, Shirinkhon Turakhujaeva, Erkin Khaltursunov, Azizakhon Turakhujaeva, Mukhammadali Akramov Development of Technology To increase resistance of high Chromium cast iron/ the american journal of engineering and technology/ISSN-2689-0984 Published March 31, 2021. P. 85-92.

II бўлим (II часть; part II)

12. Turakhujaeva Shirinkhon ,Turakhujaeva Azizakhon, Saidmakhamadov Nosir, Akramov Mukhammadali Methods for reducing metal oxidation when melting aluminum alloys/ International Journal of innovations in Engineering Research and Technology/ p. 77-82.

13. Р.Х.Сайдахмедов, Ш.Н.Турахужаева, Н.Д. Тураходжаев, Ж.С. Камалов Теплообменный процесс плавки алюминиевых композитов/ Международная научно-техническая конференция композиционные материалы на основе техногенных отходов сырья: состав, свойства и применение/ Ташкент. 16-17.09.2021/ с 130-131.

14. Р.Х.Сайдахмедов, Ш.Н.Турахужаева, Н.Д. Тураходжаев, Ж.С. Камалов Состав флюса для плавки алюминиевых композитов/международная научно-техническая конференция композиционные материалы на основе техногенных отходов сырья: состав, свойства и применение. Ташкент 16-17.09.2021/ с 132-133.

15. N.D.Tukakhodjaev, Sh.Turakhujaeva, J.S.Kamalov The process of melting aluminum alloys to improve the quality of casting/ processing and fabrication of advanced materials-XXVII/ /Sweedeen, 27-29.05.2019/ p. 417-421.

16. Тураходжаева Ш. Н., Камалов Ж.С., Турсунов Т. Х.; Одилов Ф. У. «Получение качественной структуры при плавке алюминиевых композитов» Международная Узбекско-Белорусская научно-техническая конференция. Композиционные и металлополимерные материалы для различных отраслей промышленности и сельского хозяйства. Ташкент 21-22 мая 2020 г. С. - 410-414.

17. Тураходжаев Н.Д., Абдурахмонов Х.З., Турсунов Т.Х., Якубов Л.Э., Турахужаева Ш.Н. Математическая модель теплообменного процесса в

газовой печи/ современные наукоемкие технологии: приоритеты развития и подготовка кадров. Сборник статей между-народной научно-практической конференции. Набережные Челны (Россия), 22.05.2014. - С.84-88.

18. Тураходжаев Н.Д., Абдурахмонов Х.З., Турсунов Т.Х., Якубов Л.Э., Турахужаева Ш.Н. Ресурсосберегающая технология переработки и переплава алюминиевой шихты для получения качественной структуры сплава/проблемы и пути инно-вационного развития горно-металлургической отрасли. Сборник научных статей.Ташкент, 2014.-С.234-237.

19. Тураходжаев Н.Д., Абдурахмонов Х.З., Турсунов Т.Х., Якубов Л.Э., Турахужаева Ш.Н. Разработка состав флюса для переработки отходов производства алюминиевых отливок/ Проблемы и пути инновационного развития горно-металлургической отрасли. Сборник научных статей. Ташкент, 2014.- С.211-214.

20. Тураходжаев Н.Д., Абдурахмонов Х.З., Турсунов Т.Х., Якубов Л.Э., Турахужаева Ш.Н. Технология плавки алюминиевых композиционных сплавов/ материалы республи-канской научно-технической конференции «прогрессивные техно-логии получения ком-позиционных материа-лов и изделий из них». Ташкент, 2015 /29.04 2015. - С.155-157.

21. Турахужаева Ш.Н., Файзуллаева Ф.Д. О методах решения задачи автоколебания/ актуальные вопросы в области технических и социально-экономичес-ких наук. Республиканский межвузовский сборник. Ташкент, 2015.- С.187-189.

22. Турахужаева Ш.Н., Мирбабаев М.М. Физические процессы при нагреве твердой шихты в потоке продуктов сгорания природного газа/ “Техника юлдузлари”, Ташкент, 2014. - С.73-76.

23. Турахужаева Ш.Н., Каримов Ш.А. .Применение алюминия для получения чугуна из оксида железа/ “фан ва техника тараққиё-тида интеллектуал ёшларнинг ўрни”.республика илмий анжумани. / Тошкент 2015. - С.177-180 /

24. Турахужаева Ш.Н., Норматов Ж.А., Очилдиев К.Т., Валиева М.А., Расулов С.А., Тураходжаев Н.Д.Влияние процесса плавки алюминиевых композиционных материалов на окружающую среду/республиканской научно-технической конференции “Прогрессивные технологии получения композиционных материалов и изделий из них”/ 28-29.04.2015г/184-185стр./

25. Тураходжаев Н.Д., Расулов С.А., Абдурахмонов Х.З., Турсунов Т.Х., Якубов Л.Э, Турахужаева Ш.Н., Брагина В.П. Изменение свойств композиционных алюминиевых сплавов в зависимости от режима плавки/ “Полимерные композиты и трибология (Поликом-Триб-2015)”. “Международная научно-техни-ческая конференция”/ 23-26 июнь 2015, Гомель (Белорусь). - С.224-226.

26. Применение алюминия для получения чугуна из оксида железа/ новые технологии наукоемкого машиностроения: приоритеты развития и подготовка кадров. Сборник статей 3 международной научно-практической

конференции./ набережные челны 2015/ 74-77 стр./ каримов ш.а.

27. Турахужаева Ш.Н., Каримов Ш.А. Безопасное и экологически чистое транспортное средство/ “техника юлдузлари”. Тошкент 2/2016. – С. 184-189.

28. Турахужаева Ш.Н., Каримов Ш.А. Группа научных разработчиков как структура социальной группы /“фан ва техника тараққийё-тида интеллектуал ёшларнинг ўрни”. Республика илмий анжумани. Тошкент 2016. С. 23-25

29. Turakhujaeva Sh., Nizamova N., Karimova N. Ecologic pure and safe transport /International Scientific and Practical Conference “World Science”/ 2016. P. 52-55.

30. Turakhujaeva Sh., Turakhodjaev N. Mode of fusion of aluminum alloys/ /International Scientific and Practical Conference “World Science”/ 2016. P. 25-28.

31. Тураходжаев Н., Тураев А, Асадов С., Умаров Э., Турахужаева Ш. Применение природного газа для плавки алюминиевых сплавов. Фан ва техника тараққийётида интеллектуал ёшларнинг ўрни” Республика илмий анжумани Тошкент 15-16 ноября 2018. – С. 34-35.

32. Р.Х. Сайдахмедов, Ш.Н.Турахужаева, Н.Д.Тураходжаев Разработка состава флюса для плавки алюминиевых сплавов/ Научные исследования XXI века. Научный журнал. – С. 74-78.

33. Р.Х. Сайдахмедов, Ш.Н.Турахужаева, Н.Д.Тураходжаев Математическая модель расчёта теплообменного процесса при плавке алюминиевых сплавов / Научные исследования XXI века. Научный журнал. – С. 79-90.

34. Турахужаева Ш.Н., Тураходжаев С. Ж., Турахужаева А. Н. Физические процессы для математического моделирования плавки сплавов / Сборник материалов Международной научно-рецензируемой онлайн конференции Ташкент 28 мая 2020. – С.191-198.

35. Турахужаева Ш.Н., Турахужаева А. Н. Математическая модель для расчёта теплообменных процессов //Сборник научных работ III Международной научно-практической интернет конференции “Литьё и металлургия 2020” студентов и магистрантов. Минск 18–19 ноября 2020. – С. 54-55.

36. Турахужаева Ш.Н., Сайдахмедов Р.Х. Метод снижения газовых включений в алюминиевых сплавах //Сборник научных работ III Международной научно-практической интернет конференции “Литьё и металлургия 2020” студентов и магистрантов. Минск 18–19 ноября 2020. – С. 56-57.

37. Турахужаева Ш.Н., Абдухамидов И.А. Методы повышения качества алюминиево-литиевых сплавов/ Международная научно-практическая конференция Ресурсо- и энергосберегающие инновационные технологии в литейном производстве/ Ташкент 13-15 апреля, 2021. – С. 237-238.

38. Турахужаева Ш.Н., Сайдахмедов Р.Х. Снижение числа неметаллических включений в алюминиевых сплавах //Сборник научных

работ III Международной научно–практической интернет конференции “Литьё и металлургия 2021” студентов и магистрантов. Минск 18–19 ноября 2021. – С. 38-40.

39. Турахужаева Ш.Н. Энергосберегающая технология восстановления алюминия/ Международная научно-практическая конференция Ресурсо- и энергосберегающие инновационные технологии в литейном производстве/ Ташкент 13-15 апреля, 2021. – С. 239-240.

40. Турахужаева Ш.Н. Метод повкшения жидкотекучести алюминиевкх сплавов/ Международная научно-практическая конференция Ресурсо- и энергосберегающие инновационные технологии в литейном производстве/ Ташкент 13-15 апреля, 2021. – С. 266-269.

Автореферат «Тошкент давлат техника университети» таҳририятида таҳрирдан ўтказилиб, ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнлар ўзаро мувофиқлаштирилди.

Бичими: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» гарнитураси.
Рақамли босма усулда босилди.
Шартли босма табағи: 3,25. Адади 100. Буюртма № 73/21.

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