

**ТУРСУНОВ ТОХИР ХОДЖААКБАРОВИЧ**

**АЛЮМИНИЙ ҚОТИШМАЛАРИНИ СУЮҚЛАНРИТИШ УЧУН**  
**ЭЛЕКТРШЛАК ПЕЧИНИНГ КОНСТРУКЦИЯСИНИ**  
**ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

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

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

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

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

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

**Турсунов Тохир Ходжаакбарович**

Алюминий қотишмаларини суюқланритиш учун электршлак печининг  
конструкциясини такомиллаштириш ..... 3

**Турсунов Тохир Ходжаакбарович**

Совершенствование конструкции электрошлаковой печи для плавки  
алюминиевых сплавов ..... 23

**Tursunov Tokhir Khodjaakbarovich**

Improving the Design of an Electroslag furnace for melting  
Aluminum Alloys ..... 43

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works ..... 46

**ТУРСУНОВ ТОХИР ХОДЖААКБАРОВИЧ**

**АЛЮМИНИЙ ҚОТИШМАЛАРИНИ СУЮҚЛАНРИТИШ УЧУН**  
**ЭЛЕКТРШЛАК ПЕЧИНИНГ КОНСТРУКЦИЯСИНИ**  
**ТАКОМИЛЛАШТИРИШ**

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

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

**Тошкент 2020**

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2018.2.PhD/Г724. рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Тошкент давлат техника университетида бажарилган.  
Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус ва инглиз (резюме) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) ва «Ziynet» Ахборот таълим порталида ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)) жойлаштирилган.


Илмий раҳбар:	Тураходжаев Нодир Джаҳонгирович техника фанлари доктори, профессор
Расмий оппонентлар:	Абдуллаев Фатхулла Сағдуллаевич техника фанлари доктори, профессор Худояров Сулейман Рашидович техника фанлари номзоди, доцент
Етакчи ташкилот:	Андижон машинасозлик институти

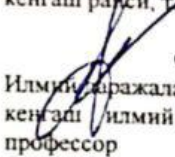
Диссертация химояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.03/30.12.2019.Т.03.04. рақамли илмий кенгашнинг 2020 йил «5» декабрь соат 13<sup>00</sup> даги Илмий кенгаш мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел. / факс: (99871) 227-10-32, e-mail: [tadqiqotchi@tdtu.uz](mailto:tadqiqotchi@tdtu.uz))

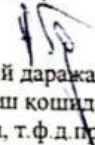
Диссертация билан Тошкент давлат техника университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (181-рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел. / факс: (99871) 227-10-32)

Диссертация автореферати 2020 йил «\_\_\_» \_\_\_\_\_ куни тарқатилди.  
(2020 йил «\_\_» \_\_\_\_\_ даги 116 - рақамли реестер баённомаси).



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

  
Ф.Р. Норхуджаев  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д, профессор

  
Ф.С. Абдуллаев  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, т.ф.д, профессор

## **КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда қора ва рангли қотишмаларни суюқлантиришда ресурс-ва энергия тежамкорлигини таъминлайдиган технологияларни ишлаб чиқиш алоҳида аҳамият касб этмоқда. Шу билан бирга ресурстежамкорликни таъминлайдиган суюқлантириш агрегатларининг конструкциясини ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади. Бу борада дунёнинг ривожланган қатор мамлакатларида, жумладан АҚШ, Германия, Франция, Япония, Россия, Украина ва Хитой каби давлатларда металлларни суюқлантириш агрегатларида суюқлантиришда металл йўқотишларини камайтиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда суюқлантириш агрегатларининг конструкцияларининг янгисини яратиш ва мавжуд конструкцияларни такомиллаштириш, алюминийнинг кислород билан яқинлигини эътиборга олиб алюминий қотишмаларини суюқлантириш технологиясини ишлаб чиқишга оид кенг кўламда илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. МДХ давлатларида, жумладан Россия ва Украинада ресурс-ва энергия сарфини камайтириш учун электр ва газ печларининг янги конструкциялари ишлаб чиқилмоқда. Ушбу йўналишда, алюминийнинг кислород билан оксидланишини олдини олишининг асосида ресурстежамкорликни таъминлайдиган технологияларни ишлаб чиқиш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Республикамизда газ ва электрда ишлайдиган суюқлантириш печларининг конструкцияларини такомиллаштириш, ҳамда алюминий қотишмаларини суюқлантириш даврида металл йўқотишларини камайтиришни таъминлаш чора-тадбирлари амалга оширилмоқда. Бундан ташқари суюқлантириш самарадорлигини ошириш учун кенг қамровли тадқиқотлар, буни амалга ошириш учун ҳимоя воситаларини ва конструкциялари ишлаб чиқиш устида изланишлар олиб борилмоқда. Шу муносабат билан, саноатда кенг қўлланиладиган алюминий қотишмаларини суюқлантиришда ресурс тежамкорликни таъминлайдиган суюқлантириш печларининг конструкцияларини такомиллаштириш илмий-тадқиқотларининг устуворлигини ошириш муҳим аҳамият касб этмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириши бўйича Ҳаракатлар стратегиясида жумладан «... макроиктисодий 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»<sup>1</sup> вазифаси белгилаб берилган.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги Фармони, 2016 йил 26 декабрдаги “2017-2019 йилларда тайёр маҳсулот турлар, бутловчи буюмлар ва

---

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

материаллар ишлаб чиқаришни маҳаллийлаштириш истиқболли лойиҳаларини амалга оширишни давом эттириш чора – тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-2698-сон Қарори, 2017 йил 7 июлдаги „Қишлоқ хўжалиги соҳасида илмий-техник базани ривожлантириш ҳақида“ги ПҚ-3117-сон Қарори, 2018 йил 27 апрелдаги „Инновацион ғоялар, технология ва лойиҳаларни жорий қилиш тизимининг янада такомиллаши чора-тадбирлари тўғрисида“ги, 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 этакчи олимлари қора ва рангли қотишмаларни эритиш учун турли хил технологияларни, шунингдек ишлаб чиқилган технологияларни амалга ошириш учун эритиш агрегатлари лойиҳаларини ишлаб чиқишган. Алюминий қотишмаларини эритиш самарадорлигини ошириш учун газ ва электр эритиш мосламаларининг бир қатор конструксиялари ишлаб чиқилган.

Nabertherm GmbH (АҚШ) компанияси олимлари алюминий қотишмаларини эритиш технологиясини ишлаб чиқишган, бунда суюқлантириш учун энергия сарфини 20 дан 25% гача камайтиш таъминланган. Carbolite Gero (Германия) тадқиқотчилари ҳажми 3000 литргача бўлган иссиқбардош саноат печларини ишлаб чиқдилар, уларда иш камерасининг ҳарорати 1800 ° С гача боради. Aluminium Martigny (Франция) тадқиқотчилари алюминий қотишмаларини қолипга қуйишда оксидланишини камайтириш учун графитли мойлаш материалларини ишлаб чиқдилар. Beijing Holland Co., Ltd. компаниясининг тадқиқотчилари (Хитой-Голландия) алюминийни махсус резервуарларда қайта тиклаш технологиясини ишлаб чиқдилар, бу металлларнинг йўқотилишини 16-20 % га камайтириш имконини берди.

МДХ мамлакатлари олимлари алюминий ва унинг қотишмаларини суюқлантиришда ресурсларни тежаш бўйича муҳим тадқиқотлар ўтказдилар (Купряков Ю.П., Чахотин В.С., Приходко Ю.И.). Улар куйиш миқдорини 20% дан 10% гача камайтириш учун суюқлантириш агрегатларининг конструкцияларини такомиллаштирдилар. А.В. Ванюков, Н.М. Дергачев ва Н.И. Уткинлар металл куйишини камайтириш учун алюминий қотишмаларини суюқлантириш технологияларини ишлаб чиқдилар, қотишмаларни газ ва электр печларида суюқлантириш учун бир қатор технологияларни ишлаб чиқдилар. Ўзбекистон тадқиқотчилари А.О.Шазимов, Ю.Мансуров ва Н.Д.Тураходжаевлар шахтали печларда суюқлантириш пайтида металл йўқотишларини камайтириш технологиясини ишлаб чиқдилар, шлак ҳосил бўлиши ҳамда қаттиқ ва суюқ фазаларни эритиш жараёнида ўзаро таъсир қилиш механизминини ишлаб чиқдилар, газ печларида

суюқлантиришда водород ва оксид қўшимчаларнинг миқдорини 18-20% га камайтиришга имкон берадиган технологиялар ишлаб чиқдилар.

Алюминий қотишмаларини суюқлантириш соҳасида олиб борилган тадқиқотларда эришилган катта ютуқларига карамай, ҳал қилинмаган муаммолар жуда кўп. Масалан, алюминий қотишмаларини суюқлантиришда шихтани эриш жараёнидаги ресурстежамкорликни таъминлайдиган технология ишлаб чиқилмаган. Барча тадқиқотлар асосан электр печларида, газ печларида, индукцион печларида, флюс билан ишлов бериш эса фақат суюқ ваннанинг юзасида амалга оширилган. Асосий тадқиқотлар металл билан печ атмосфераси ўртасидаги физик-кимёвий жараёнлар бўйича олиб борилган, суюқ ванна устидаги оксид плёнкасининг яхлитлиги бузилиши оқибатида водород ва оксид қўшимчаларининг металл ичига диффузияси ҳисобга олинмаган. Электршлак қайта суюқлантиришда графитнинг таъсир этиш характерининг ўзгариши эътиборга олинмаган. Графитли электрод ёрдамида электршлак печида қиздириш жараёнида графитнинг таъсири ўрганилмаган. Суюқ алюминий қотишмалари учун алюминийни унинг оксидидан тиклаш учун қулай шароит яратиб бера оладиган графитли печда алюминий қотишмаларини суюқлантириш технологиясини ишлаб чиқиш бўйича тадқиқотлар ўтказиш зарур ҳисобланади.

**Тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари билан ўзаро боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университетиде илмий-тадқиқот ишлари режаларига биноан 2010 йил 18 октябрдаги №24/10-02-3865/10-сонли «Латун, бронза ва алюминийдан „ОТМК“ АЖ нинг ЦРМЗ шароитида стружка, лом ва рангли металл чиқиндиларидан 10 дона қуйма маҳсулотларини олиш учун флюс ва электршлак қайта суқлантириш технологиясини ишлаб чиқиш» (2010-2012 йй.) ва 2018 йил 2 апрелдаги №52/2 „Алюминий қотишмаларини суюқлантиришда газ ғоваклари ва нометалл қўшимчаларни камайтириш технологиясини ишлаб чиқиш“ (2018-2020 йй.) мавзусидаги лойиҳа хўжалик шартномалари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** алюминий қотишмаларини суюқлантириш жараёнида ресурстежамкорликни таъминлайдиган электршлак печининг конструкциясини такомиллаштиришдан иборат.

**Тадқиқот вазифалари:**

электршлак печида алюминий қотишмаларини суюқлантиришда температурали режимининг қуйиш оқибатидаги металл йўқотишларига таъсирини аниқлаш;

электршлак печи ваннаси конструкциясининг шлак ҳосил бўлишига таъсирини аниқлаш;

графит электродининг диаметри ва печ ваннаси диаметрининг ўзаро нисбатининг ваннадаги ҳарорат градиентига таъсирини аниқлаш;

графит электродининг диаметрига нисбатан металл қуйишига боғлиқлик графигини ишлаб чиқиш;

графит электродларининг жойлашиши ва сонига қараб қотишманинг газ ва нометалл қўшимчаларга тўйинишига таъсирини аниқлаш;

алюминий қотишмаларини суюқлантиришда куйиш миқдорини камайишини таъминлайдиган электршлак печининг конструкциясини такомиллаштириш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида графит электродли электршлак печи, АЛ9 ва АК5М2 маркали алюминий қотишмалари олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** сифатида қотишмани газ ва оксид қўшимчалари билан тўйинганиш жараёни, шунингдек алюминий қотишмаларини суюқлантириш даврида металлнинг куйиши олинган.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Олинган қотишма миқдорий кўрсаткичларини ўрганишда аналитик усуллар - оксид ва газ қўшимчаларининг миқдорий кўрсаткичларини экстракция усули билан аниқлаш, қотишма таҳлили UV-VIS-NIR оптик спектроскопияси ёрдамида амалга оширилган; қотишма микротаркиби SEM-EDX маркали сканерлаш электрон микроскопи ёрдамида нурларнинг ўтиши асосида ўрганилган; қотишма механик хусусиятлари ва тузилиши Empyrean Malvern Panalytical диффрактометр ёрдамида ўрганилган, газнинг ғоваклилигини аниқлаш учун ғоваклилик шкаласи ишлатилган ва қотишманинг кимёвий таркиби сканерловчи электрон микроскопи (Carl Zeiss EVO-MA-10) ёрдамида амалга оширилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

электршлак печининг графит электродли технологияси ва конструкцияси ишлаб чиқилган;

электр ўтказувчи материал сифатида коксдан фойдаланган ҳолда электршлак печида алюминий суюқлантириш технологияси ишлаб чиқилган;

графит электродли электршлак печи ваннасининг конструкцияси ишлаб чиқилган;

графит электродли электршлак печининг металлконструкцияси ишлаб чиқилган;

электршлак печининг электродининг конструкцияси иссиқлик алмашинуви асосида такомиллаштирилган;

алюминий қотишмаларини электршлак печида суюқлантиришда электр ўтказувчан материал сифатида қўлланиладиган кокснинг ўлчамлари электр ўтказувчанлиги асосида оптималлаштирилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

алюминий қотишмаларини суюқлантириш учун электршлак печининг ишлаб чиқилган конструкцияси маеталл куйиш кўринишидаги ресурс йўқотилишини 12-14% камайтиришга имкон беради;

электр ўтказувчан материал сифатида коксдан фойдаланган ҳолда электршлак печида алюминийни суюқлантиришнинг ишлаб чиқилган технологияси печининг ишчи ҳажмини ва унинг унумдорлигини 12-14% га ошириш имконини беради;

графит электродли электршлак печи ваннасининг такомиллаштирилган конструкцияси куйиш миқдорини 1,3-1,5 баравар камайтириш имконини



беради;

графит электродли электршлак печининг ишлаб чиқилган металл конструкцияси футеровканинг хизмат муддатини 5-6% га ошириш имконини беради.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги аниқ қўйилган вазифа асосида олинган, экспериментал тадқиқотлар натижаларини статистик қайта ишлаш маълумотларига асосланади, экспериментлар ва ярим саноат синовларни ўтказиш жараёнида олинган барча лаборатория технологик параметрлари сертификатланган ўлчов асбоблари ва ускуналари ёрдамида, тадқиқот ишлари натижаларини ўрганиш учун замонавий усул ва мосламалар (UV-VIS-NIR оптик спектроскопияси) ёрдамида амалга оширилди. Empyrean Malvern Panalytical диффрактометр, Carl Zeiss EVO-MA-10 сканерлаш электрон микроскопи ускуналари ва экспериментларни математик режалаштириш усулини қўллаб, экспериментлар натижаларининг математик асосида қайта ишлов берилиши замонавий техника ва технологиялардан фойдаланиш асосида аниқланган.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.**

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти алюминий қотишмаларини суюқлантириш имконини берадиган электршлак печининг конструкциясини такомиллаштирилиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти суюқлантиришда металл куйишининг ва суюқлантиришда энергия сарфини камайишини таъминлайдиган электршлак печининг такомиллаштирилган конструкциясини жорий қилиниши билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Алюминий қотишмаларини суюқлантириш учун электршлак печининг конструкциясини такомиллаштириш бўйича олинган натижалар асосида:

электршлак печининг графит электродли технологияси ва конструкцияси “Олмалиқ КМК” АЖнинг Марказий механика таъмирлаш заводига жорий этилган (“Олмалиқ КМК”нинг 2020 йил 5 июндаги 63-209-сон маълумотномаси). Натижада, ресурсларнинг куйиш натижасидаги йўқотишлари 12-14% га камайишига эришилган;

электр ўтказувчи материал сифатида коксдан фойдаланган ҳолда электршлак печида алюминий суюқлантириш технологияси “Олмалиқ КМК” АЖнинг Марказий механика таъмирлаш заводига жорий этилган (“Олмалиқ КМК”нинг 2020 йил 5 июндаги 63-209-сон маълумотномаси). Натижада, печининг ишчи хажми ва унинг иш унумдорлиги 12-14% га оширилишига эришилган;

графит электродли электршлак печи ваннасининг конструкцияси “Олмалиқ КМК” АЖнинг Марказий механика таъмирлаш заводига жорий этилган (“Олмалиқ КМК”нинг 2020 йил 5 июндаги 63-209-сон маълумотномаси). Натижада, яроқли металлнинг чиқиши шлакланишнинг камайиши ҳисобига 1,3-1,5 мартага оширилишига эришилган;

графит электродли электршлак печининг металлконструкцияси “Олмалик КМК” АЖнинг Марказий механика таъмирлаш заводига жорий этилган (“Олмалик КМК”нинг 2020 йил 5 июндаги 63-209-сон маълумотномаси). Натижада, печ футеровкасининг хизмат муддати 5-6% га оширилишига эришилган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Диссертациянинг тадқиқот натижалари 28 та, шу жумладан 20 та Халқаро ва 8 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 12 та мақола, жумладан 10 таси Республика ва 2 таси Хорижий журналларда 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

**Киришда** тадқиқотнинг долзарблиги ва талабчанлигини асослайди, тадқиқотнинг мақсади ва вазифаларини шакллантиради, тадқиқот объекти ва предметини аниқлайди, тадқиқотнинг республика фан ва техника тараққиётининг устувор йўналишларига мувофиқлигини кўрсатади, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижаларини белгилайди, олинган натижаларнинг ишончлилигини асослайди, уларнинг илмий ва амалийлигини очиқ беради. Нашр этилган ишлар ва диссертациянинг тузилиши тўғрисидаги маълумотлар берилган.

Диссертациянинг **"Алюминий қотишмаларининг хоссалари ва уларни суюқлантириш технологиялари ҳамда печларининг конструксиялари замонавий ҳолатининг таҳлили"** деб номланган биринчи бобида турли хил печларда қуйма олиш бўйича тадқиқотлар натижалари келтирилган. Машинасозлик деталларини ишлаб чиқаришда арзон, мустаҳкам ва экологик тоза материаллардан фойдаланиш ҳозирги даврнинг асосий муаммоларидан биридир. Алюминий ана шундай материаллардан бири ҳисобланади. Алюминий ва унинг қотишмалари машинасозлик, электротехника, автомобилсозлик, кемасозлик ва самолётсозликда кенг қўлланилади. Табиатдаги захиралари бўйича алюминий барча металллар орасида биринчи, барча элементлар орасида учинчи ўринда эгаллайди (кислород ва кремнийдан кейин). Ҳажми бўйича алюминий ер қобиғининг 8,6% ни ташкил қилади. Алюминийнинг кенг қўлланилишига қарамай, уни эритиш учун шихта материал сифатида ишлатиш жуда мураккаб. Бу, биринчи навбатда, алюминийнинг хоссаларига боғлиқ. Масалан, хона ҳароратида алюминийнинг юзаси оксидли парда билан қопланади ва ҳарорат

кўтарилгач, бу парданинг қалинлиги бир неча ўн мартага ортади. Маълумки, алюминий галогенидлари - хлорид, бромид, фторидни қиздирганда улар озми-кўпми осон буғланиб кетиши мумкин (масалан,  $\text{AlCl}_3$  180°C да сублимация қилинади).

Бир қатор мамлакатларнинг тадқиқотчилари алюминий қотишмаларини сууюлантириш самарадорлигини ошириш бўйича изланишлар олиб бормоқдалар. Nabertherm GmbH (Германия) олимлари алюминий қотишмаларини сууюклантириш технологиясини ишлаб чиқдилар, бу технология энергия сарфини 20 дан 25% гача камайтириш имконини берган. Рангли металлларни ва махсус қотишмаларни сууюклантириш учун мўлжалланган ушбу ихчам эритиш печлари ноёбдир ва кўплаб техник афзалликларга эга. Стол усти моделлари сифатида ишлаб чиқарилган ушбу печлар турли лаборатория шароитларида қўлланилади. Амортизаторлар ва печнинг олдида қуйма найча билан ишлайдиган амалий ёрдамчи эритмани қуйишда аниқ дозалашни осонлаштиради. Сууюклантириш печ камераларининг ҳарорати 1000 °C , 1300 °C ёки 1500 °C гача етиши мумкин. Бунда сууюклантириш ҳароратидан 80 °C - 110 °C га паст бўлиши талаб этилади. Carbolite Gero (Германия) тадқиқотчилари ҳажми 3000 литргача бўлган иссиқбардош саноат печларини ишлаб чиқдилар, уларда иш камерасининг ҳарорати 1800 °C гача боради. Юқори юкланган СФ серияли сууюлантириш печларининг максимал иш ҳарорати 1400 °C бўлган учта моделда мавжуд. Ушбу печлар рангли металлларни сууюклантириш учун махсус ишлаб чиқилган. Ушбу печлар пўлат панелларнинг катта қисми бўшлиқ қисмларидан ясалган мустаҳкам конструкцияга эга. Силикон карбидли иситиш элементлари иш камерасининг тўрт томонига ўрнатилади ва силикон карбид плиталари билан ҳимояланган. Печ иссиқбардош ғиштдан ишланган ва кремний карбид плиталари билан қопланган. СФ 1 модели битта иш камерасига эга, қолган барча моделларда алоҳида қопқоқли иккита иш камераси мавжуд. Aluminium Martigny (Франция) тадқиқотчилари алюминий қотишмаларининг қолипларга қуйилишида оксидланишни камайтириш учун графит мойлаш материалларини ишлаб чиқишган. Beijing Holland Co., Ltd. компаниясининг тадқиқотчилари (Хитой-Голландия) алюминийни махсус резервуарларда қайта тиклаш технологиясини ишлаб чиқишган.

МДХ мамлакатлари олимлари алюминий ва унинг қотишмаларини сууюклантиришда ресурсни тежаш бўйича муҳим тадқиқотлар ўтказганлар (Ю.П. Купряков, В.С. Чахотин, Ю.И. Приходко). Улар чиқиндиларни 20% дан 10% гача камайтириш учун сууюклантириш мосламаларининг конструкциясини такомиллаш-тиришган. Тадқиқот печ конструкциясига тааллуқлидир, унда жараён заряднинг иситиши ёниш чиқиндиларининг иссиқлиги туфайли содир бўлади. А.В. Ванюков, Н.М. Дергачев ва Н.И. Уткин ўз тадқиқотларини металл чиқиндиларини камайтириш учун сууюклантириш технологиясига бағишган ва қотишмаларни сууюклантириш учун бир қатор технологияларни ишлаб чиқишган. Тадқиқотчилар сууюқ ваннада қотишма эритиш режимини ишлаб чиқганлар, бу эса сууюқ эритманинг печ атмосфераси

билан мулоқот қилишининг олдини олишга имкон берди. Ўзбекистон тадқиқотчилари А.О. Шазимов, Н.Д. Тураходжаев ва Й. Мансуровлар томонидан ишлаб чиқилган: ваннали печларда суюқлантириш жараёнида металлнинг куйиш асосидаги йўқотишларини камайтириш технологиясини; шлак ҳосил бўлиш механизми ва суюқлантириш пайтида қаттиқ ва суюқ фазаларнинг ўзаро таъсири; водород ва оксид билан тўйинишини 18-20% камайтиришга имкон берадиган газли печларда суюқлантиришнинг янги технологияларини ишлаб чиқишган. Н.Д.Тураходжаев алюминийни оксидларидан юқори ҳароратда ишлов бериш усули билан тиклаш технологиясини ишлаб чиқган. Ушбу технология алюминийни шлакдан 25-27% гача қайта тиклаш имконини берган.

Диссертациянинг **"Тадқиқот усулларини ишлаб чиқиш"** деб номланган иккинчи бобида олинган қотишмаларнинг асосий хусусиятларини аниқлаш усули келтирилган. Олинган қотишма миқдорий кўрсаткичларини ўрганаётганда аналитик усуллар оксид ва газ кўшимчаларининг миқдорий кўрсаткичларини экстракция усули билан аниқланилди, қотишмани таҳлил қилиш UV-VIS-NIR маркали оптик спектроскопия ёрдамида амалга оширилди; олинган қотишма кўрсаткичлари экстракция усули билан оксид ва газ кўшимчаларининг миқдорий кўрсаткичларини аниқлашнинг аналитик усулларидан фойдаланилган, қотишма таҳлили UV-VIS-NIR маркали оптик спектроскопия ёрдамида амалга оширилган; қотишма SEM-EDX маркали сканерлаш электрон микроскопи ёрдамида нурларнинг ўтиши асосида ўрганилган; қотишманинг механик хусусиятлари ва тузилиши Empyrean Malvern Panalytical диффрактометр ёрдамида ўрганилган, газнинг ғоваклилигини аниқлаш учун ғоваклилик шкаласи ишлатилган ва кимёвий сканерлаш электрон микроскопи (Carl Zeiss EVO-MA-10) ёрдамида лаборатория синовлари ўтказилган. EVO-MA-10 Электрон микроскопларини сканерлашнинг ишлаш принципи электрон нурларининг объект юзаси билан ўзаро таъсирига асосланган. Электрон нурлари микроскоп ёрдамида тасвир ҳосил бўлган объект сиртининг ушбу қисмини доимий равишда кўздан кечиради. Бундай ҳолда, объект сиртининг ҳар бир нуқтаси, микроскопларнинг кўриш доираси чегараларида, ҳосил бўлган тасвирнинг тегишли нуқтаси билан кўрсатилади. Электрон нур бир нарсанинг юзаси билан ўзаро таъсирлашганда, бир вақтнинг ўзида бир нечта жавоб сигналлари пайдо бўлади. Ҳозирги вақтда қайси сигнал детектори ёқилганига қараб, микроскоплар маълум бир тасвирни ҳосил қилади. Микроскоплар горизонтал текисликдаги геометрик масофаларнинг проекциясининг узунлигини ўлчайди, яъни объектнинг текис ва горизонтал йўналтирилган юзасида мос келадиган нуқталар орасидаги масофани.

Қотишмадаги водород миқдори вакуум экстракцияси усули билан аниқланди. Ушбу усул таҳлил қилинган намунадан юқори вакуум шароитида газларни тўлиқ ажратишга ва экстракция тугагандан сўнг чиқадиган газ миқдорини аниқлашга асосланган. Эритилган газни металлдан ажратиш учун ҳарорат ва босим туфайли газ-металл тизимининг термодинамик мувозанати

газ фазасига қараб силжийди. Қаттиқлаштирилган намунадан диаметри 8 мм ва узунлиги 20 мм бўлган намуналар кесиб олинди. Тайёр намуналар аналитик ва электрон тарозида тўртинчи ўнли қаср аниқлиги билан тортилди ва этил спиртида ювилди.

Газнинг ғоваклилигини аниқлаш учун олинган қотишмадан кесиб олинган намуналар  $R_a$  ғадир будирликдан 1,6 мкм дан ошмаган. Газнинг ғоваклилигини аниқлаш учун макросекция макроструктура узатилди, сўнгра оқадиган сув билан ювилди ва филтр қоғози билан қуритилди. Газнинг ғоваклилигини аниқлаш учун ғоваклилик шкаласи ишлатилган. Макросекцияларнинг ғоваклилик даражаси баллар мезонлари билан таққослаб ўрнатилди. Намуналарнинг газ ғоваклилиги ҳар бири 1 см<sup>2</sup> бўлган учта квадрат бўйича аниқланди. Олинган эритмадаги алюминий оксиди миқдори фотометрик усулда аниқланди.

Оғирлиги 1,00 грамм бўлган плиталар шаклидаги намуналар оксид плёнкасидан тозаланган ва этил спирти қатлами остида сақланган. Ўлчашдан олдин намунани филтр қоғози билан қуритиб, ҳажми 100 см<sup>3</sup> бўлган идишга солиб, ичига 1 грамм намуна учун 70 см<sup>3</sup> миқдорида реакция аралашмаси қуйилади. Эритманинг оптик бўшлиги 535 мм тўлқин узунлигида ПФМ алангаси фотометрик фотометр ёрдамида қатлам қалинлиги 45-50 мм бўлган кюветда ўлчанди. Йўналтирувчи эритма алюминийсиз барча реактивларни ўз ичига олган сув бўлган.

Диссертациянинг **"Алюминий қотишмаларини эритиш учун электршлак печининг конструкциясини такомиллаштириш"** деб номланган учинчи боби алюминий қотишмаларини суёқлантириш учун электршлак печининг конструкциясини такомиллаштиришга бағишланган.

Алюминий қотишмаларини суёқлантириш учун электршлак печнинг конструкциясини такомиллаштириш бўйича экспериментал тадқиқотлар ўтказиш учун Тошкент давлат техника университети "Қуймакорлик технологиялари" ва "Машинасозлик технологияси" кафедраларининг лаборатория шароитида алюминий қотишмаларини, хусусан АЛ9 ва АК5М2 қотишмалари устида экспериментал тадқиқотлар олиб борилди. Шу мақсадда кафедра лабораторияларида бир нечта электр печлари, хусусан, қуввати 50 кг/соат бўлган электр қаршилик печи, 60 кг/соат қувватли индукцион печ ва 25 кг/соат қувватли графит электродлари бўлган электршлак печи ўрнатилди.

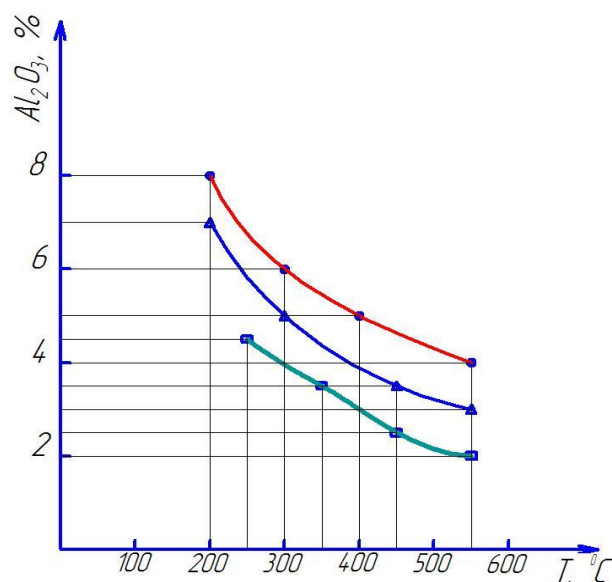
Электр ўтказувчи қатлам сифатида кўмир коксидан фойдаланиш самарали бўлиб, у ўтказувчан материалдан ташқари эркин углерод манбаи сифатида ҳам хизмат қилиши мумкин. Ёйни барқарорлаштириш ва керакли ҳарорат зонасини кенгайтириш учун графит электродли электршлак печида ўртача диаметри 60-70 мм бўлган кокс ишлатилган. Печнинг қиздириш ҳарорати алюминийнинг ҳар хил печларда оксидланиш миқдorigа таъсирини аниқлаш учун ҳар хил қиздириш ҳарорати билан тажрибавий суёқлантириш амалга оширилди. Тадқиқот натижалари 3.1-жадвалда келтирилган.

### 3.1. жадвал

#### Эритмада алюминий оксиди таркибидаги ҳар хил печлар учун заряднинг қизишига қараб ўзгариши.

№	Эриш режими	Печга юкланишидан олдин заряднинг қиздириш ҳарорати, °С	Эритмада алюминий оксиди миқдори, %
1	Ҳароратни қиздиргандан сўнг зарядни индукцион печига йуклаш	200-250	7-8
		300-350	6-7
		400-450	5-6
		500-550	4-5
2	Ҳароратни қиздиргандан сўнг зарядни электрга чидамли печга юклаш	200-250	6-7
		300-350	4-6
		400-450	3-5
		500-550	3-4
3	Зарядни ҳароратгача қиздиргандан сўнг электрошлак печига юклаш	200-250	4-5
		300-350	3-5
		400-450	2-4
		500-550	2-3

Олинган натижалар асосида қотишманинг оксид ташкил этувчилари таркибига боғлиқликнинг графикалари қиздириш ҳароратига қараб ишлаб чиқилган. 3.1-расмда қотишмага оксид қўшимчалар таркибидаги ўзгаришлар, печга юкланишидан олдин шихтанинг қизишига боғлиқ даражаси аниқланган. Шихтани қиздириш ҳарорати қиёсий таҳлил натижаларига кўра, уни печга 500-550 °С ҳароратгача юкласдан олдин қиздириш мақсадга мувофиқ деган хулосага келиш мумкин.



**3.1-расм. Печга юкласдан олдин шихтанинг қиздирилишига боғлиқ равишда оксид қўшимчалари ўзгариш графиги.**

Печ ваннаси шаклининг электршлак печида металлниги оксидланишига таъсирини аниқлаш бўйича илмий тадқиқотлар ўтказиш учун квадрат, тўртбурчаклар, эллипс, думалок, ромб ва трапеция шаклларидаги ванна устида тадқиқотлар олиб борилди. Тадқиқот натижалари 3.2-жадвалда келтирилган. Тадқиқот натижаларига кўра, электршлак печининг ваннаси кесимининг энг самарали шакли думалок шакл бўлиб, унумдорлиги 90-92% ни ташкил қилади.

3.2.жадвал

**Электр шлакли печнинг ваннаси кесимининг шакли чиқиндилар миқдорига таъсирини аниқлаш бўйича тадқиқот ишлари натижалари.**

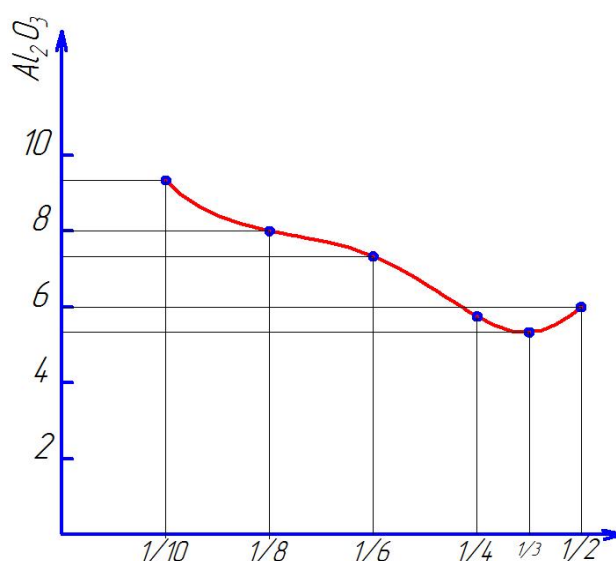
№	Электрослагли печ ҳаммомининг кесма шакли	Электршлак печидан мос металнинг чиқиши, %	Эслатма
1	Квадрат	70-74	Ҳаммомнинг бурчакларидаги металлниги тўпланиши
2	Тўғри бурчак	65-66	Бурчаклардаги металл тўпланиши
3	Эллипс	84-85	Узоқ бурчаклардаги ҳароратнинг пасайиши
4	Думалок	90-92	Ҳароратнинг бир хил тақсимланиши
5	Ромб	70-72	Ромбнинг бурчакларидаги ҳароратнинг пасайиши
6	Трапеция	76-78	Нисбатан тенг тақсимланиш

Тадқиқот ишларининг навбатдаги босқичи печ ваннасининг кўндаланг кесим юзаси диаметрининг электрод кесимига нисбатини аниқлашдир. Илмий тадқиқотлар учун электроднинг диаметри печ кўндаланг кесимининг диаметри электрод диаметрига нисбатан 1/10, 1/8, 1/6, 1/4 ва 1/2 га нисбатан танланган. Электродлар графитлидир, шунинг учун кичикроқ диаметрли электродлар катта диаметрликдан кесиб олинган. 3.3-жадвалда ваннанинг ванна кесимининг электрод диаметрига оптимал нисбатини аниқлаш бўйича тадқиқот ишлари натижалари кўрсатилган. 3.6-расмда печ ваннаси диаметрининг электрод диаметрига нисбатига қараб қотишмада оксид қўшимчалар таркибидаги ўзгаришлар графикалари кўрсатилган. 3.2-расмда эритма таркибидаги газ қўшимчалари таркибидаги печ ваннаси диаметрининг электрод диаметрига нисбатига қараб ўзгаришлар келтирилган.

3.3.жадвал

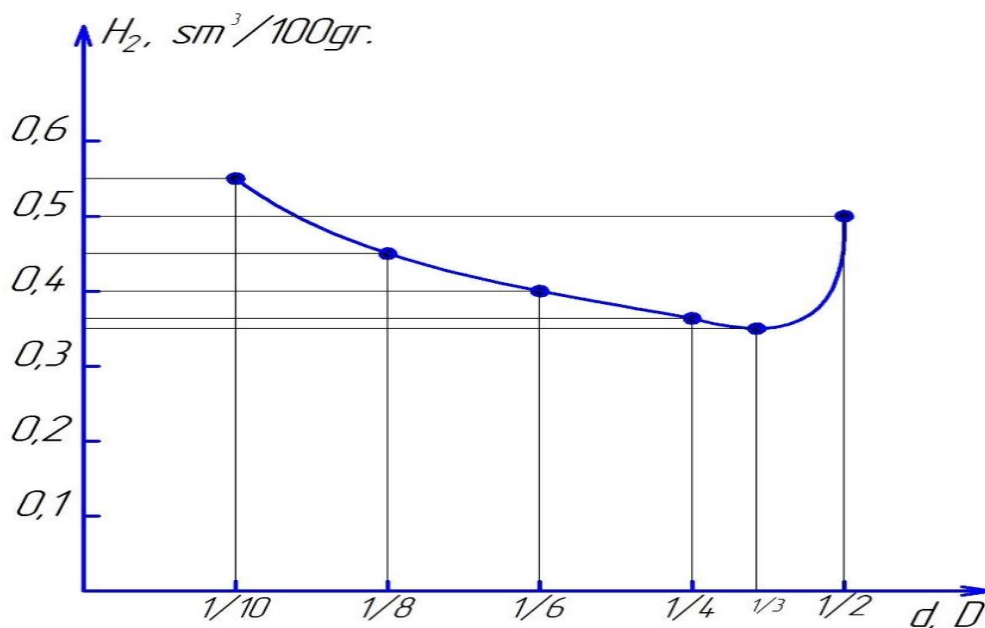
**Ваннанинг тасаввурлар кесимининг электрод диаметрига оптимал нисбатини аниқлаш бўйича тадқиқот ишлари натижалари.**

№	Электрод диаметрининг ваннанинг кесимининг диаметрига нисбати	Эритмада водород миқдори, см <sup>3</sup> /100гр	Эритмада алюминий оксиди миқдори, %
1	1/10	0,55-0,56	8-9
2	1/8	0,44-0,46	7-9
3	1/6	0,40-0,42	7-8
4	1/4	0,38-0,40	6-7
5	1/3	0,34-0,36	4-5
6	1/2	0,52-0,54	5-6



3.2-расм. Эритмада оксид қўшимчалари таркибидаги ўзгариш, ўчоқ ҳаммоми диаметрининг электрод диаметрига нисбати билан боғлиқ ҳолда





**3.3-расм. Эритмада газ қўшимчалари таркибидаги ўзгариш, ўчоқ банёсунун диаметри ва электрод диаметрига боғлиқлигига боғлиқ.**

Тадқиқот натижаларига кўра, электрод диаметрининг электршлак печи ваннасининг кўндаланг кесимининг диаметрига энг мақбул нисбати 1/3 га тенг, бунда қотишмадаги водород миқдори 0,36 см<sup>3</sup>/100 гр дан ошмайди ва оксид қўшимчалар миқдори 4-5% ни ташкил этади.

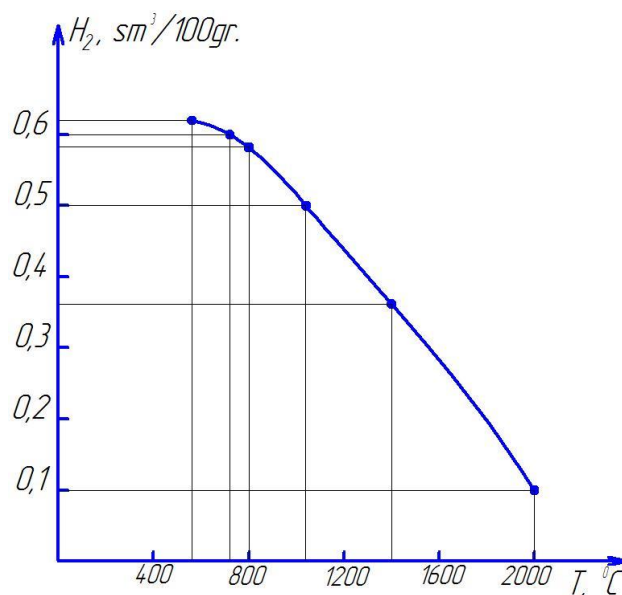
3.5-жадвалда флюсининг ҳимоя қатлами остида алюминий қотишмасининг юқори ҳароратда қиздириш ҳароратини аниқлаш бўйича тадқиқотлар натижалари келтирилган.

3.4.жадвал

**Оқимнинг ҳимоя қатлами остида алюминий эритмасининг ҳаддан ташқари қизиб кетишининг оптимал ҳароратини аниқлаш бўйича тадқиқотлар натижалари.**

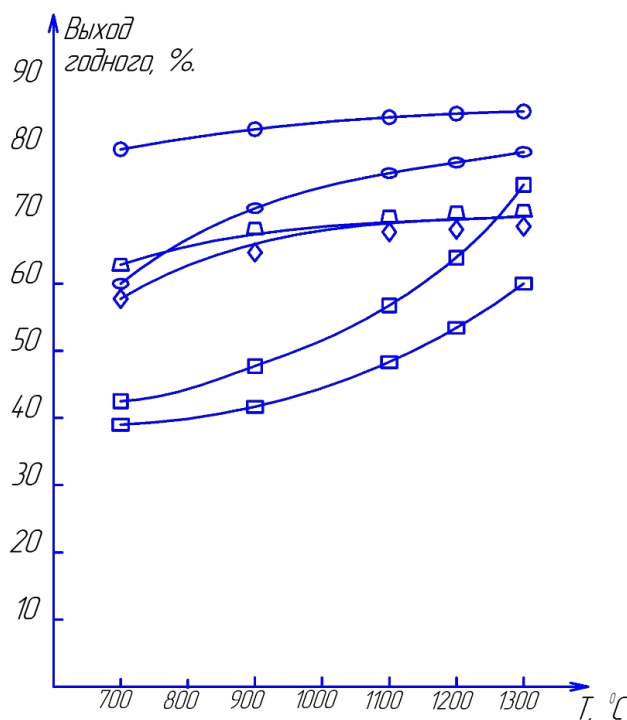
№	Эритманин г ҳаддан ташқари қизиши ҳарорати, °С	Эритма таркибига оксид қўшилиши, %	Эритмада водород миқдори, см <sup>3</sup> /100гр
1	2	3	4
2	600-650	2-3	0,60-0,62
3	700-750	2-3	0,56-0,58
4	800-850	1-3	0,52-0,54
5	900-950	1-3	0,50-0,54
6	1400-1500	1-2	0,34-0,36
7	1900-2000	0,6-0,7	0,14-0,18

3.4-расмда қотишма таркибидаги газ қўшимчалари таркибидаги оксид қўшимчалар қотишманин г рафинирловчи флюс муҳитида қиздириш ҳароратига қараб ўзгариши келтирилган.



**3.4-расм. Эритма таркибидаги газ қўшимчалари таркибидаги эритманинг тозаловчи оқим муҳитида қизиб кетиши ҳароратига қараб ўзгариши.**

Қотишманинг юқори ҳароратда қизиш ҳароратининг рафинирловчи флюс қатламига таъсирини аниқлаш асосида қуймаларнинг рентабеллигини ўрганиш ишлари олиб борилди. Шихта печкага уни қиздирмасдан олдин юкланган, аммо флюснинг қатлами остида қиздириб борилган. Графитли печга рафинирлаш флюсига умумий флюс таркибининг 5 дан 15% гача миқдорда қўшилган. 3.5-расмда рафинирловчи флюс остидаги қотишманинг юқори ҳароратда қизиш ҳароратига қараб, жараён рентабеллиги ўзгариши графикалари келтирилган.

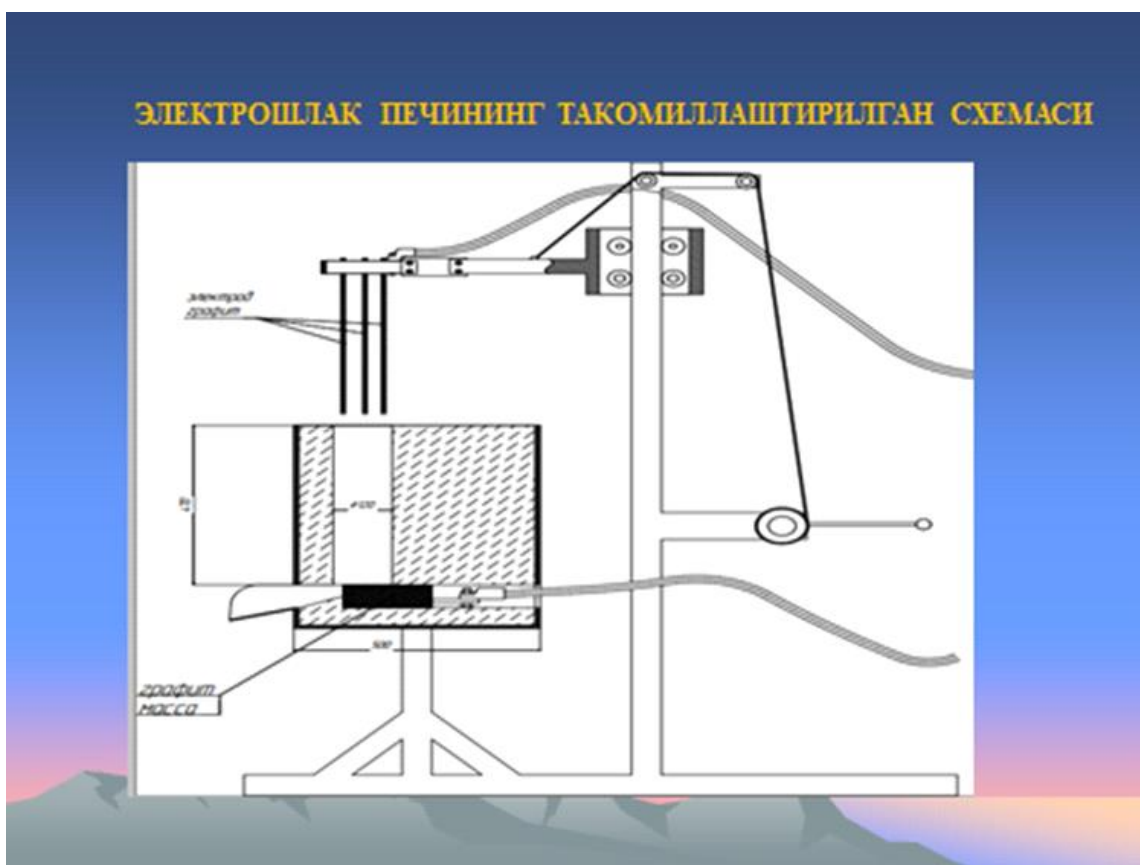


**3.5-расм. Тозалаш оқими қатлами остида эритманинг ҳаддан ташқари қизиши ҳароратига қараб, мос тўқималарнинг рентабеллиги ўзгариши**

Тақдим этилган маълумотлардан кўриниб турибдики, суяқ алюминий қотишмасининг энг самарали қизиб кетиши ҳарорати 1900°C дан 2000 °C гача бўлган ҳарорат оралиғидир. Кўриниб турибдики, бу алюминий оксидлари билан реакцияга киришадиган ва юқори ҳароратда алюминийни камайтирадиган эркин углерод мавжудлиги билан боғлиқ.

**"Ишлаб чиқариш шароитига ишлангани жорий қилиш ва ишланганининг математик моделини яратиш"** деб номланган тўртинчи бобида "АГМК" ОАЖда жорий қилиш учун олиб боирлган тадқиқот натижалари келтирилган.

Олмалиқ кон-металлургия комбинати РМЗ шароитида алюминий қотишмаларини юқоридаги схемалардан фарқли равишда электршлак қайта эритиш технологияси таклиф қилинган. Алюминий қотишмаларини эритиш учун электршлак печининг такомиллаштирилган дизайни диаграммаси 4.1-расмда келтирилган.



**4.1-расм. Алюминий қотишмаларини эритиш учун электршлак печининг такомиллаштирилган дизайни диаграммаси**

Такомиллаштирилган электршлак печининг математик моделини тузиш учун алюминий қотишмаларини суяқлантириш жараёнини кўриб чиқилди. Иссиқлик жараёнининг тахлили қуйидагидан ташкил топади: минимал куйишда печининг стабил ишлашини таъминлайдиган суяқлантириш жараёнининг шароитига кўра печ ваннасининг оптимал параметрларини

аниқлаш (металлдаги водород ва куйиш миқдори, ишлаб чиқариш қуввати, қотишманинг талаб этилган ҳарорати), ҳамда электр ёй қурилмасининг куйишдаги берилган шароитни таъминлаш.

Тақомиллаштирилган электршлак печининг ҳисоб схемаси куйдаги кўрсаткичлар билан характерланади:

$G$ - ишлаб чиқариш қуввати, кг/с;

$M_I$ - электршлак печидаги металл массаси, кг;

$M_{\omega}$  - ваннадаги металл массаси, кг;  $V_{\omega}$  - ванна ҳажми, м<sup>3</sup>;

$F_{\omega}$  - ваннадаги шихта юзаси, м<sup>2</sup>;  $\Omega_{y\omega}$  - шихтанинг нисбий юзаси

$\Omega_{y\omega} = \frac{F_{\omega}}{M_{\omega}} \text{ м}^2 / \text{кг}$ ;  $M$  - металл массаси, кг;  $M_{пл}$  – суюқ металл массаси, кг;

$M_T$ - қаттиқ металл массаси, кг;

$F'_k$  - метметалл юзаси, м<sup>2</sup>;

$F''_k$  - суюқ металл юзаси, м<sup>2</sup>;

$F_3$  - ванна кўндаланг кесим юзаси, м<sup>2</sup>;

$F_{31}$ - электрод кўндаланг кесим юзаси, м<sup>2</sup>;

$l_I$  – иссиқбардош қатлам қалинлиги, м;

$B_I$  – ванна узунлиги, м;  $B$  - печ умумий узунлиги, м;  $H$  – ваннадаги қотишма чуқурлиги, м;  $H_0$  – металлдан бўш қисми баландлиги, м;  $B_2$  – электрод узунлиги, м.

Ишлаётган печнинг физик кўрсаткичлари:  $C_{ГКМ}$ –газ, шибба ва металлнинг ўзаро нурланиши коэффиценти, Дж (м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>·с (Вт/м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);  $K_v$  – шахтанинг ҳажмий коэффиценти, Дж/м<sup>3</sup>·К·с (Вт/м<sup>3</sup>·К);  $\alpha_k$  - конвектив иссиқлик узатиш коэффиценти, Дж/м<sup>2</sup>·К·с (Вт/м<sup>2</sup>·К);  $\lambda_{\omega}$  - шихта ашеси иссиқлик узатиш коэффиценти, Дж/м·с·К (Вт/м·К);  $c$  – алюминий иссиқлик сифими (қотишма), Дж/кг·К (ккал/кг·К);  $\lambda_{жс}$  - суюқ алюминий иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти, Дж/м·с·К (Вт/м<sup>2</sup>·К).

Металл ўз навбатида  $T'_{\omega}$  дан  $T_M$  гача электр ёй ҳисобига қизийди. Шунинг учун қаттиқ ва суюқ фазаларни куйидагича қабул қилса бўлади:

$$T_M'' \approx T_{пл}$$

Барча печларда иссиқлик билан ишлов берилганида юқори юзага эга бўлган металл ташкил этувчилар мавжуд, уларнинг иссиқлик алмашинувдаги барча жараёнда иштирок этиши ва иссиқлик алмашинув интенсивлиги асосий вазифани бажаради.

Иссиқлик алмашинув жараёни шихтанинг суюқлантиришга тайёрлик даражаси, бу эса печнинг техник-иқтисодий кўрсаткичларига таъсир кўрсатади. Печнинг иқтисодий самараси эса икки нарсанинг амалга ошиши билан белгиланади: шихтанинг минимал куйиш билан суюқланиши ва унинг

химоя қобиғи остида суюқланиши, бу ўз навбатида қотишмадаги газларнинг миқдорини камайтириш имконини беради.

Печга кириб келган иссиқлик 4 та ташкил этувчилардан иборат:

1. Ёниш маҳсулотлари билан чиқиб кетаётган иссиқлик, у қуйидагича аниқланади

$$Q_1 = \beta_0 V_y C' T_y',$$

2. Печ деворларининг суюқ металлдан ҳоли қисмининг иссиқлик ўтказувчанлиги билан

$$Q_2 = \frac{T_{CP}' - T_0}{\frac{1}{\alpha_1 F_1} + \frac{S_1}{\lambda_1 F_1} + \frac{S_2}{\lambda_2 F_2} + \frac{S_3}{\lambda_3 F_3} + \frac{1}{\alpha_2 F_4}},$$

3. Юқори тирқиш орқали нур таратиш билан иссиқлик йўқотишлари

$$Q_4 = C_{ГКМ} (T_{CP}')^4 \cdot F_{OK}' \cdot \varphi i (1 - \Psi),$$

4. тирқишлардан чиқиб кетаётган иссиқлик орқали йўқотишлар

$$Q_5 = V_{выб} \cdot i_{Г1} (1 - \Psi)$$

Математик моделни куришда юқорида келтирилган кўрсаткичлар ташкил этувчиларнинг тўлиқ таркибий қисми билан тузилган бўлиб, бу такомиллаштирилган электршлак печида алюминий қотишмаларини суюқлантириш асосий параметрларининг моделини тузишга хизмат қилди.

## ХУЛОСА

Диссертатсия бўйича умумий хулосалар:

"Алюминий қотишмаларини суюқлантириш учун электршлак печнинг конструкциясини такомиллаштириш" мавзусидаги диссертация бўйича олиб борилган тадқиқотлар асосида қуйидаги хулосалар келтирилган:

1. Графит электродли электршлак печининг технологияси ва конструкцияси ишлаб чиқилган. Бу металлларнинг куйиш миқдорини камайтиришга хизмат қилади.

2. Коксни электр ўтказувчан материал сифатида ишлатиб, электршлак печида алюминий эритиш технологияси ишлаб чиқилди. Бу печнинг иш хажмини ва унинг унумдорлигини оширишга хизмат қилади.

3. Графит электродли электршлак печнинг ваннасининг конструкцияси ишлаб чиқилган. Бу шлакланишни камайтириш ҳисобига металлнинг чиқиш миқдорини оширишга хизмат қилади.

4. Графит электродли электршлак печининг металл конструкцияси ишлаб чиқилган. Бу печ футеровкасининг хизмат муддатини оширишга хизмат қилади.

5. Электршлак печи электродининг конструкцияси такомиллаштирилган. Бу электрод сарфини 8-10% камайтиришга хизмат қилади.

6. Электр шлак печда алюминий қотишмаларини суюқлантиришда электр ўтказувчан материал сифатида кокс ўлчамини оптималлаштиришга эришилган. Бу печнинг самарадорлигини 12-14 % га оширишга хизмат қилади.

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

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**ТУРСУНОВ ТОХИР ХОЖИАКБАРОВИЧ**

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ  
ПЕЧИ ДЛЯ ПЛАВКИ АЛЮМИНИЕБЫХ СПЛАВОВ**

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

**АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам**

**Ташкент- 2020**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2018.2.PhD/T724.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете. Автореферат диссертации на двух языках (узбекский, русский и английский (резюме)) размещен на веб-странице ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) и информационно-образовательном портале «Ziyouet» ([www.ziyouet.uz](http://www.ziyouet.uz)).

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

**Официальные оппоненты:** Абдуллаев Фатхулла Сагдуллаевич  
доктор технических наук, профессор  
Худояров Сулейман Рашидович  
кандидат технических наук, доцент


**Ведущая организация:** Андижанский машиностроительный институт

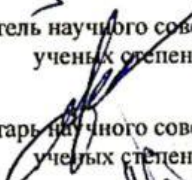
Защита диссертации состоится «5» декабря 2020 года в 13<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.03.04 при Ташкентском государственном техническом университете. (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел./ факс:(99871)227-10-32, e-mail: [tadqiqotchi@tdtu.uz](mailto:tadqiqotchi@tdtu.uz))


С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрирована за №181). (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.:(99871)227-10-32.)

Автореферат диссертации разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 года.  
(реестр протокола рассылки № 116 от « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 года).



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

  
**Ф.Р.Норхуджаев**  
научный секретарь научного совета по присуждению  
ученых степеней, д.т.н., профессор

  
**Ф.С.Абдуллаев**  
Председатель научного семинара при научном совете  
по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор



## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии по техническим наукам (PhD))**

### **Актуальность и востребованность темы диссертации.**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире на сегодняшний день разработка технологий по ресурсо-и энергосбережению при плавке черных и цветных сплавов приобретает особую важность. В связи с этим разработка новых конструкций плавильных агрегатов, обеспечивающие ресурсосбережение является одной из важных задач современности. В этом направлении во многих развитых странах, включая США, Германию, Францию, Японию, Россию, Украину и Китай уделяется особое внимание снижению потерь металла при плавлении в плавильных агрегатах.

Во всем мире проводятся целевые научно-исследовательские работы по созданию новых и усовершенствованию существующих конструкций плавильных агрегатов, разработке технологии ведения плавки алюминиевых сплавов, производство которых имеет свою особенность ввиду большего родства алюминия с кислородом. В странах СНГ, в том числе России и Украине разрабатывают новые конструкции электрических и газовых печей для снижения ресурсо-и энергозатрат. В этом направлении приобретает особое значение проведение научных исследований по разработке новых конструкций плавильных агрегатов, позволяющих предотвратить окисление алюминия кислородом, что обеспечит ресурсосбережение при плавке.

В Республике Узбекистан ведутся исследовательские работы по усовершенствованию конструкций газовых и электрических плавильных агрегатов, а также технологий плавки алюминиевых сплавов, позволяющих снизить потери металла 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 усовершенствованию конструкций плавильных печей, повышению ресурсосбережения 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»<sup>1</sup>. Для выполнения данных задач, в частности для обеспечения ресурсосбережения при плавке алюминиевых сплавов, первоначально важной задачей считается разработка новой конструкции алюминиево плавильного агрегата и технологии ведения плавки в этой печи. Данное диссертационное исследование в определенной степени

---

<sup>1</sup> №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

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 П. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

**Степень изученности проблемы.** Ведущие учёные мира разработали различные технологии ведения плавки черных и цветных сплавов, а также конструкции плавильных агрегатов для осуществления разработанных технологий. Для повышения эффективности плавки алюминиевых сплавов были разработаны ряд конструкций газовых и электрических плавильных агрегатов.

Учёными компании Nabertherm GmbH (США) разработана технология плавки алюминиевых сплавов, обеспечивающая снизить энергозатраты на плавку от 20 до 25%. Исследователями компании Carbolite Gero (Германия) разработаны ряд промышленных износостойких печей с нагревательными камерами объемом до 3000 литров, в которых температура рабочей камеры достигает до 1800°C. Исследователи компании Aluminium Martigny (Франция) разработали графитовые смазочные материалы для снижения окисляемости алюминиевых сплавов при заливке в формы. Исследователи компании Beijing Holland Co., Ltd. (Китай-Голландия) разработали технологию восстановления алюминия в специальных резервуарах, что позволило снизить потери металла на 16-20 %.

Учёными стран СНГ проведены важные исследования ресурсосбережению при плавке алюминия и его сплавов (Купряков Ю.П., Чахотин В.С., Приходько Ю.И.). Они усовершенствовали конструкции плавильных агрегатов для снижения угара с 20 % до 10 %. А.В. Ванюков, Н.М. Дергачёв и Н.И. Уткин разработали технологии плавки алюминиевых сплавов для снижения угара металла, разработали ряд технологий для плавки сплавов в газовых и электрических печах. Исследователи Узбекистана А.О.Шазимов, Ю.Мансуров и Н.Д.Тураходжаев разработали технологию снижения безвозвратных потерь металла при плавке в шахтных печах, разработали

механизм шлакообразования и взаимодействия твёрдых и жидких фаз при плавке, разработали новые технологии ведения плавки в газовых печах позволяющие снизить содержание водорода и окисных включений на 18-20 %.

Несмотря на большие достижения исследований в области плавки алюминиевых сплавов, существует немало нерешенных проблем. Например, не разработана технология ведения плавки алюминиевых сплавов обеспечивающая ресурсосбережение при оплавлении шихты. Все исследования проводились в основном в электрических печах сопротивления, газовых печах, индукционных печах, обработка флюсами велась только на поверхности жидкой ванны. Основные исследовательские работы проводились над физико-химическими процессами между металлом и атмосферой печи, исследовались процессы диффундирования водорода и окисных включений за счёт нарушения целостности окисной плёнки над жидкой ванной. Не были учтены изменения характера воздействия графита при электрошлаковом переплаве. Не проводились исследования по изучению процесса перегрева металла графитовым электродом в электрошлаковых печах с нерасходуемым электродом. Разработка технологии плавки алюминиевых сплавов в электрошлаковых печах с графитовым электродом, который обеспечивает для жидкого алюминия благоприятные условия восстановления его оксидов 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 Ташкентского государственного технического университета в рамках проектов по темам №24/10-02-3865/10 от 18 октября 2010 года «Разработка флюсов и технологии электрошлакового переплава из стружки, лома, отходов цветных металлов, для получения слитков латуни, бронзы, алюминия в условиях ЦРМЗ АО «АГМК» в количестве 10 штук» (2010–2012, 2014–2016 гг.) и № 52/2 от 2 апреля 2018 года «Разработка технологии переплава шихты алюминидневых сплавов для снижения газовых пор и неметаллических включений» (2018–2020 гг.).

**Цель исследования** состоит в усовершенствовании конструкции электрошлаковой печи для плавки алюминиевых сплавов, обеспечивающей ресурсосбережение при плавке.

**Задачи исследования:**

определение влияния температурного режима ведения плавки алюминиевого сплава в электрошлаковой печи на потери металла вследствие угара;

определение влияния конструкции ванной части электрошлаковой печи на шлакообразование в ванне;

определение влияния соотношений диаметра графитового электрода и

диаметра ванны печи на температурный градиент в ванне;

разработка графика зависимости угара металла в зависимости от диаметра графитового электрода;

определение влияния насыщения расплава газовыми и неметаллическими включениями в зависимости от расположения и количества графитовых электродов;

усовершенствование конструкции электрошлаковой печи обеспечивающей снижение угара при плавке алюминиевых сплавов.

**Объектом исследования** являются конструкция электрошлаковой печи с нерасходуемым графитовым электродом, алюминиевые сплавы марки АЛ9 и АК5М2.

**Предметом исследования** является процесс насыщения расплава газовыми и окисными включениями, а также угар металла при плавке алюминиевых сплавов.

**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:

разработана технология и конструкция электрошлаковой печи с графитовым электродом;

разработана технология ведения плавки алюминия в электрошлаковой печи с использованием кокса в качестве электропроводящего материала;

конструкция ванны электрошлаковой печи с графитовым электродом;

металлоконструкция электрошлаковой печи с графитовым электродом;

усовершенствована конструкция электрода электрошлаковой печи позволяющая снизить расход электрода на 8-10%;

оптимизирован размер кокса как электропроводящий материал при плавке алюминиевых сплавов в электрошлаковой печи позволяющий повысить эффективность работы печи на 12-14%.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработанная конструкция электрошлаковой печи для плавки алюминиевых сплавов позволяет снизить потери ресурса в виде угара на 12-14 %;

разработанная технология ведения плавки алюминия в электрошлаковой печи с использованием кокса в качестве электропроводящего материала

позволяет увеличить рабочее пространство печи и её производительность на 12-14 %;

разработанная конструкция ванны электрошлаковой печи с графитовым электродом позволяет увеличить выход годного металла за счёт снижения зашлакованности в 1,3-1,5 раза;

разработанная металлоконструкция электрошлаковой печи с графитовым электродом позволяет повысить срок службы футеровки на 5-6 %.

**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 усовершенствовании конструкции электрошлаковой печи позволяющей вести плавку алюминиевых сплавов, разработке новой технологии ведения плавки алюминиевых сплавов в электрошлаковой печи.

Практическая значимость результатов исследования заключается в экономической эффективности от внедрения усовершенствованной конструкции электрошлаковой печи и технологии, обеспечивающих снижение потерь металла на угар и энергозатрат на плавку.

**Внедрение результатов исследования.** На основании полученных результатов по усовершенствованию конструкции электрошлаковой печи для плавки алюминиевых сплавов разработаны и внедрены в производство:

технология и конструкция электрошлаковой печи с графитовым электродом внедрена на центральном механическом заводе АО «Алмалыкский ГМК» (справка №АЮ-18-76 АО «Алмалыкский ГМК» от 20 мая 2018 года). В результате внедрения новой конструкции электрошлаковой печи для плавки алюминиевых сплавов, потери ресурса в виде угара снизились на 12-14 %;

технология ведения плавки алюминия в электрошлаковой печи с использованием кокса в качестве электропроводящего материала внедрена на центральном механическом заводе АО «Алмалыкский ГМК» (справка №63-209 АО «Алмалыкский ГМК» от 05 июня 2020 года). В результате внедрения разработанной технологии рабочее пространство печи и её производительность увеличилась на 12-14 %;

конструкция ванны электрошлаковой печи с графитовым электродом внедрена на центральном механическом заводе АО «Алмалыкский ГМК» (справка №63-209 АО «Алмалыкский ГМК» от 05 июня 2020 года). В

результате внедрения конструкции ванны позволило увеличить выход годного металла за счёт снижения зашлакованности в 1,3-1,5 раза;

металлоконструкция электрошлаковой печи с графитовым электродом внедрена на центральном механическом заводе АО «Алмалыкский ГМК» (справка №63-209 АО «Алмалыкский ГМК» от 05 июня 2020 года). В результате внедрения металлоконструкции повысился срок службы футеровки на 5-6 %.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования диссертации были обсуждены на 28 научно-практических конференциях, в том числе на 20 международных и 8 республиканских конференциях и симпозиумах.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано всего 40 научных работ, в том числе 2 статьи в зарубежных журналах (1 в журнале Scopus), 10 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** обоснованы актуальность и востребованность исследования, сформулированы цели и задачи исследования, выявлены объект и предмет исследования, показано соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологии республики, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована надежность полученных результатов, раскрыты их научные и практические значения, приведены сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Свойство алюминиевых сплавов и анализ современного состояния разработок технологий и конструкций печей для их плавки**» приводятся результаты исследований в получении отливок в различных печах. Применения дешевых, прочных и экологически безопасных материалов для изготовления машиностроительных деталей является одним из основных задач современности. Алюминий является одним из таких материалов. Алюминий и его сплавы широко применяются в машиностроении, электротехнике, автомобилестроении, судостроении и в авиастроении. По запасам в природе алюминий занимает первое место среди всех металлов и третье среди других элементов (после кислорода и кремния). По массе алюминий составляет 8,6% земной коры. Несмотря на широкое распространение алюминия, его использовать как шихтовые материалы при плавке довольно сложно. Это в первую очередь связано с особенностями

алюминия. Так например при комнатной температуре поверхность алюминия покрывается окисной плёнкой, а при повышении температуры толщина этой плёнки возрастает в несколько десятков раз. Известно, что при нагревании галогенидов алюминия – хлорида, бромиды, фторида они могут с большей или меньшей легкостью испаряться (так,  $AlCl_3$  возгоняется уже при  $180\text{ }^{\circ}C$ ).

Исследователи ряда стран ведут научные разработки по повышению эффективности плавки алюминиевых сплавов. Учёными компании Nabertherm GmbH (Германия) разработана технология плавки алюминиевых сплавов, обеспечивающая снизить энергозатраты на плавку от 20 до 25%. Эти компактные плавильные печи для плавления цветных металлов и особых сплавов являются уникальными и обладают многочисленными техническими преимуществами. Выполненные в виде настольных моделей, эти печи используются во множестве лабораторных условиях. Практичное устройство облегчения опрокидывания с амортизаторами и размещенный перед печью литейный желоб облегчают точное дозирование при литье расплава. Плавильные печи поставляются для температур печного пространства  $1000\text{ }^{\circ}C$ ,  $1300\text{ }^{\circ}C$  или  $1500\text{ }^{\circ}C$ . Это соответствует температурам плавления на  $80\text{ }^{\circ}C$  –  $110\text{ }^{\circ}C$  ниже. Исследователями компании Carbolite Gero (Англия) разработаны ряд промышленных износостойких печей с нагревательными камерами объемом до 3000 литров, в которых температура рабочей камеры достигает до  $1800\text{ }^{\circ}C$ . Тигельные плавильные печи серии SCF с верхней загрузкой представлены тремя моделями с максимальной рабочей температурой  $1400\text{ }^{\circ}C$ . Данные печи специально предназначены для плавки цветных металлов. Эти печи имеют прочную конструкцию, выполненную из полых стальных секций большого сечения панелей из оцинкованной листовой стали. Карбидокремниевые нагревательные элементы установлены с четырех сторон рабочей камеры и защищены карбидокремниевой плиткой. Под печи сделан из огнеупорного кирпича и покрыт карбидокремниевой плиткой. Модель SCF 1 имеет одну рабочую камеру, все остальные модели двумя рабочими камерами с отдельными крышками. Исследователи компании Aluminium Martigny (Франция) разработали графитовые смазочные материалы для снижения окисляемости алюминиевых сплавов при заливке в формы. Исследователи компании Beijing Holland Co., Ltd. (Китай-Голландия) разработали технологию восстановления алюминия в специальных резервуарах.

Учёными стран СНГ проведены важные исследования ресурсосбережению при плавке алюминия и его сплавов (Ю.П.Купряков, В.С.Чахотин, Ю.И.Приходько). Они усовершенствовали конструкции плавильных агрегатов для снижения угара с 20 % до 10 %. Усовершенствование касается конструкции шахты печи, в которой нагрев шихты происходит за счёт тепла отходящих продуктов сгорания. А.В. Ванюков, Н.М. Дергачёв и Н.И. Уткин посвятили свои исследовательские работы технологии ведения плавки для снижения угара металла, разработали

ряд технологий для плавки сплавов. Исследователи разработали режим оплавления сплава в жидкой ванне, что позволило предотвратить контакт жидкого расплава с атмосферой печи. Исследователи Узбекистана А.О.Шазимов, Н.Д.Тураходжаев и Ю.Мансуров разработали: технологию снижения безвозвратных потерь металла при плавке в шахтных печах; механизм шлакообразования и взаимодействия твёрдых и жидких фаз при плавке; новые технологии ведения плавки в газовых печах позволяющие снизить содержание водорода и окисных включений на 18-20 %. Н.Д.Тураходжаев разработал технологию восстановления алюминия из его окислов методом высокотемпературной обработки. Технология позволила восстановить алюминий из шлаков на 25-27 %.

Во второй главе диссертации **«Разработка методики исследования»** описан метод определения основных свойств получаемых отливок. 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). Принцип работы микроскопов сканирующего электронного EVO MA10 основан на взаимодействии электронного пучка с поверхностью объекта. Электронный луч непрерывно сканирует тот участок поверхности объекта, изображение которого формируется микроскопом. При этом каждая точка поверхности объекта, в границах поля зрения микроскопов, отображается соответствующей точкой на формируемом изображении. При взаимодействии электронного луча с поверхностью объекта одновременно возникает сразу несколько ответных сигналов. В зависимости от того, какой детектор сигнала в данный момент включен, микроскопы формируют то или иное конкретное изображение. Микроскопы измеряют длину проекции геометрических расстояний на горизонтальную плоскость, т.е. расстояние между соответствующими точками на плоской и горизонтально ориентированной поверхности объекта.

Содержание водорода в расплаве определялось методом вакуумной экстракции. Данный метод основан на полном выделении газов из анализируемой пробы в условиях высокого вакуума и определение количества выделившегося газа после окончания экстракции. Для выделения из металла растворённого газа, за счёт температуры и давления обеспечивается смещение термодинамического равновесия системы газ-металл в сторону газовой фазы. Из затвердевшей пробы вытравливаются пробы диаметром 8 мм и длиной 20 мм.



Готовые образцы взвешиваются на аналитических и электронных весах с точностью до четвёртого знака и промываются в этиловом спирте.

Для определения газовой пористости образцы, вырезанные из полученной отливки обрабатывали до шероховатости Ra не более 1,6 мкм. Для определения газовой пористости макрошлиф травили, не выявляя макроструктуры, затем промывали проточной водой и просушивали фильтровальной бумагой. Для определения газовой пористости пользовались шкалой пористости. Степень пористости макрошлифов в баллах устанавливали сравнением их с эталонами шкалы. Газовая пористость образцов определялась на трех квадратах площадью 1 см<sup>2</sup> каждый.

Количество содержания оксида алюминия в получаемом расплаве определялось фотометрическим методом. Пробы в виде пластинок весом 1,00 грамм зачищали от пленки оксида и хранили под слоем этилового спирта. Перед взвешиванием пробу просушивали фильтровальной бумагой, помещали в колбу ёмкостью 100 см<sup>3</sup>, в которую заливается реакционная смесь из расчёта 70 см<sup>3</sup> на 1 грамм пробы. Оптическую полость раствора измеряли при длине волны 535 нм в кювете с толщиной слоя 45-50 мм с помощью пламенного фотометрического фотометра ПФМ. Раствором сравнения служила вода, содержащая все реактивы без содержания алюминия.

Третья глава диссертации **«Усовершенствование конструкции электрошлаковой печи для плавки алюминиевых сплавов»** посвящена разработке усовершенствованию конструкции электрошлаковой печи для плавки алюминиевых сплавов.

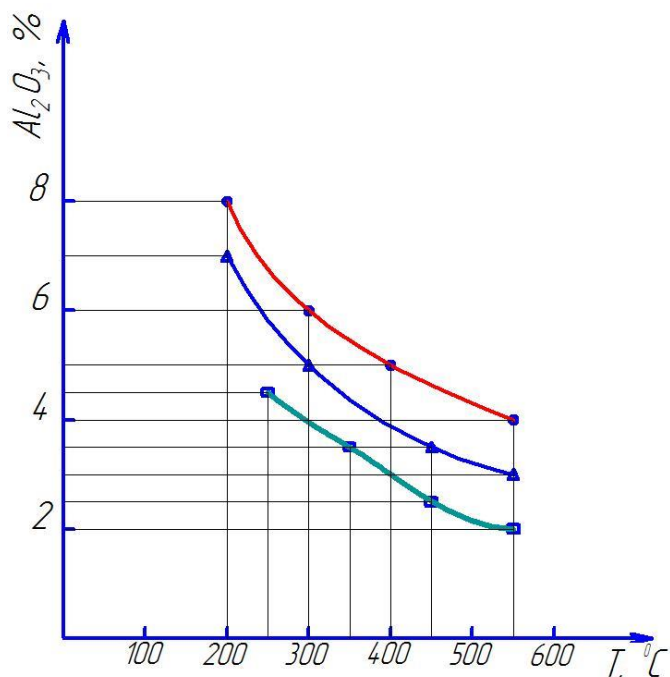
Для проведения экспериментальных по усовершенствованию конструкции электрошлаковой печи для плавки алюминиевых сплавов, в лабораторных условиях кафедры «Литейные технологии» и кафедры «Технология машиностроения» Ташкентского государственного технического университета были проведены экспериментальные исследования плавки алюминиевых сплавов, в частности АЛ9 и АК5М2. Для этой цели в лабораториях кафедр установлены несколько электрических печей, в частности электрическая печь сопротивления производительностью 50 кг/час, индукционная печь производительностью 60 кг/час и электрошлаковая печь с графитовыми электродами производительностью 25 кг/час.

В качестве этого слоя эффективно использовать угольный кокс, который помимо токопроводящего материала, может служить источником свободного углерода. Для стабилизации дуги и расширения зоны необходимой температуры, в электрошлаковой печи с графитовым электродом применяли кокс со средним диаметром кусков 60-70 мм. Для определения влияний температуры нагрева шихты на количество окисления алюминия в различных печах, провели экспериментальные плавки с различной температурой нагрева шихты. Результаты исследований приведены в таблице 3.1.

**Изменение содержания окиси алюминия в расплаве в зависимости от нагрева шихты для различных печей.**

№	Режим плавки	Температура нагрева шихты перед загрузкой в печь, °С	Количество оксида алюминия в расплаве, %
1	Загрузка шихты в индукционную печь после нагрева до температур	200-250	7-8
		300-350	6-7
		400-450	5-6
		500-550	4-5
2	Загрузка шихты в электрическую печь сопротивления после нагрева до температур	200-250	6-7
		300-350	4-6
		400-450	3-5
		500-550	3-4
3	Загрузка шихты в электрошлаковую печь после нагрева до температур	200-250	4-5
		300-350	3-5
		400-450	2-4
		500-550	2-3

На основе полученных результатов были построены графики зависимости содержания окисных включений в расплаве в зависимости от температуры нагрева шихты. На рисунке 3.1 приведены изменения содержания оксидных включений в расплаве в зависимости от нагрева шихты перед загрузкой в печь. По результатам сравнительного анализа температур нагрева шихты, можно сделать вывод о целесообразности нагрева шихты перед загрузкой в печь до температуры 500-550 °С.



**Рисунок 3.1. Изменение содержания оксидных включений в расплаве в зависимости**

**от нагрева шихты перед загрузкой в печь.**

Для проведения научного эксперимента по определению влияния фигуры поперечного сечения ванны печи на окисление металла в электрошлаковой печи плавку вели с сечениями в виде квадрата, прямоугольника, в виде эллипса, круглой формы, в виде ромба и трапеции. Результаты исследований приведены в таблице 3.2. По результатам исследований можно сделать вывод, что наиболее эффективной формой поперечного сечения ванны электрошлаковой печи является круглая форма, при которой выход годного составляет 90-92 %.

Таблица 3.2.

**Результаты исследовательских работ по определению влияния формы поперечного сечения ванны электрошлаковой печи на количество угара.**

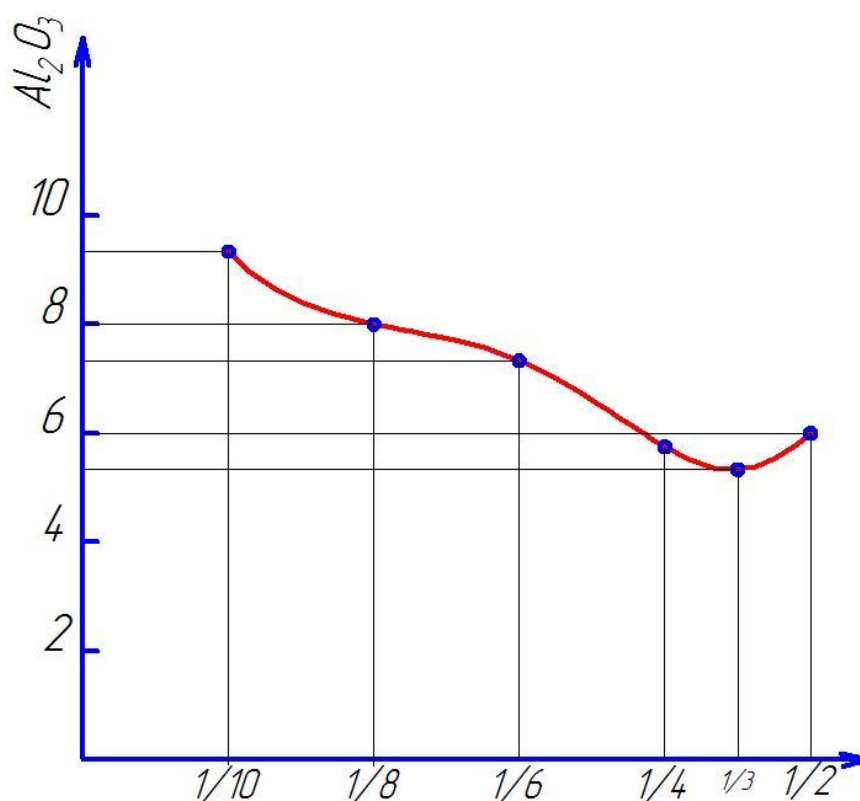
№	Форма поперечного сечения ванны электрошлаковой печи	Выход годного металла из электрошлаковой печи, %	Примечание
1	Квадрат	70-74	Скопление металла по углам ванны
2	Прямоугольное	65-66	Скопление металла по углам
3	Эллипс	84-85	Снижение температуры в отдалённых углах
4	Круглое	90-92	Равномерное распределение температуры
5	Ромб	70-72	Снижение температуры в углах ромба
6	Трапеция	76-78	Относительно равномерное распределение температур

Следующим этапом исследовательской работы является определение эффективного соотношения диаметра поперечного сечения ванны печи к поперечному сечению электрода. Для проведения научных исследований диаметр электрода подбирали в соотношении к диаметру ванны печи равной 1/10, 1/8, 1/6, 1/4 и 1/2. Electroды графитовые, поэтому из большого диаметра вытачивали электроды с меньшим диаметром. В таблице 3.3 приведены результаты исследовательских работ по определению оптимального соотношения диаметра поперечного сечения ванны к диаметру электрода. На рисунке 3.6 приведены графики изменения содержания оксидных включений в расплаве в зависимости от соотношения диаметра ванны печи к диаметру электрода. На рисунке 3.2 приведены изменения содержания газовых включений в расплаве в зависимости от соотношения диаметра ванны печи к диаметру электрода.

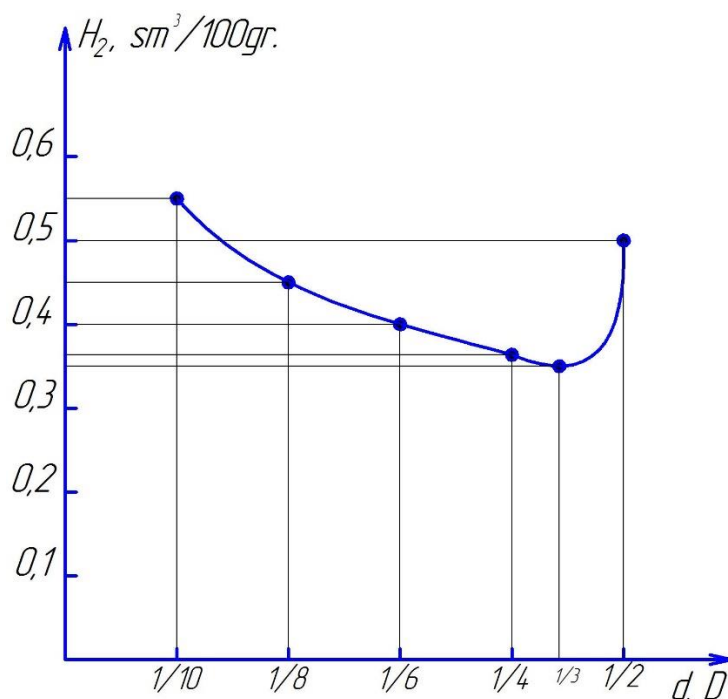
Таблица 3.3.

**Результаты исследовательских работ по определению оптимального соотношения диаметра поперечного сечения ванны к диаметру электрода.**

№	Соотношение диаметра электрода к диаметру поперечного сечения ванны	Содержание водорода в расплаве, см <sup>3</sup> /100гр	Количество оксида алюминия в расплаве, %
1	1/10	0,55-0,56	8-9
2	1/8	0,44-0,46	7-9
3	1/6	0,40-0,42	7-8
4	1/4	0,38-0,40	6-7
5	1/3	0,34-0,36	4-5
6	1/2	0,52-0,54	5-6



**Рисунок 3.2. Изменение содержания оксидных включений в расплаве в зависимости от соотношения диаметра ванны печи к диаметру электрода**



**Рисунок 3.3. Изменение содержания газовых включений в расплаве в зависимости от соотношения диаметра ванны печи к диаметру электрода**

По результатам исследований можно сделать вывод, что наиболее оптимальное соотношение диаметра электрода к диаметру поперечного сечения ванны электрошлаковой печи является соотношение 1/3, при котором содержание водорода в расплаве не превышает  $0,36 см^3/100гр.$ , а количество окисных включений составляет 4-5 %.

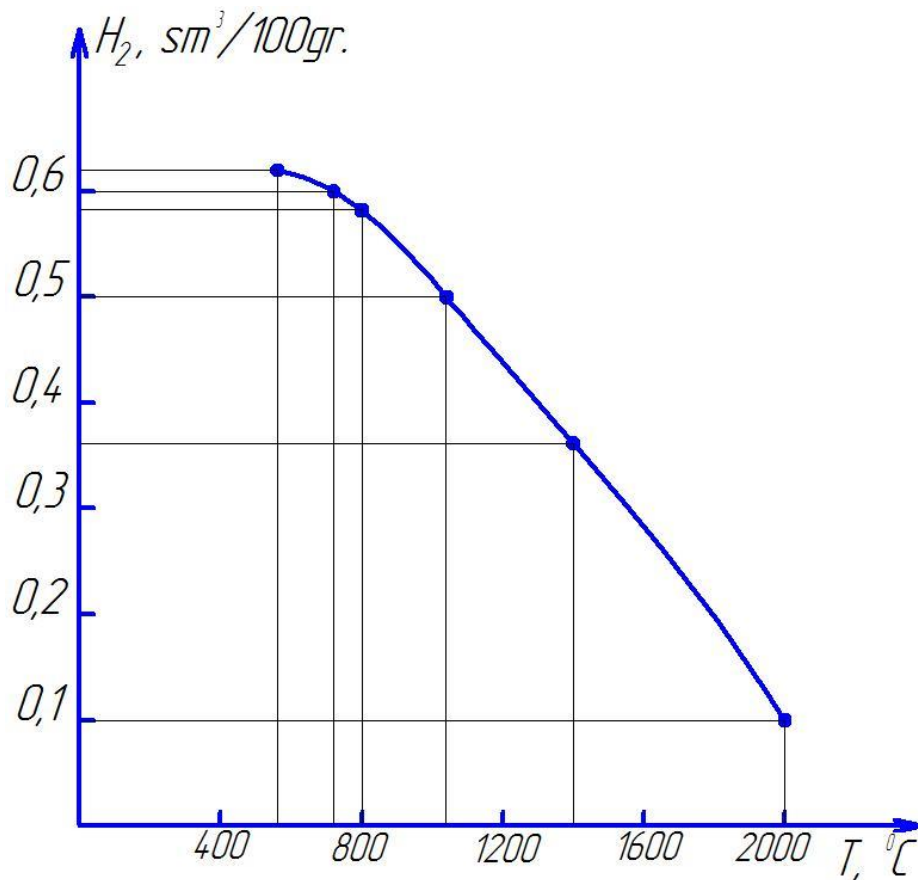
В таблице 3.5 приведены результаты исследований по определению оптимальной температуры перегрева алюминиевого расплава под защитным слоем флюса.

Таблица 3.4.

**Результаты исследований по определению оптимальной температуры перегрева алюминиевого расплава под защитным слоем флюса.**

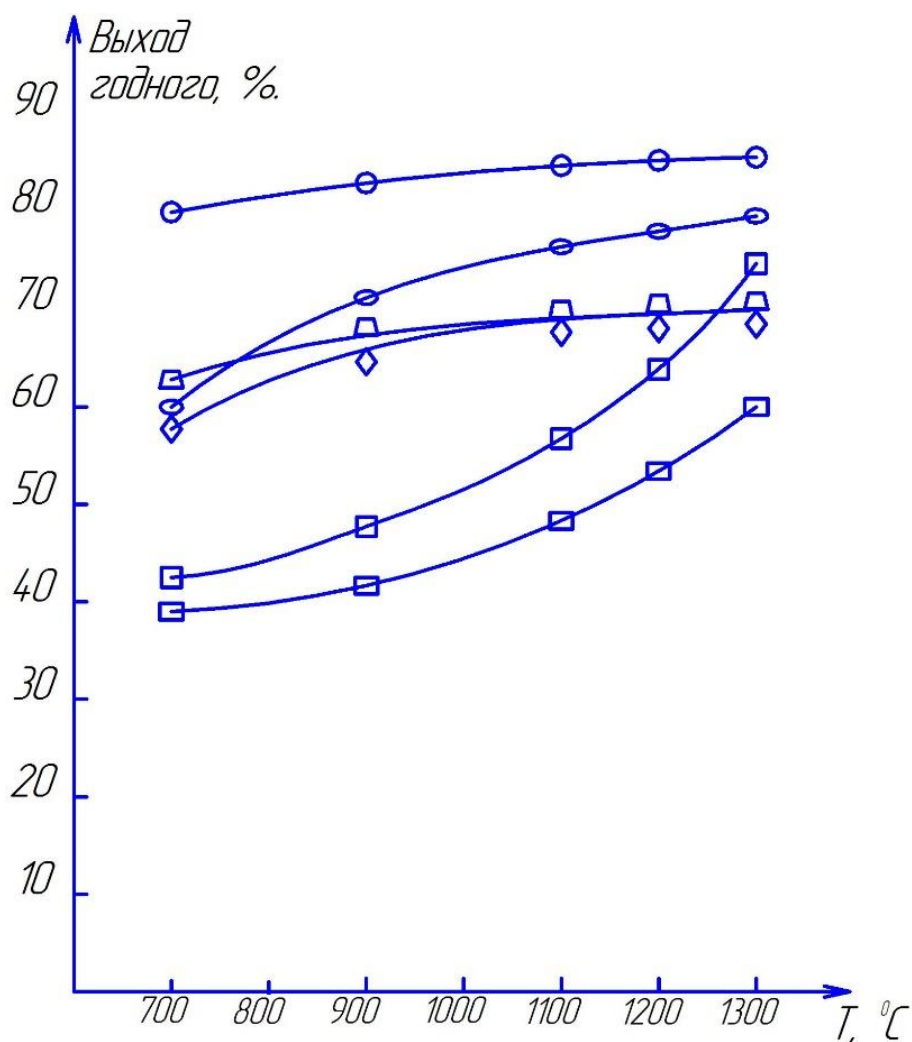
№	Температура перегрева расплава, °С	Содержание окисных включений в расплаве, %	Содержание водорода в расплаве, $см^3/100гр$
1	2	3	4
2	600-650	2-3	0,60-0,62
3	700-750	2-3	0,56-0,58
4	800-850	1-3	0,52-0,54
5	900-950	1-3	0,50-0,54
6	1400-1500	1-2	0,34-0,36
7	1900-2000	0,6-0,7	0,14-0,18

На рисунке 3.4 приведены изменения содержания газовых включений в расплаве в зависимости от температуры перегрева расплава в среде рафинирующего флюса.



**Рисунок 3.4. Изменение содержания газовых включений в расплаве в зависимости от температуры перегрева расплава в среде рафинирующего флюса.**

Для определения влияния температуры перегрева расплава под слоем рафинирующего флюса были проведены исследования выхода годных отливок. В печь загружалась шихта без предварительного нагрева шихты, но с перегревом расплава под слоем рафинирующего флюса. В состав рафинирующего флюса добавляли молотый графит в количестве от 5 до 15 % от общего состава флюса. На рисунке 3.5 приведены графики изменения выхода годных отливок в зависимости от температуры перегрева расплава под слоем рафинирующего флюса.

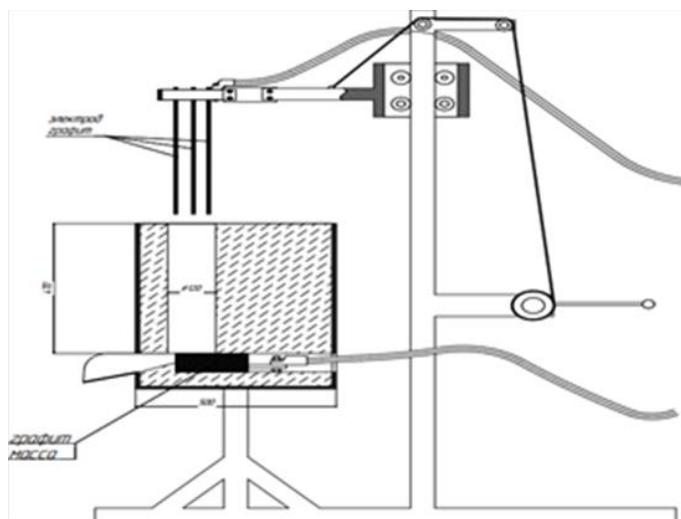


**Рисунок 3.5. Изменение выхода годных отливок в зависимости от температуры перегрева расплава под слоем рафинирующего флюса**

Как видно из приведённых данных, наиболее эффективной температурой перегрева жидкого алюминиевого расплава является интервал температур от  $1900^{\circ}\text{C}$  до  $2000^{\circ}\text{C}$ . Видимо это связано с наличием свободного углерода, который вступает в реакцию с окислами алюминия и восстанавливает алюминий при повышенных температурах.

В четвёртой главе по названию **«Внедрение разработки в производственные условия и создание математической модели разработки»** приводятся результаты внедрения разработки на АО «АГМК».

В условиях ЦРМЗ Алмалыкского горно-металлургического комбината предложена отличительная от вышеуказанных схем технология электрошлакового переплава алюминиевых сплавов. Схема усовершенствованной конструкции электрошлаковой печи для плавки алюминиевых сплавов представлена на рисунке 4.1.



**Рисунок 4.1. Схема усовершенствованной конструкции электрошлаковой печи для плавки алюминиевых сплавов**

Для создания математической модели работы усовершенствованной электрошлаковой печи, рассмотрели тепловую работу процесса плавки алюминиевых сплавов. Задача исследований тепловой работы печи состоит: в определении оптимальных параметров ванны печи в зависимости от условий плавки (содержания водорода и угара металла, производительности, требуемой температуры расплава), обеспечивающих стабильную работу печи при минимальном угаре, а также в определении габаритных размеров электродуговой установки печи, обеспечивающих заданные условия плавки.

Расчётная схема теплообмена в разработанной электрошлаковой печи характеризуется следующими показателями:

$G$ - производительность, кг/с;

$M_I$ - масса металла обрабатываемая электрической дугой графитовыми электродами, кг;

$M_{\omega}$  - масса металла в ванне, кг;  $V_{\omega}$  - объём ванны, м<sup>3</sup>;

$F_{\omega}$  - площадь поверхности шихтовых материалов в ванне, м<sup>2</sup>;  $\Omega_{yo}$  -

удельная поверхность шихты  $\Omega_{yo} = \frac{F_{\omega}}{M_{\omega}} \text{ м}^2 / \text{кг}$ ;  $M$  - масса металла, кг;  $M_{пл}$

- масса жидкого металла, кг;  $M_T$ - масса твёрдого, кг;

$F'_k$  - площадь поверхности металла, м<sup>2</sup>;

$F''_k$  - площадь поверхности жидкого металла, м<sup>2</sup>;

$F_3$  - площадь поперечного сечения ванны, м<sup>2</sup>;

$F_{31}$  - площадь поперечного сечения электрода, м<sup>2</sup>;

$l_1$  - толщина огнеупорной перегородки, м;

$B_1$  - длина ванны, м;  $B$  - общая длина ванны печи, м;  $H$  - глубина ванны расплава, м;  $H_0$  - высота печи в верхней части, м;  $B_2$  - длина электрода, м.

Физические характеристики теплообмена в разработанной печи следующие:  $C_{ГКМ}$ -коэффициент взаимного излучения газов, кладки и металла, Дж (м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>·с (Вт/м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);  $K_v$  - объёмный коэффициент теплопередачи в шахте,



Дж/м<sup>3</sup>·К·с (Вт/м<sup>3</sup>·К);  $\alpha_k$  - коэффициент теплопередачи конвекцией, Дж/м<sup>2</sup>·К·с (Вт/м<sup>2</sup>·К);  $\lambda_{\omega}$  - коэффициент теплопроводности шихтового материала, Дж/м·с·К (Вт/м·К);  $c$  - теплоёмкость алюминия (сплава), Дж/кг·К (ккал/кг·К);  $\lambda_{жс}$  - коэффициент теплопроводности жидкого алюминия, Дж/м·с·К (Вт/м<sup>2</sup>·К).

Металл, в свою очередь, нагревается от  $T'_{\omega}$  до  $T_M$  в зоне перегрева электрической дуги. В связи с наличием в как твёрдой, так и жидкой фазы можно принять.

$$T_M'' \approx T_{пл}$$

Во всех печах, имеются металлические составляющие высокоразвитой поверхностью подвергаемых тепловой обработке, участием в теплообмене всех видов теплопередачи, высокой интенсивностью теплообмена в противотоке, играет главенствующую роль в том многообразии сложных процессов, которые описываются теорией шахтной плавки.

Теплообменные процессы зависят от тепловой подготовке шихтовых материалов к плавлению, от чего зависят технико-экономические показатели работы разработанной печи. Экономический эффект печи может быть обеспечена только при соблюдении двух принципов: плавление шихты с минимальным угаром за счёт плавки под защитным покровом, что позволяет снизить содержание газов в расплаве.

Расход теплоты, приходящей в печь, имеет следующие 4 составляющих:

1. Потеря теплоты с уходящими продуктами сгорания, которая определяется по формуле

$$Q_1 = \beta_0 V_y' C' T_y',$$

2. Потеря теплоты за счёт теплопроводности стенок печи, свободных от жидкого расплава

$$Q_2 = \frac{T_{CP}' - T_0}{\frac{1}{\alpha_1 F_1} + \frac{S_1}{\lambda_1 F_1} + \frac{S_2}{\lambda_2 F_2} + \frac{S_3}{\lambda_3 F_3} + \frac{1}{\alpha_2 F_4}},$$

4. Потеря теплоты лучеиспусканием через верхнюю крышку

$$Q_4 = C_{ГКМ} (T_{CP}')^4 \cdot F_{OK}' \cdot \varphi i (1 - \Psi),$$

4. Потеря теплоты с выхлопами, выбивающимися через зазоры

$$Q_5 = V_{выб} \cdot i_{Г1} (1 - \Psi)$$

При построении математической модели были использованы эти показатели с полным описанием всех составляющих, что позволило смоделировать основные параметры усовершенствованной электрошлаковой печи для плавки алюминиевых сплавов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общие выводы по диссертации:

На основе проведённых исследований по диссертации на тему: «Усовершенствование конструкции электрошлаковой печи для плавки алюминиевых сплавов» представлены следующие выводы:

1. Разработана технология и конструкция электрошлаковой печи с графитовым электродом. Это служит для снижения потерь металла на угар.
2. Разработана технология ведения плавки алюминия в электрошлаковой печи с использованием кокса в качестве электропроводящего материала. Это служит для увелечения рабочего пространства печи и её производительности.
3. Разработана конструкция ванны электрошлаковой печи с графитовым электродом. Это позволит увеличить выход годного металла за счёт снижения зашлакованности.
4. Разработана металлоконструкция электрошлаковой печи с графитовым электродом. Это служит для повышения срока службы футеровки печи.
5. Усовершенствована конструкция электрода электрошлаковой печи. Это служит для снижения расхода электрода на 8-10%.
6. Оптимизирован размер кокса как электропроводящий материал при плавке алюминиевых сплавов в электрошлаковой печи. Это служит для повышения эффективности работы печи на 12-14%.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.28.02.2018.T.03.04 ON THE ADMISSION OF  
SCIENTIFIC DEGREES AT THE TASHKENT STATE TECHNICAL  
UNIVERSITY AND THE NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN**

---

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

**TURSUNOV TOKHIR KHOJIAKBAROVICH**

**IMPROVEMENT OF THE DESIGN OF THE ELECTRIC SLAG  
FURNACE FOR MELTING OF ALUMINUM ALLOYS**

**05.02.01 – Materials Science in Mechanical Engineering. Foundry. Heat treatment and  
treatment of metals by pressure. Metallurgy of ferrous, non-ferrous and rare metals  
(Foundry and metal processing)**

**ABSTRACT**

**Of thesis of Doctor of Philosophy (Ph.D.) in Technical Sciences**

**Tashkent- 2020**

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2018.2.PhD/Г724. рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Тошкент давлат техника университетида бажарилган.  
Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус ва инглиз (резюме) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) ва «Ziynet» Ахборот таълим порталида ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:	Тураходжаев Нодир Джаҳонгирович техника фанлари доктори, профессор
Расмий оппонентлар:	Абдуллаев Фатхулла Сағдуллаевич техника фанлари доктори, профессор Худояров Сулейман Рашидович техника фанлари номзоди, доцент
Етакчи ташкилот:	Андижон машинасозлик институти

Диссертация химояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.03/30.12.2019.Т.03.04. рақамли илмий кенгашнинг 2020 йил «5» декабрь соат 13<sup>00</sup> даги Илмий кенгаш мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел. / факс: (99871) 227-10-32, e-mail: [tadqiqotch@tdtu.uz](mailto:tadqiqotch@tdtu.uz))

Диссертация билан Тошкент давлат техника университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (181-рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел. / факс: (99871) 227-10-32)

Диссертация автореферати 2020 йил «\_\_\_» \_\_\_\_\_ куни тарқатилди.  
(2020 йил «\_\_\_» \_\_\_\_\_ даги 116 - рақамли реестер баённомаси).



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

Ф.Р. Норхуджаев  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д. профессор

Ф.С. Абдуллаев  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошдаги илмий семинар раиси, т.ф.д. профессор

**The purpose of the research** is to improve the design of an electrical slag furnace for melting aluminum alloys, providing resource saving during melting.

**The object of the research** is the design of an electrical slag furnace with a non-consumable graphite electrode, aluminum alloys of the AL9 and AK5M2 brands.

**Scientific novelty of the research are following:**

- the technology and design of an electrical slag furnace with a graphite electrode has been developed;
- a technology for aluminum smelting in an electrical slag furnace using coke as an electrically conductive material has been developed;
- the construction of the pool of an electroslag furnace with a graphite electrode;
- metal structure of an electroslag furnace with a graphite electrode;
- the design of the electrode of the electroslag furnace has been improved, which makes it possible to reduce the electrode consumption by 8-10%;
- the size of coke has been optimized as an electrically conductive material when melting aluminum alloys in an electroslag furnace, which makes it possible to increase the efficiency of the furnace by 12-14%.

**Implementation of the research results.** Based on the results obtained for improving the design of an electroslag furnace for melting aluminum alloys, the following have been developed and introduced into production:

the technology and design of an electroslag furnace with a graphite electrode has been introduced at the central mechanical plant of Almalyk MMC JSC (reference No. AU-18-76 of Almalyk MMC JSC dated May 20, 2018). As a result of the introduction of a new design of an electroslag furnace for melting aluminum alloys, resource losses in the form of waste decreased by 12-14%;

the technology of aluminum smelting in an electroslag furnace using coke as an electrically conductive material has been introduced at the central mechanical plant of JSC Almalyk MMC (reference No. 63-209 of JSC Almalyk MMC dated June 05, 2020). As a result of the introduction of the developed technology, the working space of the furnace and its productivity increased by 12-14%;

the design of the bath of an electroslag furnace with a graphite electrode was introduced at the central mechanical plant of Almalyk MMC JSC (reference No. 63-209 of Almalyk MMC JSC dated June 05, 2020). As a result of the introduction of the design of the bath, it was possible to increase the yield of suitable metal by reducing slagging by 1.3-1.5 times;

the metal structure of an electroslag furnace with a graphite electrode has been introduced at the central mechanical plant of Almalyk MMC JSC (reference No. 63-209 of Almalyk MMC JSC dated June 05, 2020). As a result of the introduction of the metal structure, the service life of the lining increased by 5-6%.

**The structure and volume of the thesis.** The structure of the thesis consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a bibliography, list of references and appendixes. The volume of the thesis is 120 pages.

## ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ

### СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

#### LIST OF PUBLISHED WORKS

##### I-бўлим (I-часть; I-part)

1. Тураходжаев Н.Д., Турсунов Т.Х., Якубов Л.Э., Абдурахманов Х.З. Повышение качества алюминиевых сплавов предварительным нагревом шихты. //ВЕСТНИК ТашГТУ. – Ташкент, 2013, № 2. – С. 75-79 (05.00.00. №16).
2. Тураходжаев Н.Д., Турсунов Т.Х., Якубов Л.Э., Абдурахманов Х.З. Новый метод повышения прочности поверхности отливок при заливке в кокиль. //ВЕСТНИК ТашГТУ. – Ташкент, 2014, № 1. – С. 63-67 (05.00.00.№16).
3. Тураходжаев Н.Д., Турсунов Т.Х., Якубов Л.Э., Абдурахманов Х.З., Тураходжаева Ш.Н. Применение медных и алюминиевых сплавов в биметаллических композиционных материалах. //Композиционные материалы. – Ташкент, 2015. - № 1. - С. 65–67 (05.00.00.№13).
4. Тураходжаев Н.Д., Якубов Л.Э., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З., Тураходжаева Ш.Н., Шоазимова У.Х., Азларова М.Ш. Способ переплава композиционных материалов для получения качественной структуры. //Композиционные материалы. – Ташкент, 2015. - № 3. - С. 30–32. (05.00.00.№13).
5. Salokhiddin Nurmurodov, Alisher Rasulov, Nodir Turakhodjaev, Kudratkhon Bakhadirov, Lazizkhan Yakubov, Khusniddin Abdurakhmanov, Tokhir Tursunov. Development of New Structural Materials with Improved Mechanical Properties and High Quality of Structures through New Methods. Journal of Materials Science Research, Canada. Canadian Center of Science and Education. Vol.5, 2016. № 3. – S. 52-58. (05.00.00. №22).
6. Тураходжаев Н.Д., Турсунов Т.Х., Якубов Л.Э., Абдурахманов Х.З. Рангли металларга ишлов бериш технологияси. //Композиционные материалы. – Ташкент, 2017. - № 1. - С. 38-42 (05.00.00.№13).
7. Тураходжаев Н.Д., Турсунов Т.Х., Якубов Л.Э., Абдурахманов Х.З. Разработка технологии получения литых заготовок с применением 3D печати. //Композиционные материалы. – Ташкент, 2018. - № 4. - С. 81-83 (05.00.00.№13).
8. Тураходжаев Н.Д., Турсунов Т.Х., Якубов Л.Э., Абдурахманов Х.З. Получение качественной отливки на основе 3D печати. //Композиционные материалы. – Ташкент, 2018. - № 3. - С. 81-83 (05.00.00.№13).
9. Norhudjaev F., Aliqulov A., Abdurakhmanov Kh., Tursunov T. Examination of Thermo physical Processes in the Creation of Metal Layered Compositions. International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN: 2277-3878, Volume-8 Issue-2S10, September 2019, p. 361-366 (Scopus №7).
10. Н.Д.Тураходжаев, Ж.С.Камалов, Т.Х.Турсунов, Ш.Н.Турахужаева, Н.И.Садикова, С.Ж.Тураходжаев, Н.Э.Искандаров. Метод получения качественной структуры при получении алюминиевых композитов. //Композиционные материалы. – Ташкент, 2020. - № 3. - С. 155-158 (05.00.00.№13).

11. Н.Д.Тураходжаев, Ж.С.Камалов, Т.Х.Турсунов, Ш.Н.Турахужаева, Н.И.Садикова, С.Ж.Тураходжаев. Математическая модель расчета шихты для получения литых композитов. //Композиционные материалы. – Ташкент, 2020. - № 3. - С. 192-195 (05.00.00.№13).

12. Н.Д.Тураходжаев, Ж.С.Камалов, Т.Х.Турсунов, Ш.Н.Турахужаева, Н.И.Садикова, С.Ж.Тураходжаев. Математическая модель для расчёта теплообменных процессов при плавке металлов. //Композиционные материалы. – Ташкент, 2020. - № 3. - С. 279-282 (05.00.00.№13).

### **II-бўлим (II-часть; II-part)**

13. Тураходжаев Н.Д., Абдурахманов Х.З., Турсунов Т.Х., Якубов Л.Э. Математическая модель теплообменного процесса в газовой печи. //Сборник научных статей Международной научно–практической конференции «Современные наукоёмкие технологии: приоритеты развития и подготовка кадров». – Набережные Челны, 2014. - С. 84-89.

14. Тураходжаев Н.Д., Якубов Л.Э., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З. Математическое моделирование процесса оплавления медной и алюминиевой шихты. //Сборник научных статей Международной научно–практической конференции «Современные наукоёмкие технологии: приоритеты развития и подготовка кадров». – Набережные Челны, 2014. - С. 89-92.

15. Тураходжаев Н.Д., Якубов Л.Э., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З., Тураходжаева Ш.Н. Разработка состав флюса для переработки отходов производства отливок. «Кон-металлургия тармоғининг муаммолари ва инновацион ривожлантириш йўллари». Республика илмий-амалий анжумани (Тошкент, Ўзбекистон, 2014), С.211-214.

16. Тураходжаев Н.Д., Якубов Л.Э., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З., Тураходжаева Ш.Н. Ресурсосберегающая технология переработки и переплава шихты для получения качественной структуры сплава «Кон-металлургия тармоғининг муаммолари ва инновацион ривожлантириш йўллари» (Тошкент, Ўзбекистон, 2014), С.234-237.

17. Тураходжаев Н.Д., Якубов Л.Э., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З., Тураходжаева Ш.Н. Методы переплава цветных сплавов с применением защитного флюса «1 Международная заочная научно-техническая конференция» (Челябинск, Россия, 2014).

18. Тураходжаев Н.Д., Якубов Л.Э., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З. Применение флюса для получения чугуна из оксида железа// “Фан ва техника тараққиётида интеллектуал ёшларнинг ўрни”. Республиканская научная конференция. Ташкент 2015. С.177-180.

19. Тураходжаев Н.Д., Якубов Л.Э., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З. Изменение свойств композиционных сплавов в зависимости от режима плавки //Сборник научных статей Международной научно–практической конференции «Полимерные композиты и трибология (Поликомтриб 2015)» (Гомель, Белоруссия, 2015). С.-122-124.

20. Тураходжаев Н.Д., Якубов Л.Э., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З. Машинасозликда буюм тайёрлаш таннархини камайтириш тадбирлари. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Ташкент 2010 г. С.-60-61.

21. Тураходжаев Н.Д., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э. Технологик тизим элементларининг эластик силжишини кўшимларни ҳисоблашга таъсирининг тахлили. Рақобатбардош кадрлар тайёрлашга инновацион ёндашув. Республика илмий-амалий конференция материаллар тўплами. Тошкент 20-21 апрел 2012 йил.

22. Тураходжаев Н.Д., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э. Влияние силовых факторов активирования на процесс электроконтактного припекания твердосплавных композиций на инструментальные поверхности. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении». Ташкент 19-20 апреля 2012 г. С.-37-38.

23. Тураходжаев Н.Д., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э. Повышения износостойкости литых деталей почвообрабатывающих машин методом термической обработки. Техника ва ижтимоий-иқтисодий фанлар соҳаларининг муҳим масалалари Республика Олий ўқув юртлараро илмий ишлар рўйхати 2012 й.

24. Тураходжаев Н.Д., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э. Энергосберегающая технология переплава металлов и их сплавов. Технологическое обеспечение машиностроительных производств. Сборник научных трудов II Международной заочной научно-технической конференции. Челябинск. 16-17 декабря 2015 г. С.-48-51.

25. Тураходжаев Н.Д., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э. Способ упрочнения рабочих поверхностей литых деталей. Технологическое обеспечение машиностроительных производств. Сборник научных трудов II Международной заочной научно-технической конференции. Челябинск. 16-17 декабря 2015 г. С-52-54.

26. Тураходжаев Н.Д., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э. Новый способ получения оксида марганца и ферромарганца методом термического воздействия в печной среде. Ўзбекистонда геология фанлари: муаммолар, ривожланиши ва инновацион йўналишлари. Тошкент 2015 й.

27. Тураходжаев Н.Д., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э. Получение заданного химического состава после термического воздействия. Республика илмий-техникавий анжуман. 2013 й.

28. Тураходжаев Н.Д., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э. Разработка состава флюса для переработки отходов производства алюминиевых



отливок. Международная научно-техническая конференция «Проблемы и пути инновационного развития горно-металлургической отрасли». 2014 г.

29. Тураходжаев Н.Д., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э. Ресурсосберегающая технология переработки и переплава алюминиевой шихты для получения качественной структуры сплава. Международная научно-техническая конференция «Проблемы и пути инновационного развития горно-металлургической отрасли». 2014 г.

30. Тураходжаев Н.Д., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э. Математическая модель теплообменного процесса в газовой печи. Современный наукоемкие технологии: приоритеты развития и подготовка кадров. Сборник статей Международной научно-практической конференции. Ташкент 2014 г. С.-127-128.

31. Тураходжаев Н.Д., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э. Ресурсосберегающая технология переработки и переплава алюминиевой шихты для получения качественной структуры сплава. “Кон-металлургия тармоғининг муаммолари ва инновацион ривожлантириш йўллари” Халқаро илмий-техник анжуман Тошкент 2014 й.

32. Тураходжаев Н.Д., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э. Разработка состава флюса для переработки отходов производства алюминиевых отливок. “Кон-металлургия тармоғининг муаммолари ва инновацион ривожлантириш йўллари” Халқаро илмий-техник анжуман Тошкент 2014 й.

33. Тураходжаев Н.Д., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э. Анализ и исследования рекуррентных алгоритмов идентификации объектов в замкнутых системах управления. Сборник материалов Международной научно-технической конференции на тему: «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении». Ташкент 2014 г.

34. N.Dj.Turakhodjaev, T.Kh.Tursunov, L.E.Yakubov, Kh.Z.Abdurakhmanov, Sh.N.Turakhodjaeva Mode of fusion of aluminium alloys. «Solidification and Crystallization of Metals 2015» (Bisko, Poland, 2015) pp. 53-56.

35. Н.Д.Тураходжаев, Т.Х.Турсунов, Ф.Н.Тураходжаева, Л.Э.Якубов, Х.З.Абдурахманов. Методы извлечения меди из отходов производства//Сборник материалов Международная научно-практическая конференция «Проблемы повышения эффективности работы современного производства и энерго-ресурсосбережения». Андижан 2018. С.250-254.

36. Тураходжаев Н.Д., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э. Изменение свойств композиционных алюминиевых сплавов в зависимости от режима плавки. Международная научно-техническая конференция “Полимерные композиты и трибология” 2015 г

37. Тураходжаев Н.Д., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э., Х.З. Турсунов Т.Х.

Использование износостойких покрытий в дробильных установках. Сборник материалов республиканской научно-практической конференции. 2017 г.

38. Тураходжаев Н.Д., Турсунов Т.Х., Абдурахманов Х.З., Якубов Л.Э. Машинасозликда буюм тайёрлаш таннархини камайтириш тадбирлари. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Ташкент 2017 г. С.48-49.

39. Абдурахманов Х.З., Турсунов Т.Х., Камалов Ж.С., Турахужаева Ш.Н. Тураходжаев Н.Д. Применение 3Д технологий для изготовления литейных моделей при литье изделий из алюминиевых сплавов. Международная научно-практическая интернет конференция студентов и магистрантов «Литьё и металлургия 2019». Минск, 16-17 октября 2019 г. С.-17-18.

40. Тураходжаев Н.Д., Камалов Ж.С., Турсунов Т.Х. Применение альтернативной энергии при плавке алюминиевых сплавов. Труды Международной научной рецензируемой конференции “Тенденции развития современной физики полупроводников: проблемы, достижения и перспективы”. Ташкент, сентябрь 2020 г. С.-293-299.

Автореферат «Техника фанлари ва инновация» журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилиб, ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнлар ўзаро мувофиқлаштирилди.

Бичими: 84x60 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. «Times New Roman» гарнитураси.  
Рақамли босма усулда босилди.  
Шартли босма табағи: 3. Адади 100. Буюртма № 237.

Гувоҳнома № 10-3719  
“Тошкент кимё технология институти” босмаҳонасида чоп этилган.  
Босмаҳона манзили: 100011, Тошкент ш., Навоий кўчаси, 32-уй.