

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

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**НОСИРХЎЖАЕВ САРДОР ҚОДИРЖОН ЎҒЛИ**

**ЕМИРУВЧИ МУҲИТ ТАЪСИРИДА РАНГЛИ МЕТАЛЛУРГИЯ  
ЭРИТИШ ПЕЧЛАРИНИНГ ЎТГА ЧИДАМЛИ ҒИШТЛАРИНИ  
ЕМИРИЛИШДАН ҲИМОЯ ҚИЛИШ ТЕХНОЛОГИЯСИНИ ИШЛАБ  
ЧИҚИШ**

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

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

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

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

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

**Носирхўжаев Сардор Қодиржон ўғли**

Емирувчи муҳит таъсирида рангли металлургия эритиш печларининг ўтга  
чидамли ғишларини емирилишдан ҳимоя қилиш технологиясини ишлаб  
чиқиш.....3

**Носирхўжаев Сардор Қодиржон угли**

Разработка технология защиты огнеупорной кладки плавильных печей  
цветной металлургии от разрушения при воздействии агрессивной среды...21

**Nosirkhujaev Sardor Kodirjon ugli**

Development of technology for the protection of refractory masonry of  
smelting furnaces of non-ferrous metallurgy against destruction when exposed  
to aggressive medium.....39

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works .....42

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

---

**ИСЛОМ КАРИМОВ НОМИДАГИ ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА  
УНИВЕРСИТЕТИ**

**НОСИРХЎЖАЕВ САРДОР ҚОДИРЖОН ЎҒЛИ**

**ЕМИРУВЧИ МУҲИТ ТАЪСИРИДА РАНГЛИ МЕТАЛЛУРГИЯ  
ЭРИТИШ ПЕЧЛАРИНИНГ ЎТГА ЧИДАМЛИ ҒИШТЛАРИНИ  
ЕМИРИЛИШДАН ҲИМОЯ ҚИЛИШ ТЕХНОЛОГИЯСИНИ ИШЛАБ  
ЧИҚИШ**

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

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

**Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2020.4.PhD/Т1954 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасининг ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) ва «Ziyonet» Ахборот таълим порталида ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:** **Маткаримов Соҳибжон Турдалиевич**  
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD),  
доцент

**Расмий оппонентлар:** **Норхуджаев Файзулла Рамазанович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Воҳидов Баҳриддин Раҳмидинович**  
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD),  
доцент

**Етакчи ташкилот:** **Тошкент кимё-технология институти**

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.03/30.12.2019.Т.03.04 рақамли Илмий кенгашнинг 2022 йил «\_09\_»\_апрель\_\_\_соат\_11<sup>00</sup>\_\_ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳар, Олмазор тумани, Университет кўчаси 2-уй. Тел/факс.: (99871) 277-10-32, e-mail: [tadqiqotchi@tdtu.uz](mailto:tadqiqotchi@tdtu.uz)).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (\_249\_\_ рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент шаҳар, Олмазор тумани, Университет кўчаси 2-уй. Тел/факс.: (99871)277-10-32).

Диссертация автореферати 2022 йил «\_26\_»\_март\_\_\_ куни тарқатилди.  
(2022 йил «\_26\_»\_март\_\_\_даги №\_138\_\_ рақамли реестр баённомаси).

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

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

**Н.Д. Тураходжаев**  
Илмий даражалар берувчи илмий  
кенгаш қошидаги илмий семинар  
раиси, т.ф.д. профессор

## **КИРИШ (Фалсафа фанлари доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда замонавий металлургиянинг энг долзарб муаммоларидан бири металл эритиш печларида қўлланиладиган ўтга чидамли материалларнинг термик хоссаларини ошириш, яроқлилик даврини узайтириш ҳамда таннарҳини пасайтириш алоҳида аҳамият касб этмоқда. Бугунги кунга қадар кўп компонентли бирикмалар асосида тайёрланадиган ўтга чидамли материалларнинг, жумладан ўтга чидамли ғиштларнинг ўрнини босувчи махсулот яратилмаганлиги ҳамда металлургик печлар деворлари анъанавий усулда қурилишини инобатга олганда ушбу технологияни тадбиқ этиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади. Бу борада ривожланган мамлакатлар, жумладан Россия, АҚШ, Япония, Германия, Австралия, Канада, Хитой, Туркия ва бошқа мамлакатларнинг илмий-тадқиқот марказларида металл эритиш печларида қўлланиладиган ўтга чидамли материалларни емирилишдан ҳимоя қилишга ҳамда яроқлилик даражасини оширишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда рангли металлургия саноатида қўлланиладиган ўтга чидамли ғиштларнинг янги турлари яратилиши билан бир қаторда уларни емирилишдан ҳимоя қилиш борасида бир қатор илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан ўтга чидамли материалларни юқори ҳароратда ҳосил бўлган эритмалар таъсиридан ҳимоя қилиш, унинг таркибини қўшимча компонентлар билан бойитиш, печ девори орасида совутиш тизимини жадаллаштири ҳамда ўтга чидамли материалларни бевосита эритма билан таъсирлашадиган қисмини махсус қатлам билан ҳимоя қилиш муҳим аҳамият касб этмоқда. Шу сабабли емирувчи муҳит таъсирида рангли металлургия эритиш печларининг ўтга чидамли ғиштларини емирилишдан ҳимоя қилиш технологиясини ишлаб чиқиш зарур ҳисобланади.

Республикамизда рангли металлургия саноати металл эритиш печлари учун импорт ўрнини босувчи ўтга чидамли ғишлар ишлаб чиқариш кўламини кенгайтириш, печларда қўлланиладиган ўтга чидамли материалларни емирилишини олдини олиш орқали иш унумдорлигини ошириш ва жараёнда мия ва нодир металлларни исрофини олдини олиш чора-тадбирлари амалга оширилмоқда. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2021 йил 24 июндаги ПҚ 5159-сонли “Кон-металлургия саноати ва унга боғлиқ соҳаларни ривожлантириш бўйича қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида” ги қарори, жумладан “...«хом ашёдан тайёр махсулотгача» бўлган кўп поғонали қўшилган қиймат занжирларини яратишга қаратилган иктисодиётнинг драйвери сифатида республикада мис махсулоти ва у билан боғлиқ соҳаларда юқори қўшилган қийматли тайёр махсулотлар ишлаб чиқариш бўйича илмий-технологик кластерни ташкил этиш, мис саноати кластери учун зарур бўлган кон-металлургия машиналари, техникалари, асбоб-ускуналар, хом ашёни чуқур қайта ишлаш, кимёвий махсулотларнинг янги турларини ишлаб

чиқаришни кенгайтириш ва ўзлаштириш, маҳаллий ихтисослашган ташкилотлар билан кооперация ва аутсорсинг асосида хизмат кўрсатиш турларини ривожлантириш<sup>1</sup> вазифаси белгилаб берилган. Ушбу вазифаларни амалга ошириш, жумладан, ранги металлургия эритиш печларининг ўтга чидамли материалларини емирилишдан ҳимоя қилиш технологиясини жорий этиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2021 йил 24 июндаги ПҚ 5159-сонли “Кон-металлургия саноати ва унга боғлиқ соҳаларни ривожлантириш бўйича қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида” ги қарори, Ўзбекистон Республикаси Президентининг «Кон-металлургия тармоғи корхоналари фаолиятини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида» 2019 йил 17 январдаги ПҚ-4124-сон қарори, 2018 йил 27 апрелдаги ПҚ-3682-сон «Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалий жорий қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорлари 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 йўналишлариги мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлик» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Дунё олимлари томонидан ўтга чидамли материалларни хоссаларини ошириш, янги таркибини ишлаб чиқиш ҳамда емирилишдан ҳимоя қилиш борасида кўплаб тадқиқотлар олиб боришган. Дунёнинг етакчи олимлари, жумладан, Г.Д.Гилкрест, С. Б.Лион, К.Ли, П.Шеллер, П.Ҳабибуллаҳ, К.Брайант, Ч.Шахт, Ф.Х.Нортон, А.Аллаби, Г.Хуажи, К.Цзяньи, К.Гото, С.Ханагыри, К.Кохно, Т.Мацуи, Т.Икемото, Д.Амосс, Д.Цаконитис, С.Янссон, В.Браби, П.Йёнссон, Дж.Шиллито ва бошқаларнинг ишлари кўриб чиқилган. Бу илмий-тадқиқот ишларида ўтга чидамли материалларнинг хусусиятлари, жумладан, механик мустаҳкамлигини кўтариш, ғоваклилик даражасини оптималлаштириш ҳамда хизмат қилиш кўрсаткичини ошириш бўйича тадқиқот ишлари олиб боришган.

Рангли металлургияда қўлланиладиган ўтга чидамли материалларни физик-кимёвий хоссаларини ошириш, механик мустаҳкамлигига эриши ва емирилишидан ҳимоя қилиш бўйича бир қатор олимлар, жумладан Э.Заболоцкий, У.Марк, Д.Шмидтмайер, Г.Бюхель, А.Бюр, В.Резенде, Р.Столль, С.Юстус, Р.Андрате, Э.Лонго, Ж.Бальдо, Э.Лейте, С.Паскоцимас, Л.Соледаде, Дж.Гомеш, Дж. Варела, О.Власов, В.Словиковский, М.Шеррстобитова, А.Ролдугин ва бошқалар ўрганган. Шунингдек, мис металлургияси саноатида қўлланиладиган ўтга чидамли материалларни емирилишга қарши ҳимоясини ошириш бўйича ўзбек олимлари, жумладан,

---

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2021 йил 24 июндаги ПҚ 5159-сонли «Тоғ-кон металлургия саноати ва унга турдош тармоқларни ривожлантиришга доир қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида»ги Қарори

А.Юсупходжаев, А.Хасанов, Х.Валиев ва бошқалар бир қатор илмий-тадқиқот ишлари олиб борганлар.

Юқорида номлари келтирилган олимларнинг илмий-тадқиқот ишлари ўрганилганда рангли металлургияда қўлланиладиган ўтга чидамли материалларни емирилишдан химоя қилишда самарали технология ишлаб чиқарилмаганлиги аниқланди. Шу сабадан рангли металлургияда қўлланиладиган ўтга чидамли материалларни юзасига химоя қатлами суриб, унга электр токи таъсирлаштириш орқали унинг емирилишида химоя қилиш технологияси яратиш учун тадқиқотлар ўтказиш зарур.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган ишлаб чиқариш корхонаси илмий-тадқиқот режалари билан боғлиқлиги.**

Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университети илмий-тадқиқот ишлари режасининг №02-4297 юр х/д 10/10 «Металлургик эритиш печларнинг ўтга чидамли материалларини бузилишдан химоя қилишнинг эффектив технологиясини ишлаб чиқиш» (2010-2012) мавзусидаги лойиҳа ҳамда «Металлургия» кафедраси профессор-ўқитувчилари томонидан куннинг иккинчи ярмида бажариладиган «Иккиламчи техноген чиқиндилар ва маҳаллий минерал хомашёларни қайт ишлашнинг ресурс ва энергиятежамкор технологияларини ишлаб чиқиш» мавзусидаги илмий-тадқиқот ишлари доирасида бажарилган.

**Тадқиқот мақсади:** рангли металлургия печларининг футеровкасида ишлатиладиган ўтга чидамли материалларни химоя қилиш орқали мис ва нодир металлар исрофини камайтириш технологиясини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

металлургия печларида қўлланиладиган ўтга чидамли материалларни физик-кимёвий ҳоссаларини тадқиқ қилиш;

шлак ва штейн эритмаларнинг металлургия печларининг ўтга чидамли материаллари билан ўзаро таъсирини ўрганиш;

металлургик печда эритилган материалларнинг молекуляр, ион тузилишини, хусусиятларини ўрганиш ва қаттиқ жисмларда диффузия кинетикасини тадқиқ қилиш;

эритилган материаллар ионларининг металлургик печларининг ўтга чидамли деворлари билан ўзаро таъсирини олдини олиш усулларини ишлаб чиқиш;

мис эритиш заводида металлургия печларида ўтга чидамли материалларни химоя қилишнинг самарали технологиясини жорий этиш бўйича тавсиялар ишлаб чиқиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида рангли металлургия эритиш печларида қўлланиладиган ўтга чидамли материаллар, мис эритиш жараёнида ҳосил бўладиган шлак ва штейнлар олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** сифатида мис эритиш печларининг футеровкаларига магнит асосли қоплама суриш ва унга ишлов бериш технологияси олинган.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида рангли металлургия печларида қўлланиладиган ўтга чидамли материалларни емирилишдан химоя қилиш учун магнетит асосли қоплама суриш ҳамда унга электр токи бериш технологиясини тадқиқ этишнинг назарий ва экспериментал усуллари, физик-механик, кимёвий ва физик-кимёвий тадқиқот усуллари (ИР спектроскопияси, электрон микроскоп, ренгенография ва дифференциаль-термик таҳлил), ғоваклик даражасини аниқлаш ҳамда электр ўтказувчанлиги аниқлаш усулларида фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:**

эритиш печларида қўлланиладиган ўтга чидамли ғиштларнинг юзасига шлак ва штейнлардаги металл ва металл ионларининг ўзаро таъсирлашиш жараённинг технологик кўрсаткичлари ишлаб чиқилган;

эритиш печларининг эритма билан бевосита таъсирлашадиган қисмига магнетит асосли қатлам суриш орқали унинг юзасида кечадиган механик ва электрокимёвий жараёнларнинг оптимал технологик кўрсаткичлари аниқланган;

эритиш печларининг ўтга чидамли материаллар юзасига бевосита мусбат зарядли электр токини таъсирлаштириш орқали эритмадаги ион ҳолатидаги металл ҳамда кремний асосли бирикмаларнинг ўзаро таъсирлашиш кўрсаткичлари аниқланган;

ўтга чидамли материалларни емирилишидан химоя қилишнинг электростатистик усул ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:**

рангли металлургия эритиш печларида ўтга чидамли ғиштларнинг эритма билан бевосита таъсирлашадиган қисмини емирилишдан химоя қилиш технологияси ишлаб чиқилган;

рангли металлургия эритиш печларида қўлланиладиган ўтга чидамли материалларнинг емирилишга қарши хоссаларини оширишда унинг юзасига 30-50 мм оралиғидаги магнетит асосли қоплама суриш технологияси ишлаб чиқилган;

ўтга чидамли ғиштларнинг юзасига суртилган магнетит асосли қопламага электр токи таъсирлаштириш механизми ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги аниқ қўйилган вазифа асосида ўтга чидамли материалларни емирилишга қарши технологиянинг физик-электрокимёвий ва технологик хоссаларини ўрганишда замонавий электрон микроскоп, ренгенография ва дифференциал-термик таҳлил усуллари ёрдамида аниқланган натижалар билан таққослаш орқали изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти шундан иборатки, ўтга чидамли материалларнинг емирилишига қарши сурилган магнетит асосли қопламага мусбат зарядли электр токи таъсирлаштирилганда эритмадаги металл ионларнинг қайтариши ва кремний асосли бирикмаларнинг қоплама юзасига бирикиб, унинг мустаҳкамлигини ошириши билан изоҳланади.



Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти рангли металлургия эритиш печларида қўлланиладиган ўтга чидамли материаллари юзасига магнетит қоплама суриш орқали унинг емирилишига қарши хоссасини ошириш билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Емирувчи муҳит таъсирида рангли металлургия эритиш печларининг ўтга чидамли ғиштларини емирилишдан ҳимоя қилиш технологияси бўйича олинган илмий натижалар асосида:

мис эритиш печларининг ўтга чидамли ғиштларини эритма билан таъсирлашадиган қисмига магнетит асосли ҳимоя қатлами (гарнисаж) суриш технологияси “ОКМК” АЖ га жорий этилди (“ОКМК” АЖ нинг 15 июль 2021 йилдаги № ХА-006061 сонли маълумотномаси). Бунинг натижасида 1200-1250 °С ҳароратда ўтга чидамли ғиштларга шлакнинг сингиш даражаси 48 % гача ҳамда штейннинг ғишга сингиш даражаси 69% гача камайтирилган;

ўтга чидамли ғишт юзасига суртилган магнетит қатламига мусбат электр заряди бериш технологияси “ОКМК” АЖ га жорий этилди (“ОКМК” АЖ нинг 15 июль 2021 йилдаги № ХА-006061 сонли маълумотномаси). Жорий этиш натижасида 1200-1250<sup>0</sup>С ҳароратда эритма таркибидаги қимматбаҳо металл катионлари гарнисаждан итарилиб, манфий зарядланган кремний-кислородли комплекслар тортилиб гарнисаж мустаҳкамлигини оширишга хизмат қилди. Эритманинг ўтга чидамли ғишт юзасига сингиш даражаси шлак 1,3 мм, штейн 1,9 мм.ни ташкил этди. Бу билан ўтга чидамли ғиштларнинг хизмат қилиш даври 73% ошган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Диссертациянинг тадқиқот натижалари 9 та халқаро ва 4 та республика илмий-амалий анжуманларида ва симпозиумларида муҳокамадан ўтган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича жами 20 та илмий иш чоп этилган. Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари учун асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларида 7 та мақола, жумладан 2 таси Республика ва 5таси хорижий журналларда нашр этилган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 110 бетни ташкил этади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти

очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар берилган.

Диссертациянинг **«Рангли металлургия эритиш печларидаги ўтга чидамли материалларни емирилишдан химоя қилишнинг замонавий аҳволи ва истиқболлари»** деб номланган биринчи бобида рангли металлургияда қўлланиладиган эритиш печларининг ўтга чидамли материалларини ташқи муҳит таъсирида емирилишдан химоя қилишнингнинг замонавий аҳволи таҳлил келтирилган.

Чет эл ҳамда республикаимиз олимларининг металлургик эритиш печларида қўлланиладиган ўтга чидамли материалларга эритманинг бевосита таъсири, емирилишига сабаб бўлувчи омиллар ҳамда ўтга чидамли материалларнинг емирилишини олдини олиш бўйича олиб борган илмий тадқиқотлар ишлари кўриб чиқилди.

Ушбу диссертацияда келтирилган усуллар, яъни, рангли металлургия эритиш печларидаги ўтга чидамли материалларни емирилишдан химоя қилишда унинг юзасига магнетит асосли қатлам суриш ҳамда электр мусбат заряд бериш технологияси керакли даражада ўрганилмаганлиги аниқланди.

Диссертациянинг **«Тадқиқот объектини танлаш ва ўтга чидамли материалларнинг асосий хоссаларини тадқиқ этишнинг методикаси»** деб номланган иккинчи бобида тадқиқот объектини танлаш, қўлланиладиган маҳсулотларнинг асосий физикавий ва кимёвий хоссаларини ёритиб бериш ҳамда физик-механик, кимёвий ва физикавий хоссаларинини ўрганишда замонавий усул ва дастгоҳлардан (ИК-спектроскопия, электрон микроскоп, гидростатик усул, варентгено-флуоресцент усул) фойдаланилганлик ҳақида маълумотлар келтирилган.

Тадқиқот объекти сифатида рангли металлургия эритиш печларида қўлланиладиган ўтга чидамли материаллар, мис эритиш жараёнида ҳосил бўладиган шлак ва штейнлар танланган.

Тадқиқот методи сифатида ўтга чидамли материалларнинг оловбардошлиги, ғоваклиги, иссиққа чидамлиги хоссалари ўрганилган бўлиб, унинг емирилишини олдини олиш технологияси танланган.

Диссертациянинг **«Рангли металлургия эритиш печларида қўлланиладиган ўтга чидамли материалларга эритмаларнинг таъсирини тадқиқ этиш»** деб номланган учинчи боби ўтга чидамли материалларнинг асосий хоссаларини ўрганиш, ғоваклигини аниқлаш, иссиққа чидамлилик хоссасини аниқлаш, эритмадаги шлак ва штейнларнинг ўтга чидамли материаллар юзасидаги капеляр ходисаларини ўрганиш ҳамда шлак ва штейнларнинг ўтга чидамли материалларни емирилишига сабаб бўлувчи омиллари таҳлил қилиш бўйича маълумотлар келтирилган.

Ўтга чидамли материаллар кўп ҳолларда капилляр-ғовакли жисмлардир. Очик ғоваклик қанчалик катта бўлса, эритма шунчалик кўп сингади, деган нотўғри тушунча мавжуд. Бироқ, сингган эритма миқдори нафақат очик тешиклар ҳажмига, балки уларнинг катталиги ва тузилишига ҳам боғлиқ. Тешиклар цилиндрсимон каналлар бўлганида, эрийдиган ва ўтга чидамли

тешиқлар деворларининг ҳарорати бир хил ва ўзгармас ва каналлар узунлиги бўйлаб бўлса, тешиқлар асл ўлчамлари ва шаклларини ўзгартрмайди. Эритмалар ўтга чидамли материаллар билан ўзаро таъсир қилмайди, ва уларнинг хоссалари ҳам ўзгармас ва ғоваксимон ҳажмига боғлиқ эмас ва эритманинг ҳаракати ламинар. Ўтга чидамли материалларни юзасига сингиш параболик тенглама билан тавсифланади:

$$l^2 = K\tau, \quad (1)$$

бу эрда  $l$  – сингиш чуқурлиги;  $K$  - сингиш константаси;  $\tau$ - вақт.

Тенглама (1) маълум ўлчамдаги ғовақлар учун амал қилади: катта тешиқларда капилляр кучлардан ташқари тортишиш кучлари ҳаракат қилади ва ингичка тешиқларда эритмаларнинг хоссалари ўзгариши мумкин. Бундан ташқари, дастлабки ва охири даврларда сингиш бошқа қонуниятларга бўйсунди, дастлабки даврда у анча юқори бўлади. Тўғри бўлмаган ғовақлар капилляр ғовақли жисмлар учун сингиш константаси формула бўйича ҳисобланади.

$$K = \gamma_2 r \cos \theta / 2,8b^2 \eta l, \quad (2)$$

бу эрда  $\gamma_2$  - эритманинг сирт таранглиги;  $b$ -тортишувчанлик коэффиценти (йирик донали рамкали периклаз массалари учун, 1450 °С да, очик ғовақлиги 34-38%,  $b = 1.6$ , бошқа ҳолларда  $b = \pi / 2$ );  $r$  - ўтказувчан тешиқларнинг радиуси. Эриш тезлиги параболик тенгламанинг дифференциал формуласи билан тавсифланади (3):

$$v = dl/dt = \gamma_2 r \cos \theta / 5,6b^2 \eta l. \quad (3)$$

(3) формуладан кўриниб турибдики, тешиқ ҳажми қанчалик катта бўлса, сингдириш тезлиги шунча катта бўлади.

Амалда, сингиш тезлиги назарийдан анча паст бўлади, бу шлакнинг тешиқ деворлари билан ўзаро таъсири натижасида қовушқоқликнинг ошиши билан изоҳланди. Эритманинг ўтга чидамли материаллар юзасидаги сингиш тезлигига ҳарорат фарқи жуда кучли таъсир қилади. Ҳароратнинг пасайиши билан, айниқса, суюқ чизик яқинида, эритмаларнинг қовишқоқлиги кескин ошади ва уларнинг ҳаракат тезлиги сезиларли даражада пасаяди.

Эритманинг оғирлигини ҳисобга олган ҳолда, сингиш тезлиги тенграмаси қуйидаги шаклга эга бўлади:

$$dl/d\tau = \frac{\gamma_2 r \cos \theta}{5.6b^2 \eta} - r^2 g \rho / 8b^2 \eta \quad (4)$$

Эритманинг тортиш кучи сингиш тезлигини пасайтиради. Агар (4) тенгламанинг иккинчи атамаси биринчисидан кам бўлса (масалан, <10%), бу тешиқнинг радиуси критик деб аталса, бу куч таъсирини эътиборсиз қолдириш мумкин.

$$0,7r_{кр}n\rho l/(\gamma_2\cos\theta)\leq 0,1, \text{ каердан } r_{кр} = 0,143\gamma_2\cos\theta/(g\rho l) \quad (5)$$

$l = 1$  см оксид-силикат эритмалари учун, унда  $\gamma = 300 \div 600$  мДж/м<sup>2</sup>,  $\rho = 2,2 \div 4,9$  г/см<sup>3</sup>,  $\theta = 0^\circ$ ,  $r_{кр} \approx 0,1$  мм.

Эритмаларнинг ўтга чидамли материаллар билан ўзаро таъсир механизмини ўрганишда стационар эритиш жараёнининг тезлиги тўйинганлик ҳолатидаги суюқликдаги қаттиқ модданинг концентрацияси ва эритма ҳажмининг молекуляр диффузия содир бўладиган қатлам қалинлиги фарқи билан белгиланади.

$$v = \left(\frac{D}{x}\right)(C_n - C_v), \quad (6)$$

бу эрда  $D$  - диффузия коэффиценти.

$D$  қийматлари қовушқоқлика боғлиқ. Қовушқоқлик камайиши билан  $D$  ҳам камаяди. Шунинг учун қовушқоқлик эритишга энг катта таъсир кўрсатади. Шунинг таъкидлаш керакки, экспериментал маълумотларга кўра, эритманинг қовушқоқлиги 3,5 Па·с дан паст бўлганида, ўтга чидамли материал билан ўзаро таъсир қилади (бу қиймат ёрдамида шлак ва ўтга чидамли материаллар билан таъсирлашиш ҳарорати аниқланади). Умуман олганда, қатлам қалинлиги эритманинг табиатига ва уни аралаштириш шартларига боғлиқ. Эритмада айланадиган диск (намуна) ҳолати учун, намуна бутун юзасига диффузия шароитида тенг кириш мумкин бўлган шароитлар яратилди. Бу ҳолда, кимёвий гидродинамика жараёнида қуйидаги тенглама олинди:

$$x = 1.61(D/v)^{-1/3}\sqrt{l/\omega}, \quad (7)$$

$v$ - кинематик қовушқоқлик;

$\omega$ - намуна айланишининг бурчак тезлиги.

(5) ва (6) тенгламалар Левич тенгламасини беради

$$v = 0.62D^{2/3}v^{1/3}(C_n - C_v)\sqrt{\omega} \quad (8)$$

Ёки диффузия тарқатиш режими учун

$$v \approx K\omega^{0.5}, \quad (9)$$

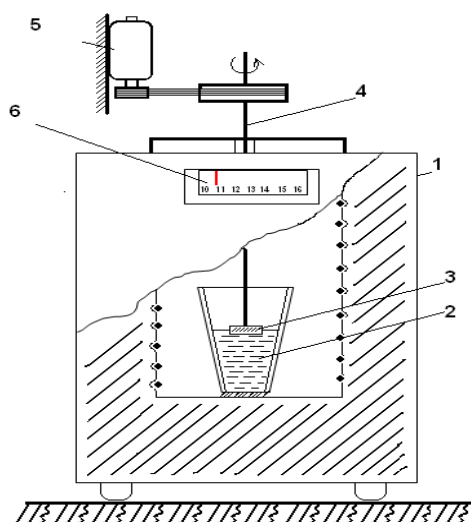
Цилиндрсимон намуналар эриганида, эритманинг ҳаракатланиш шартлари олдинги ҳолатдан бироз фарқ қилди ва кинетик тенглама (Кинтерига кўра) шакл олди.

$$v = 0.79\left(\frac{D}{d}\right)Re^{0.7}\left(\frac{v}{D}\right)^{0.64}(C_n - C_v), \quad (10)$$

$Re$  - намуна диаметри учун Рейнолдс мезони. Бу ҳолда эритиш тезлиги  $\omega = 0,7$  кучига боғлиқ, яъни.

$$v = K/\omega^{0.7} \quad (11)$$

(10) ёки (11) тенгламаларни қайта ишлаш натижалари ёрдамида ўтга чидамли материалларнинг эриши аниқланди. Ўтга чидамли материалларнинг эриш даражаси аниқлашда қуйидаги лаборатория дастгоҳидан фойдаланилди.



**1-расм. Ўтга чидамли ғишт юзасига эриган шлак ва штейнни диффузиясини аниқлашда қўлланилган лаборатория дастгоҳи: 1-СШОЛ шахтали электропечь; 2-эритма солинган алундли тигел; 3-айланма диск; 4-дискни айлантурувчи вал; 5-электродвигатель; 6-печдаги ҳароратни автоматик бошқарувчи қурилма**

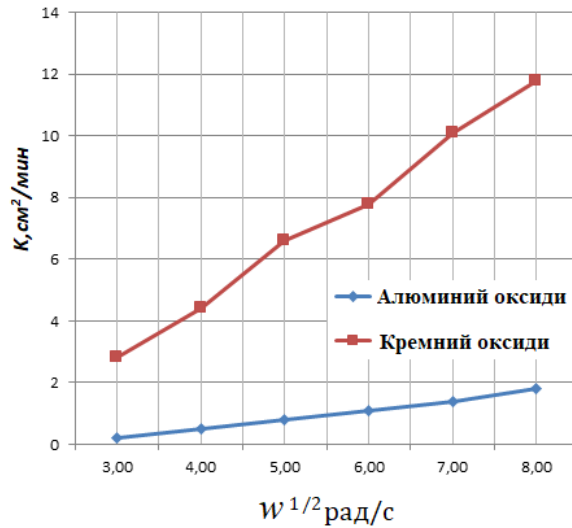
### 1-жадвал

**Ўтга чидамли материалларнинг оксид эритмаларида эриши тезлиги  
мг / (см<sup>2</sup> • с)**

Эритма	кварц	корунд	Магний оксиди эритмаси	Хромомагнезиали шпинель
Темир оксиди (Fe <sup>2+</sup> )	40,0	8,5	9,4	4,4
Фаялит	3,8	0,66	1,3	0,32
Тефроит	2,0	0,33	0,7	0,13
Темир-марганец-силикатли (50%2FeO·SiO <sub>2</sub> +50%2MnO·SiO <sub>2</sub> )	4,3	0,95	2,5	-
Намуналар 1400 °С ва айланиш частотаси 120 мин <sup>-1</sup> да синовдан ўтказилди				

Таърифланган усул билан олинган маълумотлар 1-жадвалда кўрсатилган. Жараённинг тарқалиш хусусиятига кўра, эриш тезлиги эритманинг ёпишқоқлиги билан боғлиқ. Эриш тезлигининг ҳароратга боғлиқлиги 1 –расмда кўрсатилган.

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO ва хромомагнезитли шпинел учун фаоллашув энергияси тахминан бирхил ва 180,6кЖ / мол, SiO<sub>2</sub>учун 64,3 кЖ/мол. *D* диффузия коэффициентлари, тахминан 1400 °С да тенгламага мувофиқ, 2,9•10<sup>-6</sup> -3,2•10<sup>-5</sup> см<sup>2</sup>/с ва Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2,9 • 10<sup>-6</sup>) дан MgO га (9,3•10<sup>-6</sup>см<sup>2</sup>/с) ва ундан кейин SiO<sub>2</sub> га (3.2•10<sup>-5</sup>см<sup>2</sup>/с).



2 -расм. SiO<sub>2</sub> (1) ва Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2) намуналарнинг айланиш частотаси фаялитда оксидларининг 1300°С да эриш тезлигига таъсири.

Шу тарика, гидродинамик режимга қараб, ҳар хил ҳароратда эриш тезлигининг қиймати ва жараённинг табиати аниқланди.

Диссертациянинг «Рангли металлургия эритиш печларида қўлланиладиган ўтга чидамли материалларни емирилишидан химоя қилиш технологиясини тадқиқ этиш»деб номланган тўртинчи бобида ўтга чидамли материаллар юзасига шлакнинг сингиш тезлигига таъсир этивчи омиллар, ўтга чидамли материалларни емирилишдан химоя қилишнинг электростатик усули технологияси ҳамда жараённинг оптимал кўрсаткичлари келтирилган.

Шлак эритмаси билан ўзаро таъсирлашган ўтга чидамли материалларни емирилишининг асосий сабабларидан бири шлакнинг капилляр кириб бориши ҳисобланади, шунинг учун ўтга чидамли материал шлаклар билан сингдиришнинг кинетик қонуниятларини ўрганиш катта қизиқиш уйғотади. Ғовак жисмларни эритмалар билан сингдиришнинг маълум кинетик тенгламалари ғоваклик моделини танлашга боғлиқ. Монодисперли кукунлардан олинган материаллар учун энг мос модел бу намланмаган суюқликнинг ғовак орасига кириш босими билан аниқланадиган, энг тор қисмида радиуси  $r_2$  бўлган бир хил аниқ бўлмаган капиллярлар тўплами. Бундай модел учун, тортишиш майдонининг таъсири бўлмаса, шлакнинг т вақт ичида намуна ичига кириши чуқурлиги  $l$  тенгликдан аниқланади.

$$l^2 = \frac{\sigma \cos \theta r_2}{2,8b^2 \eta} \tau = K\tau, \quad (12)$$

бу ерда  $\sigma$  ва  $\eta$  - мос равишда шлакнинг сирт таранглиги ва қовишқоқлик;

$v$  - сингдирилган материални эритма билан намлаш бурчаги;

$b$  - коэффициент  $\pi/2$ .га яқин ғовакликнинг буришиши.

$K$  аспект нисбати одатда сингдириш тезлиги константаси деб аталади. (12) тенгламага кўра, доимий  $K$  сингдирилган намуналарнинг самарали ғоваклик радиуси  $r_2$  га мутаносиб бўлиши керак, агар сингдириш пайтида 9%

гил қўшилган магнезия кукунидан тайёрланган намуналар учун FeO - SiO<sub>2</sub> тизимини сингиш билан сингдиришни ўрганишда аниқланган  $\sigma$ ,  $\eta$  ва  $\cos\psi$  қийматлари ўзгармас бўлиб қолса. Кейинчалик магнезия намуналарини FeO – SiO<sub>2</sub> – MnO тизимининг ғоваклик билан сингдирилишини ўрганишда, тешик радиуси 13 баробар ошган ҳолда, доимий  $K$  нинг атиги уч баробар кўпайиши қайд этилган. Намуналардаги доимий  $K$  нинг ғовак катталигига мутаносибликдан оғиши, ғоваклик деворларининг эриши билан секин намланиши режимида сингдириш оқими билан изоҳланади. Кўпинча, ўтга чидамли материалларнинг газ ўтказувчанлигини стандарт усул билан аниқлашда, ўртача ғоваклик радиуси  $r$  топилади.  $P$  қийматининг ўтга чидамли  $K$  нинг сингиш тезлигига таъсирини очиш қизиқ кўринади. Монодисперли кукунлардан тайёрланган намуналарда ўртача тешик радиуси  $r$  аниқ капилляр  $r_2$  нинг минимал радиусидан тахминан 1,4 баравар катта; шунинг учун (13) тенглама шакли олади.

$$K = \frac{\sigma \cos \psi r}{2.8 \frac{\pi^2}{4} 1.4 r_1} = \frac{\sigma \cos \psi r}{9.65 \eta}, \quad (13)$$

шундан келиб чиқадики, сингиш тезлиги доимийлиги намуналардаги ўртача ғоваклик радиусига мутаносиб бўлиши керак.

Ишда қуйдаги таркибли шлакдан фойдаланилди: 30,5% SiO<sub>2</sub>; 24% CaO; 5,3% MgO; 12% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,5% FeO; 0,5% MnO, шунингдек 0,4% S. шлакни танлаш асосан паст эриш ҳарорати (~ 1100 °C) билан белгиланади. 1300 °C да, вискозиметр билан ўлчанадиган шлакнинг қовишқоқлиги 3,2 пауз, газ пуфагидаги максимал босим билан аниқланган сирт таранглиги 350 ± 20 мЖ/м<sup>2</sup> ни ташкил этди.

## 2-жадвал.

### Магнезит намуналари тузилишининг хусусиятлари ва 1300 °C да шлакга сингиш тезлиги константаси

Намуна нормаси	Донадор таркиб, %, фракции, мм					Очиқ ғоваклиги, %	Ўрта радиус ғовак $P$ , мкм	Сингиш константаси, см <sup>2</sup> /мин		$K_{\text{хисоб}}$
	2 – 0,5	1 – 0,5	0,5 – 0,088	0,088 – 0,06	<0,06			намуна	Формула ёрдамида ҳисобланганда	
1	-	-	-	-	100	4,0	-	0,00	-	-
2	-	-	-	-	100	17,9	2	0,02	0,19	9,5
3	-	-	-	100	-	32,5	10	0,20	0,97	4,8
4	50	-	10	-	40	16,9	15	0,40	1,48	3,7
5	-	-	100	-	-	28,8	20	0,68	1,95	2,9
6	-	100	-	-	-	25,6	44	0,70	4,2	6,0

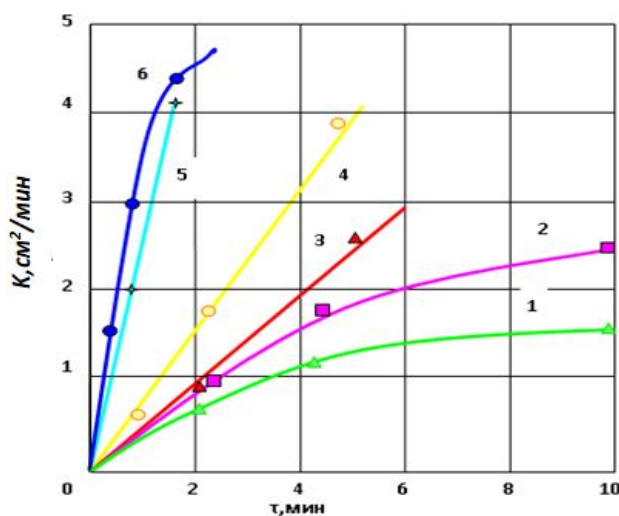
**Намуналар тузилишининг хусусиятлари ва 1300 °С да шлак билан сингиш тезлиги константаси**

Намуна нормаси	Очиқ ғоваклиги, %	Ғоваклик радиуси, мкм			Сингиш константаси, см <sup>2</sup> /мин		$\frac{K_{\text{ҳисоб}}}{K_{\text{намуна}}}$
		максимал	ўрта	максимал	намуна	Формула бўйича ҳисоби	
1	40	20	12	10	0,30	1,16	3,9
2	49	28	20	17	0,50	1,5	3,9
3	24	32	18	13	0,45	1,75	3,9
4	32	39	28	22	0,70	2,70	3,8
5	42	54	39	33	2,0	3,3	1,65
6	34	70	44	39	2,2	3,8	1,7
7	39	60	46	40	2,0	4,5	2,2
8	32	75	50	41	2,8	4,8	1,7

Экспериментал тадқиқотлар натижалари шуни кўрсатадики, магнезит намуналарига шлакнинг кириб бориши квадратик парабола тенгламаси  $l^2 = Kt$  билан қониқарли тарзда тасвирланган (3 -расм) ва ғоваклик радиуси  $r$  20 мкм га ошиши билан  $K$  сингдирилиш тезлиги константаси ошган, шундан кейин  $K$  нинг қиймати деярли ўзгармади. Намуналарни сингдириш интенсивлиги бир қатор ҳолатларда квадратик парабола қонунидан сезиларли даражада четга чиқди (4 -расм), бу айниқса кичик ғовакли радиусли намуналар билан ўтказилган тажрибаларда яққол намоён бўлди.  $l^2$ – $t$  координаталаридаги кинетик эгри чизигининг бошланғич қисмининг қиялигидан аниқланган сингиш тезлиги константаси ҳам унинг тешик радиуси ошиши билан ошди (4 -расм). Бундан келиб чиқадики, экспериментал тадқиқотлар сингдириш тезлиги доимийлигининг тешикларнинг ўртача радиусига кутилган мутаносиблигини қўлга киритмаган.  $K = \varphi(r)$  эгри чизиқ  $x$  ўқиға қараб қавариқ, яъни кичик ғовак радиусларида  $K$  нинг экспериментал қийматларининг  $\cos \vartheta = 1$  тенгламаси бўйича ҳисобланганидан оғишлари катта ғовак ўлчамларидаги  $K$  қийматининг оғишларидан ошади (2 ва 3-жадваллар). Истисно фақат 44 мкм бўлган ғовак радиуси бўлган  $MgO$  намуналари билан ўтказилган тажрибалар натижаларидир. Тахминан 2 баробарга тенг бўлган экспериментал ва ҳисобланган қийматлар ўртасидаги тафовутни ҳали ҳам қониқарли деб ҳисоблаш мумкин ва бу қийматларни аниқлашдаги хато,  $\sigma, \eta, r$  ва  $K_{ум}$  Катта тафовутлар, кичик тешикларда топилган, афтидан, сингиш пайтида алоқа



фазаларининг физик хусусиятларининг ўзгариши билан боғлиқ. Кичкина тешик ўлчамига эга бўлган намуна сингдириш тезлигининг кам баҳоланиши намуналардаги доналар сиртининг шлак билан намланишининг ёмонлашиши билан изоҳланмайди, чунки шлак оқими пастроқ бўлганида қирраларнинг бурчаклари бўлиши керак, мувозанат қийматларига яқинроқ бўлсин, яъни нозик танели намуналарда,  $\cos\theta$  кўпол доналарга қараганда бирликка яқинроқ. Кичик ғоваклик намуналарга шлакларнинг кириб келиш тезлигининг секинлашиши, эҳтимол, намуна доналарининг кирувчи шлак оқимларида эриши ва эритманинг қовушқоқлигининг ошиши билан боғлиқдир. Кичкина тешикка эга бўлган ҳолда, масса ўтказишнинг сингдириш тезлигига таъсири катта бўлиши керак, шунинг учун динас намуналари билан ўтказилган тажрибаларда ( $r < 20$  мкм) сингдиришнинг квадратик парабола қонунидан оғиши аниқланди (3-расм).



3 -расм - Динасли намуналарини 1300 °С ҳароратда шлакли намуна сингдиришнинг кинетик эгри чизиклари, ғоваклик радиуси: 1-12 микрон; 2-18 микрон; 3 - 20 микрон; 4 - 28 микрон; 5 - 4 микрон; 6 - 50 микрон

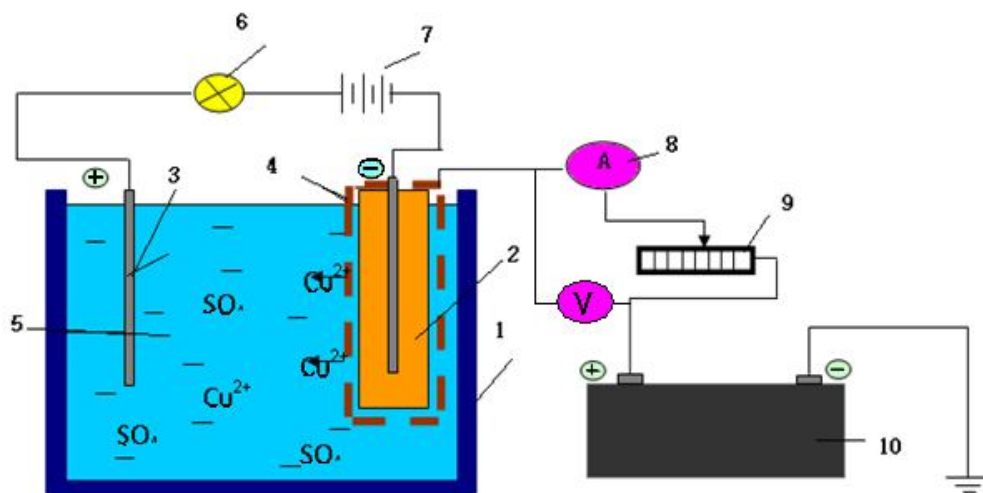
Шундай қилиб, сингдириш пайтида алоқа фазалари орасидаги масса алмашинуви жараённинг боришини мураккаблаштиради ва маълумки кинетик тенгламалар ёрдамида ҳисобланганлардан сингдириш тезлигининг экспериментал қийматларининг сезиларли оғишларига олиб келиши мумкин.

Металлургия эритишнинг суюқ маҳсулотлари ионли диссоциланиш ҳолатида эканлиги ва маълум даражада электролитлар билан солиштириш мумкинлиги аниқланди. Шунинг учун сувли эритмаларга хос бўлган энг муҳим электрохимёвий ҳодисалар шлакли эритмаларга ҳам хосдир. Бу гипотезага кўра, суюқ эриган маҳсулотларнинг ўтга чидамли материаллар тешикларига уларнинг электр ҳимояси пайтида кириб бориши сезиларли даражада камаяди ёки ҳатто тўхтайдди деб тахмин қилиш мумкин. Ушбу гипотезани синаб кўриш учун биз лаборатория шароитида тайёргарлик реактивлари ва мис ишлаб чиқаришнинг ҳақиқий маҳсулотлари (штейин, шлак, оқ мат ва хомаки мис эритмалари) бўлган моделда экспериментал тадқиқотлар ўтказдик.

Лаборатория ишлари электролиз ваннаси, электродлар, пўлат тўр ва қувват манбаларидан ташкил топган моделни сошлаш бўйича олиб борилди, уланиш схемаси 6-расмда кўрсатилган. Экспериментал тадқиқотлар учун ўтга чидамли материал яллиғ қайтарувчи, кислород алангали печ ва горизонтал конвертор қопламасида ишлатиладиган ўтга чидамли маҳсулотлардан (металлургия эритиш печларининг ўтга чидамли ғиштлари) намуналар тайёрланди. 1 литр хажмли лаборатория электролиз ваннаси оргстеклодан қилинган. Электродлар: анод-графит, катод графит электродлари бўлиб, улар катталигидаги ўтга чидамли ғиштларга киритилган; узунлиги 8 см, кенлиги 6 см ва қалинлиги 4 см. Ўтга чидамли печнинг ўртасида маълум бир чуқурликдаги тешик очилади, унинг диаметри 10 мм, бу ерда графит электрод ўрнатилган. Ўтга чидамли материал жойлаштирилган сават пўлат тўрдан ясалган ва ташқи қувват манбаига уланган. Тизим асбоблар (вольтметр, амперметр), ток регулятори ва индикаторли чироқ билан жиҳозланган.

Мис ионлари сувли эритмаларда, шунингдек металлургия эритмаларида ўтга чидамли материалларга сингишини ҳисобга олиб, биз биринчи босқичда сувли эритмалар билан тадқиқот ўтказдик.

Тажирибалар қуйидагича давом этди: таркибида 150 г/л мис бўлган олдиндан тайёрланган электролит ( $\text{CuSO}_4$  эритма) электролиз ваннасига қуйилади ва электролизатор ток манбаи ёқилади. Шу билан бирга, индикатор чироғи ёнади, яъни электролиз жараёнининг бошланиши кўрсатилган. Шундай қилиб, ижобий мис ионлари  $\text{Cu}^{2+}$  ўтга чидамли материалларнинг тешиклари орқали катодга қаршиликсиз эркин ҳаракатланади. Агар пўлатли саватга ташқи манбадан мусбат заряд қўлланса, у ҳолда индикатор чироғи ўчади, яъни электролиз жараёни тўхтади.



**6 -расм - Металлургия эритиш печларида ўтга чидамли материалларни электростатик тарзда емирилишдан ҳимоя қилиш учун лаборатория қурилмасининг схемаси: 1 –электролитли ванналар; 2- ўтга чидамли ғишт; 3- графит электрод; 4- зангламайдиган пўлатдан ясалган ҳимоя экран; 5 –  $\text{CuSO}_4$  нинг сувли эритмаси; 6- индикатор нури; 7- доимий оқим манбаи ВК-5; 8- амперметр; 9- реле; 10- аккумулятор токи.**

Физика қонунларига кўра, тармоқдан мусбат зарядлар қайтарилади ва мис ионлари ( $\text{Cu}^{2+}$ ) катод жойлашган ўтга чидамли тешикларга кира олмайди. Тадқиқотлар шуни кўрсатдики, электролитдаги мис концентратсиясининг ўзгариши, шунингдек унинг таркибида бошқа ионларнинг мавжудлиги ( $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ) деярли электролиз жараёнида сезиларли ўзгаришларга олиб келмайди, яъни катионлар намуналарга кирмайди, бу эса ўтга чидамли материалларни йўқ қилишдан химоя қилишнинг тавсия этилган усулининг самарадорлигини кўрсатади.

Иккинчи босқичда мис эритишнинг ҳақиқий суюқ маҳсулотлари билан экспериментал тадқиқотлар ўтказилди. Тажрибалар юқорида тавсифланган усул бўйича ўтказилди. Олдинги тажрибалардан фарқли ўлароқ, ўтга чидамли материаллар намуналарга магнетит асосли гарнисаж қўлланилган ва унга ташқи ток манбаидан мусбат заряд қўлланилган. Намуна, қуйма тигел ичида бўлган ва илгари СШОЛ-1.16/12 лаборатория эритиш печида 1200-1250 °С ҳароратда эритилган мис ишлаб чиқариш суюқ эритиш маҳсулотига (штейн, оқ мат, конвертор шлаки, КФП штейн ва КФП шлак) ботирилган. Тажрибаларнинг давомийлиги 3 соатгача бўлган. Шу билан бирга, синовдан ўтга чидамли намуналарнинг тешикларига суюқ маҳсулотларни сингдириш чуқурлиги ва тезлиги ўрганилди.

Олинган натижалардан кўриниб турибдики, таклиф қилинаётган электр муҳофазаси мис ионларининг ўтга чидамли материалларнинг тешикларига тарқалишига нисбатан ижобий натижа беради. Масалан, мис эритмасидан мусбат мис ионлари ўтга чидамли материалларнинг электр муҳофазасиз деярли тўлиқ киради ва электр химояси билан бу чуқурлик атиги 4,5мм тенг. Шунингдек, ўтга чидамли материаллардан электр химояланмаган КФП шлаклариди мис ионларининг тешикларга кириши 12 мм, электр химояси билан эса бу чуқурлик 3,6 мм тенг.

Ўтга чидамли намунадаги катионларнинг электростатик итарилишидан ташқари, мусбат заряд бошқа химоя вазифасига эга. Гап шундаки, эритмада мавжуд бўлган манфий зарядланган мураккаб кремний-кислородли комплекслар мис тўрининг мусбат зарядига тортилади. Намунага маҳкам ёпишган ҳолда, бу комплекслар эритилган компонентларнинг ўтга чидамли моддаларга киришига сезиларли даражада тўсқинлик қилади ва натижада химоя экрани мис ва бошқа металлларнинг мусбат ионларининг ўтга чидамли тешикларга чуқур кириб боришига йўл қўймайди.

Шундай қилиб, бу химоя усулидан фойдаланиш ўтга чидамли материалларнинг эрозиясини сезиларли даражада олдини олади. Бу ўтга чидамли материалларнинг хизмат қилиш муддатини узайтиришни таъминлайди. Ўтга чидамли материаллар 1200°С дан юқори ҳароратда электр ўтказувчанлигини ҳисобга олсак, бу мусбат зарядни тўғридан-тўғри бош эритиш печининг қопламасига етказиб беришга имкон беради. Бу технологияни амалда қўллашни анча соддалаштиради.

## ХУЛОСА

1. Рангли металлургия эритиш печларида ўтга чидамли материалларнинг емирилишга чидамлилигига унинг, газ ўтказувчанлиги, ғоваклиги, механик куч, электр ўтказувчанлик, иссиқликка чидамлик каби хусусиятлари таъсир қилиши аниқланган. Бу ўтга чидамли материалларни ишлаб чиқишда зарур бўладиган кимёвий бирикмаларни танлаш имкониятини беради.

2. Эритиш жараёни натижасида ҳосил бўлган шлак ва штейн эритмасининг ўтга чидамли материаллар билан ўзаро таъсири суёқ материалнинг қаттиқ ҳолатга тарқалиш қонунларига асосланиши аниқланди. Бу эритмани ўтга чидамли материалларга сингиш тезлиги ва чуқурлиги унинг ғоваклилигига боғлиги билан баҳолаш имконини беради.

3. 1200 °С дан юқори ҳароратларда ўтга чидамли материаллар электр ўтказувчанлик хоссаси ортиши аниқланди. Бу ҳимоя сифатида ғишт сиртига суриладиган электр ўтказувчанлик хоссаси юқори бўлган магнетит  $Fe_3O_4$  копламасини суришда муҳим аҳамият касб этади.

4. Эриган шлак ва штейн фазадаги  $Cu^{2+}$  мис ионлари ва  $SiO^4$ ,  $(SiO_3)^{2-n}$  силикат ионларининг ўтга чидамли материаллар юзасига берилган электр зарядига (мусбат ва манфий заряд) нисбатан хатти-ҳаракатлари аниқланди. Бу ўтга чидамли материаллар юзасига берилиши лозим бўлган заряд турини аниқлаш имконини беради.

5. Мис эритиш печларининг ўтга чидамли ғиштларини эритма билан таъсирлашадиган қисмига магнетит асосли ҳимоя қатлами (гарнисаж) суриш технологияси ишлаб чиқилган. Бу 1200-1250 °С ҳароратда ўтга чидамли ғиштларга шлакнинг сингиш даражаси 48 % гача ҳамда штейннинг ғиштга сингиш даражаси 69% гача камайтириш имконини беради.

6. Ўтга чидамли ғишт юзасига суртилган магнетит қатламига мусбат электр заряди бериш технологияси ишлаб чиқилди. Бунинг натижасида 1200-1250 °С ҳароратда эритма таркибидаги қимматбаҳо металл катионлари гарнисаждан итарилиб, манфий зарядланган кремний-кислородли комплекслар тортилиб гарнисаж мустаҳкамлигини оширишга хизмат қилди. Эритманинг ўтга чидамли ғишт юзасига сингиш даражаси шлак учун 1,3 мм, штейн учун 1,9 мм.ни ташкил этди. Бу ўтга чидамли ғиштларнинг хизмат қилиш даврини 73% оширишга хизмат қилади.

7. Рангли металлургия эритиш печларида ишлатиладиган ўтга чидамли материалларни емирилишдан ҳимоя қилишнинг асосий технологик схемаси ишлаб чиқилган. Бу ўтга чидамли материалларнинг хизмат қилиш муддатини ошириш имкониятини яратади.

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

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**НОСИРХУЖАЕВ САРДОР КОДИРЖОН УГЛИ**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЯ ЗАЩИТЫ ОГНЕУПОРНОЙ КЛАДКИ  
ПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ОТ  
РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ**

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

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

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером В2020.4.PhD/Т1954**

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 «Ziyonet» ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).ый институт

**Научный руководитель:** **Маткаримов Сохибжон Турдалиевич**  
доктор философии (PhD) по техническим наукам,  
доцент

**Официальные оппоненты:** **Норхуджаев Файзулла Рамазанович**  
доктор технических наук, профессор

**Вохидов Бахриддин Рахмидинович**  
доктор философии (PhD) по техническим наукам,  
доцент

**Ведущая организация:** **Ташкентский химико-технологический институт**

Защита диссертации состоится «\_09\_»\_апрель\_\_\_\_\_2022 г. в \_\_11<sup>00</sup>\_\_ часов на заседании разового Научного совета DSc.03/30.12.2019.Т.03.04 Ташкентского государственного технического университета. (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 транспортного университета (регистрационный номер-\_249\_). (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел./факс: (99871) 227-10-32.

Автореферат диссертации разослан «\_26\_»\_март\_\_\_\_\_2022 года.

(протокол реестра №\_138\_\_от\_26 март\_\_\_\_\_2022 года).

**К.А.Каримов**

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

**Ш.Б.Ташбулатов**

Ученый секретарь научного совета  
по присуждению ученых степеней,  
доктор философии по техническим  
наукам, (PhD)

**Н.Д.Тураходжаев**

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

## **ВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире одной из актуальнейших проблем современной металлургии является повышение термических свойств огнеупорных материалов, используемых в металлоплавильных печах, продление срока их службы и снижение себестоимости, которое имеет особое значение. Учитывая тот факт, что на сегодняшний день не было создано материалов, заменяющих огнеупорные материалы, в том числе огнеупорные кирпичи, изготовленные на основе многокомпонентных соединений, кроме этого, учитывая традиционное строительство стен металлургических печей, внедрение данной технологии является одной из важнейших задач. В связи с этим научные центры развитых стран, в том числе России, США, Японии, Германии, Австралии, Канады, Китая, Турции и других стран, уделяют особое внимание защите огнеупорных материалов, используемых в металлоплавильных печах, от разрушения и повышению их эксплуатационной пригодности.

Во всем мире наряду с созданием новых видов огнеупорных кирпичей, применяемых в цветной металлургии, проводится ряд научно-исследовательских работ, направленных по защите их от разрушения. В этом направлении, важное значение имеет защитить огнеупорные материалы от воздействия расплавов, образованных при высокой температуре, обогащение их состава дополнительными компонентами, ускорить работу системы водоохлаждения между стенками печи и защитить часть огнеупоров, непосредственно контактирующие с расплавом специальным слоем. Поэтому необходима разработка технологий по защите огнеупорных кирпичей плавильных печей цветной металлургии от разрушения под воздействием агрессивной среды.

В нашей республике принимаются меры по повышению производительности предприятий цветной металлургии за счет расширения производства импортозамещающих огнеупорных кирпичей для металлургических печей, предотвращению разрушения огнеупорных материалов, используемых в печах. В Постановлении Президента Республики Узбекистан от 24 июня 2021 года ПП № 5159 «О дополнительных мерах по развитию горно-металлургической промышленности и смежных отраслей», в том числе «...от сырья к готовой продукции» были определены задачи по созданию многоуровневых цепочек с добавленной стоимостью как драйвера экономики, направленные на организацию научно-технологического кластера по производству медной продукции и готовой продукции с высокой добавленной стоимостью, горно-металлургические машины, техника, оборудования, инструменты, глубокой переработки сырья, расширения и освоения производства новых видов химической продукции, развития сферы услуг на основе кооперации и аутсорсинга с местными специализированными организациями необходимые

для медного отраслевого кластера»<sup>1</sup>. Одной из важных задач является реализация этих задач, в том числе внедрение технологии защиты огнеупорных материалов плавильных печей цветной металлургии от истирания.

Данное диссертационное исследование в определенной степени послужит решением задач Постановления Президента Республики Узбекистан от 24 июня 2021 года ПП-5159 «О дополнительных мерах по развитию горно-металлургической промышленности и смежных отраслей», Постановления Президента Республики Узбекистан № ПК-4124 от 17 января 2019 г. «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности горнодобывающих и металлургических предприятий», № ПК-3682 от 27 апреля 2018 г. «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 исследований основным приоритетным направлениям развития науки и технологии в республике.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий в республике: II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение»

**Степень изученности проблемы.** Ученые всего мира провели множество исследований по улучшению свойств огнеупорных материалов, разработке новых составов и защите их от разрушения. Были изучены работы ведущих ученых мира, таких как: Г.Д. Гилкрист, С. Б. Лион, К.Ли, П. Шеллер, П.Хабибуллах, К.Брайант, Ч.Шахт, Ф.Х.Нортон, А. Аллаби, Г. Хуажи, К. Цзяньи, К. Гото, С. Ханагыри, К. Кохно, Т. Мацуи, Т. Икемото, Д.Амосс, Д. Цаконитис, С.Янссон, В.Браби, П.Йёнссон, Дж.Шиллито и другие. В рамках данных работ проводились исследования по улучшению свойств огнеупорных материалов, включая повышение их механической прочности, оптимизацию уровня пористости и улучшению эксплуатационных качеств.

Были изучены работы ряда ученых, в том числе Э. Заболоцкого, У. Марка, Д. Шмидтмайера, Г. Бухеля, А. Бюра, В. Резенде, Р. Столля, С. Юстуса, Р. Андраде, Э. Лонго, Ж. Бальдо, Э.Лейте, С. Паскоцимаса, Л. Соледаде, Дж. Гомеша, Дж. Варела, О. Власова, В. Словиковского, М. Шерстобитова, А. Ролдугина и других, по улучшению физико-химических свойств огнеупорных материалов, применяемых в цветной металлургии, по достижению их прочности и защите от разрушения. Узбекские ученые, в том числе А. Юсупходжаев, А. Хасанов, Х. Валиев и другие, также провели ряд научно-исследовательских работ по улучшению защиты от разрушения огнеупорных материалов, применяемых в медной металлургической промышленности.

---

<sup>1</sup> Постановление Президента Республики Узбекистан от 24 июня 2021 года №ПП 5159 «О дополнительных мерах по развитию горно-металлургической промышленности и смежных отраслей»



При изучении научно-исследовательских работ вышеназванных ученых было определено, что ими не была разработана эффективная технология защиты огнеупорных материалов, применяемые в цветной металлургии, от разрушения. В результате необходимо проведение исследований по созданию технологии защиты огнеупорных материалов, применяемых в цветной металлургии, от их разрушения путем нанесения на поверхность защитного слоя и воздействия на нее электрического тока.

**Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами производственного предприятия, на котором выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках плана НИР Ташкентского государственного технического университета по теме №02-4297 юр х/д 10/10 «Разработка эффективной технологии защиты огнеупорных материалов металлургических плавильных печей от разрушений» (2010-2012) и профессорско-преподавательским составом кафедры «Металлургия» во второй половине дня в рамках НИР на тему «Разработка ресурсосберегающих и энергосберегающих технологий переработки вторичных техногенных отходов и местных полезных ископаемых».

**Цель исследований:** разработка технологии снижения потерь меди и благородных металлов за счет защиты огнеупорных материалов, используемых в футеровке печей цветной металлургии.

**Задачи исследования:**

изучение физико-химических свойств огнеупорных материалов, используемых в металлургических печах;

изучение взаимодействия шлаковых и штейновых сплавов с огнеупорными материалами металлургических печей;

изучение кинетики диффузии в твердых телах и молекулярного, ионного строения, свойств материалов, расплавленных в металлургических печах ;

разработка методов предотвращения взаимодействия ионов расплавленных материалов с огнеупорной кладкой металлургических печей;

разработка рекомендаций по внедрению эффективной технологии защиты огнеупорных материалов металлургических печей медеплавильного завода.

**Объектом исследования** являются огнеупорные материалы, используемые в плавильных печах цветной металлургии, шлаки и штейны, образующиеся при выплавке меди.

**Предметом исследования** является разработка оптимальных условий защиты огнеупорных материалов металлургических плавильных печей от разрушения, тем самым продлевающих срок службы пирометаллургического агрегата.

**Методы исследования.** В процессе исследования были применены теоретические и экспериментальные способы исследования технологии покрытия магнетитового слоя на огнеупорные материалы, применяемые в металлургических печах цветной металлургии, и подвода к ним

электрического тока, для защиты их от разрушения, а также физико-механические, химические и физико-химические методы исследования (ИК-спектроскопия, электронная микроскопия, рентгеноструктурный и дифференциально-термический анализы) и методы определения степени пористости и электропроводности.

**Научная новизна исследования заключается в следующем:**

разработаны технологические параметры процесса взаимодействия металла и ионов металлов в шлаке и штейне с поверхностью огнеупорных кирпичей, используемых в плавильных печах;

определены оптимальные технологические параметры механических и электрохимических процессов, протекающих на поверхности непосредственно контактирующей части печи с раствором, при нанесении слоя на основе магнетита;

определены показатели взаимодействия ионов металлов в расплаве и соединений на основе кремния при прямом воздействии положительно заряженного электрического тока на поверхность огнеупорных материалов печей;

разработан механизм взаимодействия электрического тока на слой магнетита, нанесенный на поверхность огнеупорных кирпичей.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработана технология защиты от разрушения части огнеупорного кирпича плавильных печей цветной металлургии, непосредственно контактирующей с расплавом;

разработана технология нанесения магнетитового слоя на поверхность огнеупоров, в диапазоне 30-50 мм, применяемых в плавильных печах цветной металлургии с целью улучшения свойств защиты от разрушения;

разработан механизм взаимодействия электрического тока с магнетитовым слоем, нанесенный на поверхность огнеупорного кирпича.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность результатов исследования получена на основании точных поставленных задач по технологии защиты огнеупорных материалов от разрушения при изучении их физических, электрохимических и технологических свойств с использованием современных методов электронной микроскопии, рентгеноструктурного и дифференциально-термического анализа, которые также были доказаны путем сравнения экспериментальных результатов.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов исследования обусловлена тем, что при подаче положительно заряженного электрического тока на магнетитовый слой, применяемый для защиты огнеупорных материалов от разрушения, ионы металлов возвращаются в раствор, а соединения на основе кремния прилипают к поверхности покрытия улучшая ее прочность.

Практическая значимость результатов исследования объясняется тем, что при нанесении магнетитового слоя на поверхность огнеупорных

материалов, применяемых в плавильных печах цветной металлургии, улучшаются свойства от разрушения.

**Внедрение результатов исследования.** На основании полученных результатов технологии защиты огнеупорных кирпичей плавильных печей цветной металлургии от разрушения при воздействия агрессивной среды:

внедрена технология нанесения защитного магнетитового слоя (гарнисажа) на часть огнеупорного кирпича медеплавильных печей на АО «АГМК», подвергающуюся воздействию раствора (справка АО «АММК» от 15 июля 2021 г. № ХА-006061). В результате скорость поглощения шлака огнеупорным кирпичом при температуре 1200-1250<sup>0</sup>С снизилась до 48%, а скорость поглощения штейна кирпичом до 69%.

внедрена технология подачи положительного электрического заряда на магнетитовый слой, нанесенного на поверхность огнеупорного кирпича (справка АО «АГМК» от 15 июля 2021 г. № ХА-006061) на АО «АГМК». Внедрение результатов послужило увеличению прочности слоя гарнисажа, где при температуре 1200-1250<sup>0</sup>С катионы драгоценных металлов в растворе отталкиваясь от гарнисажа, притягивались к отрицательно заряженным кремний-кислородным комплексам. Степень впитывания расплава на поверхности огнеупорного кирпича составила 1,3 мм по шлаку и 1,9 мм по штейну. Это привело к увеличению срока службы огнеупорного кирпича на 73%.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования диссертации обсуждались на 9 международных и 4 республиканских научных-практических конференциях и симпозиумах.

**Публикация результатов исследования.** Всего по теме диссертации опубликовано 20 научных работ. Основные научные результаты опубликованы в 7 научных изданиях, в том числе 2 в республиканских и 5 в зарубежных журналах, рекомендованных к опубликованию основных научных результатов докторских диссертаций ВАК Республики Узбекистан.

**Структура и объем диссертации.** Структура диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 110 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Во введении обосновывается актуальности и востребованность проведенного исследования, его цели и задачи, объекты и предметы, соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии республики, излагается научная новизна и практическая значимость результатов исследования, даются сведения о внедрении в практику результатов исследования, по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации под названием «**Современное состояние и перспективы защиты огнеупоров печей цветной металлургии от истирания**» анализируется современное состояние защиты огнеупорных

материалов плавильных печей, применяемых в цветной металлургии, от разрушения при воздействия окружающей среды.

Рассмотрены научные исследования зарубежных и отечественных ученых по предотвращению разрушения огнеупорных материалов, используемых в металлургических плавильных печах при непосредственном влиянии расплавов на огнеупорные материалы и факторы, вызывающие их разрушение.

Способы, представленные в данной диссертации, устанавливают, что технология нанесения магнетитового слоя на поверхность огнеупорных материалов печей цветной металлургии для предотвращения их от разрушения, а также технология подачи положительного электрического заряда не была достаточно изучена.

Во второй главе диссертации **«Методы выбора объекта исследования и изучения основных свойств огнеупорных материалов»** при выборе объектов исследования представлены данные о применении современных способов и оборудования (ИК-спектор, электронный микроскоп, гидростатический и рентгено-флуоресцентный метод) для определения основных физико-механических, химических и физических свойств используемых материалов.

Объектом исследования были выбраны огнеупорные материалы, используемые в плавильных печах цветной металлургии, а также шлаки и штейны, образующиеся в процессе выплавки меди.

В качестве метода исследования при изучении огнеупорности, пористости, теплостойкости была выбрана технология по предотвращению от разрушения огнеупорных материалов.

В третьей главе диссертации **«Исследование влияния сплавов на огнеупоры, применяемые в плавильных печах цветной металлургии»** приводятся данные об изучении основных свойствах огнеупорных материалов, определении пористости, определении свойств жаростойкости, изучение капиллярных явлений шлако-штейновых расплавов на поверхности огнеупорных материалов, а также приведены сведения об анализе факторов причин, вызывающих разрушение огнеупорных материалов.

Огнеупорные материалы часто представляют собой капиллярно-пористые тела. Существует заблуждение, что чем больше пористость, тем больше поглощается раствор. Однако количество абсорбированного раствора зависит не только от размера открытых отверстий, но и от их размера и строения. Когда отверстия представляют собой цилиндрические каналы, температура стенок огнеупорных отверстий одинакова и постоянна, а по длине каналов отверстия не изменяют своих первоначальных размеров и форм. Расплавы не взаимодействуют с огнеупорными материалами, их свойства не изменяются и не зависят от пористого объема, а движение расплава носит ламинарный характер. Поверхностное поглощение огнеупорных материалов характеризуется параболическим уравнением:

$$l^2 = K\tau, \quad (1)$$

где  $l$  - глубина поглощения;  $K$  – константа поглощения,  $\tau$ - время.

Уравнение (1) применимо к порам определенного размера: в больших отверстиях помимо капиллярных сил действуют гравитационные силы, а в тонких отверстиях свойства растворов могут изменяться. Кроме того, поглощение в начальный и конечный периоды подчинены другим закономерностям, в начальный период оно значительно выше. Константа поглощения для капиллярно-пористых тел с неправильной пористостью рассчитывается по формуле.

$$K = \gamma_2 r \cos \theta / 2,8b^2 \eta l, \quad (2)$$

где  $\gamma_2$  — поверхностное натяжение раствора;  $b$ -коэффициент натяжения (для крупнозернистых каркасных периклазовых масс, при 1450°C открытая пористость 34-38 %,  $b=1,6$ , в остальных случаях  $b = \pi / 2$ );  $r$  - радиус проводящих отверстий. Скорость плавления описывается дифференциальной формулой параболического уравнения (11):

$$v = dl/dt = \gamma_2 r \cos \theta / 5,6b^2 \eta l. \quad (3)$$

Из формулы (3) видно, что чем больше размер отверстия, тем больше скорость поглощения.

На практике скорость поглощения значительно ниже теоретической, что объясняется увеличением вязкости в результате взаимодействия шлака со стенками отверстия. На скорость поглощения раствора поверхностью огнеупорных материалов сильно влияет перепад температур. При понижении температуры, особенно вблизи линии жидкости, резко возрастает вязкость растворов и значительно уменьшается их скорость.

С учетом массы раствора уравнение скорости поглощения принимает следующий вид:

$$dl/d\tau = \frac{\gamma_2 r \cos \theta}{5,6b^2 \eta l} - r^2 g \rho / 8b^2 \eta \quad (4)$$

Сила натяжения раствора снижает скорость поглощения. Если второй член уравнения (11) меньше первого (например, <10%), то действием этой силы можно пренебречь, если радиус этого отверстия назвать критическим.

$$0,7r_{кр} n \rho l / (\gamma_2 \cos \theta) \leq 0,1, \quad \text{откуда} \quad r_{кр} = 0,143 \gamma_2 \cos \theta / (g \rho l) \quad (5)$$

$l = 1$  см для оксидно-силикатных растворов, тогда  $\gamma = 300 \div 600$  мДж/м<sup>2</sup>,  $\rho = 2,2 \div 4,9$  г/см<sup>3</sup>,  $\theta = 0^\circ$ ,  $r_{кр} \approx 0,1$  мм.

При изучении механизма взаимодействия растворов с огнеупорными материалами скорость стационарного процесса плавления определяется разницей между концентрацией твердого вещества в жидкости при насыщении и толщиной слоя, при котором происходит молекулярная диффузия.

$$v = \left(\frac{D}{x}\right) (C_n - C_v), \quad (6)$$

где  $D$  — коэффициент диффузии.

Значения  $D$  зависят от вязкости. С уменьшением вязкости  $D$  также уменьшается. Поэтому наибольшее влияние на плавление оказывает вязкость. Следует отметить, что по экспериментальным данным при вязкости раствора менее 3,5 Па·с происходит его взаимодействие с огнеупорным материалом (при помощи этой величины определяется температура взаимодействия шлака и огнеупорных материалов). В общем случае толщина слоя зависит от природы раствора и условий его смешивания. Для положения диска (образца), вращающегося в растворе, создавались условия, для возможности равного проникновения к его полной поверхности в условиях диффузии. В этом случае в процессе химической гидродинамики получается следующее уравнение:

$$x = 1.61(D/v)^{-1/3} \sqrt{\omega}, \quad (7)$$

$v$  - кинематическая вязкость;

$\omega$  - угловая скорость вращения образца.

Уравнения (13) и (14) выдают уравнение Левича

$$v = 0.62 D^{2/3} v^{-1/3} (C_n - C_v) \sqrt{\omega} \quad (8)$$

Или для диффузионного режима распространения

$$v \approx K \omega^{0.5}, \quad (9)$$

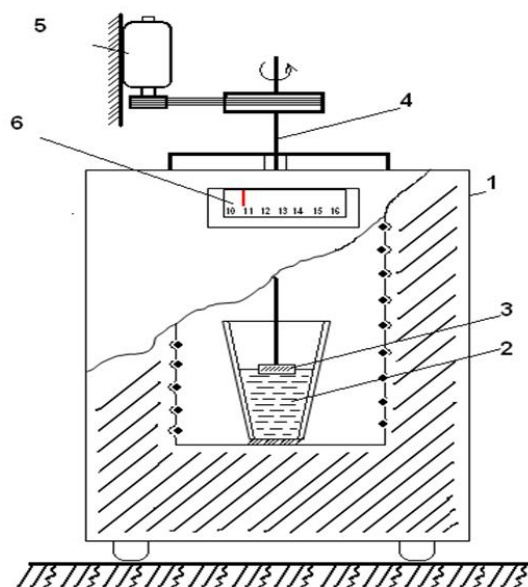
При плавлении цилиндрических образцов условия движения раствора несколько отличались от предыдущего случая и сформировалось кинетическое уравнение (по Кинтеру).

$$v = 0.79 \left(\frac{D}{d}\right) Re^{0.7} \left(\frac{v}{D}\right)^{0.64} (C_n - C_v), \quad (10)$$

$Re$  – критерий Рейнольдса для диаметра образца. В этом случае скорость плавления зависит от силы  $\omega$  - 0,7, т.е.

$$v = K/\omega^{0.7} \quad (11)$$

По результатам обработки уравнений (10) или (11) определилась растворимость огнеупорного материала. Для определения температуры плавления тугоплавких материалов использовали следующее лабораторное оборудование.



**Рисунок 1. Установка для исследования скорости диффузии жидких продуктов плавки в огнеупорные материалы и растворение огнеупорных материалов в металлургических расплавах: 1- шахтная электропечь СШОЛ; 2- алундовый тигель с расплавом; 3-вращающийся диск с пробой; 4- вал для вращения диска; 5- электродвигатель; 6-автоматический регулятор температуры в печи.**

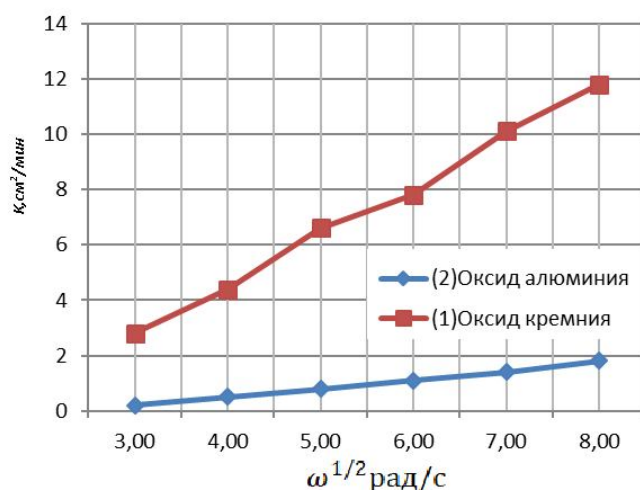
Данные, полученные описанным методом приведены в таблице 1. В соответствии с диффузионным характером процесса скорость растворения коррелирует с вязкостью расплава. Температурная зависимость скорости растворения показана на рисунке 2.

Таблица 1.

**Скорость растворения огнеупорных материалов в оксидных расплавах мг/(см<sup>2</sup>·с)**

Расплав	кварц	корунд	Плавленый оксид магния	Хромо-магнезиальная шпинель
Оксид железа (Fe <sup>2+</sup> )	40,0	8,5	9,4	4,4
Фаялит	3,8	0,66	1,3	0,32
Тефроит	2,0	0,33	0,7	0,13
Железо-марганцево-силикатный 50%2FeO·SiO <sub>2</sub> +50%2MnO·SiO <sub>2</sub>	4,3	0,95	2,5	-
Образцы испытаны при 1400°С и частоте вращения 120 мин <sup>-1</sup>				

Кажущаяся энергия активации для Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO и хромомагнезиальной шпинели примерно одинакова и составляет 180,6 кДж /моль, для SiO<sub>2</sub> 64,3 кДж/моль. Коэффициенты диффузии D приблизительно по уравнению при 1400°С составляют 2,9·10<sup>-6</sup> -3,2·10<sup>-5</sup>см<sup>2</sup>/с и возрастают при переходе от Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2,9·10<sup>-6</sup>) к MgO (9,3·10<sup>-6</sup> см<sup>2</sup>/с) и далее к SiO<sub>2</sub> (3,2·10<sup>-5</sup>см<sup>2</sup>/с).



**Рисунок 2. Влияние частоты вращения образцов из  $\text{SiO}_2$  (1) и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (2) на скорость растворения оксидов в фаялите при  $1300^\circ\text{C}$**

Таким образом, установлена величина скорости растворения и характер процесса при различных температурах в зависимости от гидродинамического режима.

В четвертой главе диссертации «Исследование технологии производства продуктов разложения материалов при разработке дополнительных технологий в плавильных печах цветной металлургии» представлены факторы влияющие на скорость впитывания шлака поверхностью огнеупоров, технология электростатического способа защиты огнеупоров от разрушения, а также оптимальные показатели процесса.

Одной из главных причин разрушения огнеупоров, находящихся в контакте со шлаковым расплавом, является капиллярное проникновение шлака, поэтому изучение кинетических закономерностей пропитки огнеупоров шлаками представляет большой интерес. Известные кинетические уравнения пропитки пористых тел расплавами зависят от выбора модели пористого тела. Для материалов, полученных из монодисперсных порошков, наиболее подходящей моделью является совокупность одинаковых неточных капилляров с радиусом  $r_2$  в наиболее узкой части, определяемым по давлению проникновения в пористое тело не смачивающей жидкости. Для такой модели при отсутствии влияния поля тяжести глубина  $l$  проникновения шлака в образец за время  $t$  определится из уравнения.

$$l^2 = \frac{\sigma \cos \theta r_2}{2,8 b^2 \eta} t = K t, \quad (12)$$

где  $\sigma$  и  $\eta$  — поверхностное натяжение и вязкость шлака соответственно;  
 $\theta$  — угол смачивания расплавом пропитываемого материала;  
 $b$  — коэффициент извилистости пор, близкий к  $\pi/2$ .

Коэффициент пропорциональности  $K$  часто называют константой скорости пропитки. Согласно уравнению (12) константа  $K$  должна быть пропорциональной эффективному радиусу пор  $r_2$  пропитываемых образцов, если в ходе пропитки значения  $\sigma$ ,  $\eta$  и  $\cos \theta$  сохраняются постоянными, что и



было обнаружено при изучении пропитки шлаком системы FeO – SiO<sub>2</sub> образцов из порошка магнезии с добавкой 9% глины.

Позднее в исследовании пропитки магнезиальных образцов шлаком системы FeO – SiO<sub>2</sub> – MnO было зафиксировано лишь трехкратное увеличение константы K при увеличении радиуса пор в 13 раз. Отмеченное отклонение константы K от пропорциональности размеру пор в образцах объяснено протеканием пропитки в режиме медленного смачивания расплавом стенок пор.

Часто при определении газопроницаемости огнеупоров стандартным методом находят средний радиус пор r. Представляется интересным выявить влияние значения r на константу скорости пропитки K огнеупора шлаком. В образцах из монодисперсных порошков средний радиус пор r примерно в 1,4 раза превышает минимальный радиус четочного капилляра r<sub>2</sub>, поэтому уравнение (34) примет вид

$$K = \frac{\sigma \cos \theta r}{2.8 \frac{\pi^2}{4} 1.4 r_1} = \frac{\sigma \cos \theta r}{9.65 \eta} \quad (13)$$

из которого следует, что константа скорости пропитки должна быть пропорциональной среднему радиусу пор в образцах.

В работе использовали шлак, содержащий 30,5% SiO<sub>2</sub>; 24% CaO; 5,3% MgO; 12% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,5% FeO; 0,5% MnO, а также 0,4% S. Выбор шлака диктовался в основном низкой температурой плавления (~1100°C). При 1300°C вязкость шлака, измеренная вискозиметром, составляла 3,2 пауз, а поверхностное натяжение, определенное методом максимального давления в газовом пузырьке, равнялось 350 ± 20 мДж/м<sup>2</sup>.

Таблица 2

**Характеристика структуры образцов из магнезита и константа скорости проникновения шлака при 1300°C**

Норма образца	Зерновой состав, %, фракции, мм					Открытая пористость, %	Средний радиус пор r, мкм	Константа пропитки, см <sup>2</sup> /мин		Красч Коп
	2 – 0,5	1 – 0,5	0,5 – 0,088	0,088 – 0,06	<0,06			опытная	расчетная по формуле	
1	-	-	-	-	100	4,0	-	0,00	-	-
2	-	-	-	-	100	17,9	2	0,02	0,19	9,5
3	-	-	-	100	-	32,5	10	0,20	0,97	4,8
4	50	-	10	-	40	16,9	15	0,40	1,48	3,7
5	-	-	100	-	-	28,8	20	0,68	1,95	2,9
6	-	100	-	-	-	25,6	44	0,70	4,2	6,0

\*Размер частиц 10 мкм

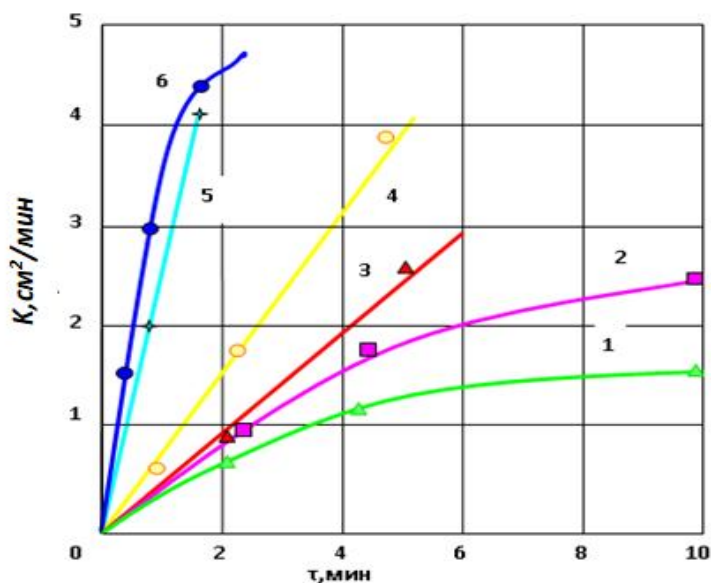
\*\* Размер частиц 30-40 мкм

**Характеристика структуры образцов и константа скорости пропитки шлаком при 1300°C**

Норма образца	Открытая пористость, %	Радиус пор, мкм			Константа пропитки, см <sup>2</sup> /мин		$\frac{K_{расч}}{K_{оп}}$
		максимальный	средний	минимальный	опытная	Расчетная по формуле	
1	40	20	12	10	0,30	1,16	3,9
2	49	28	20	17	0,50	1,5	3,9
3	24	32	18	13	0,45	1,75	3,9
4	32	39	28	22	0,70	2,70	3,8
5	42	54	39	33	2,0	3,3	1,65
6	34	70	44	39	2,2	3,8	1,7
7	39	60	46	40	2,0	4,5	2,2
8	32	75	50	41	2,8	4,8	1,7

Результаты экспериментальных исследований показывают, что проникновение шлака в магнезиальные образцы удовлетворительно описывалось уравнением квадратичной параболы,  $l^2 = Kt$  (рис. 3), причем константа скорости пропитки  $K$  возрастала с увеличением радиуса пор  $r$  до 20 мкм, после чего величина  $K$  оказалась практически не измененной. Интенсивность пропитки образцов в ряде случаев заметно отклонялась от закона квадратичной параболы (рис. 4), что особенно четко проявлялось в опытах с образцами, имеющими малый радиус пор. Константа скорости пропитки, определенная по наклону начального участка кинетической кривой в координатах  $l^2$ - $t$ , также возрастала с увеличением его радиуса пор (рис. 4). Из этого следует, что в экспериментальных исследованиях не получено ожидаемой пропорциональности константы скорости пропитки среднему радиусу пор. Кривая  $K = \varphi(r)$  выпукла в сторону оси абсцисс, т.е. при малых радиусах пор отклонения опытных значений  $K$ , от рассчитанных по уравнению при  $\cos\theta = 1$ , превышают отклонения значения  $K$  при больших размерах пор (таблице 2 и 3). Исключение составляют лишь результаты опытов с образцами из MgO с радиусом пор 44 мкм. Расхождения опытных и расчетных значений констант приблизительно в 2 раза еще можно признать удовлетворительными и отнести за счет погрешности определения величин  $\sigma, \eta, r$ , и  $K_{оп}$  большие расхождения, обнаруженные при малых размерах пор, по-видимому, связаны с изменением физических свойств контактирующих фаз в ходе пропитки. Заниженные значения скорости пропитки образцов с малым размером пор нельзя объяснить ухудшением смачивания поверхности зерен в образцах шлаком, так как при меньших скоростях натекания шлака краевые углы должны быть ближе к равновесным значениям, т. е. в мелкозернистых образцах  $\cos\theta$  ближе к единице, чем в

крупнозернистых. Обнаруженное замедление скорости проникновения шлака в образцы с малым размером пор, вероятно, вызвано растворением зерен образцов в струйках проникающего шлака и увеличением вязкости расплава.



**Рисунок 4. Кинетические кривые пропитки образцов шлаком при температуре 1300° С, радиус пор r: 1- 12 мкм; 2- 18 мкм; 3 - 20 мкм; 4 - 28 мкм; 5 - 4 мкм; 6 - 50 мкм**

При малом размере пор влияние массообмена на скорость пропитки должно быть большим, в связи с чем в опытах с динасовыми образцами ( $r < 20$  мкм) было обнаружено отклонение пропитки от закона квадратичной параболы (рис.4).

Таким образом, массообмен между контактирующими фазами при пропитке осложняет течение процесса и может привести к заметным отклонениям опытных значений скорости пропитки от рассчитанных по известным кинетическим уравнениям.

Установлено, что жидкие продукты металлургической плавки находятся в состоянии ионной диссоциации и их можно в определенной степени сравнивать с электролитами. Поэтому важнейшие электрохимические явления, характерные водным растворам, свойственны и шлаковым расплавам. Согласно этой гипотезе можно предположить, что проникновение жидких продуктов плавки в поры огнеупоров при их электроэкранировании значительно уменьшится, или вовсе прекратится.

Лабораторные исследования проводили на модельной установке, которая состоит из электролизной ванны, электродов, стальной сетки и источников питания, схема соединения показана на рис. 6. Для экспериментального исследования приготовлены образцы из огнеупорных изделий (кирпичи кладки металлургических плавильных печей), которые используются на футеровках отражательной печи, печи кислородно-факельной плавки и горизонтального конвертера. Лабораторная электролизная ванна объемом 1 литр изготовлена из оргстекла. Электроды: анод-графитовый (в виде стержня или листа), катодом служили графитовые

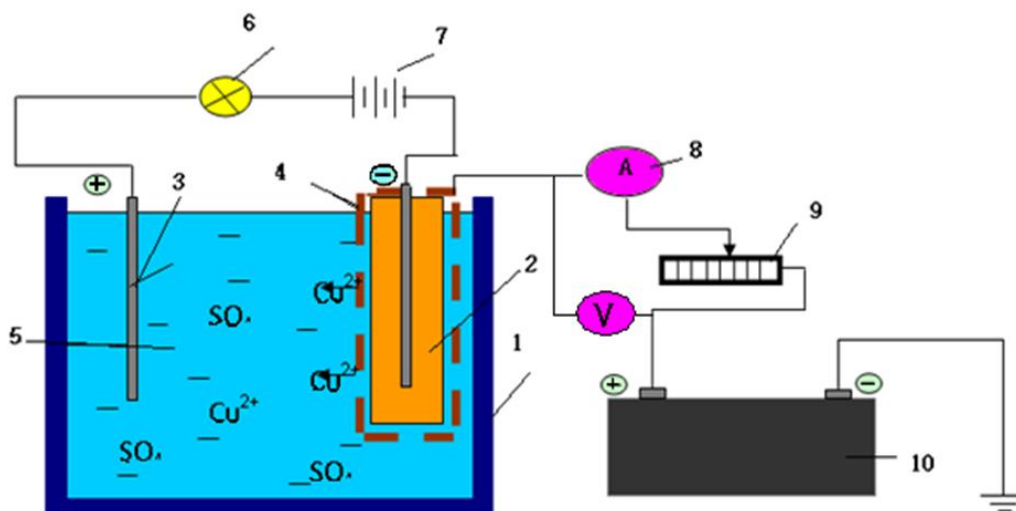
электроды, введённые в образцы огнеупорного кирпича размером; длина 8 см, ширина 6 см и толщина 4 см. В середине огнеупора просверлена ниша до определенной глубины, диаметр ниши – 10 мм, куда установили графитовый электрод. Корзина, где ставится огнеупор, изготовлена из стальной сетки и подключается к внешнему источнику тока. Система оборудована контрольно-измерительными приборами (вольтметр, амперметр), регулятором тока и индикаторной лампочкой.

Учитывая, что в водных растворах, как и в металлургических расплавах в огнеупоры проникают ионы меди, на первом этапе мы проводили исследование с водными растворами.

Эксперименты шли следующим образом: заранее приготовленный электролит (р-р  $\text{CuSO}_4$ ) с содержанием меди 150 г/л заливается в электролизную ванну и включается источник тока электролизера. При этом загорается индикаторная лампа, т.е. показывается начало процесса электролиза. Таким образом, положительные ионы меди  $\text{Cu}^{2+}$  свободно без никаких сопротивлений движутся к катоду через поры огнеупора. Если подавать положительный заряд к стальной корзинке из внешнего источника, то индикаторная лампа гаснет, т.е. процесс электролиза останавливается.

Согласно законам физики, положительные заряды от сетки отталкиваются, и ионы меди ( $\text{Cu}^{2+}$ ) не могут проникнуть в поры огнеупора, где расположен катод.

Исследования показали, что изменение концентрации меди в электролите, а также присутствие в нем других ионов ( $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ), практически не вносит существенных изменений в электролизный процесс, т.е. катионы не проникают в образцы, что свидетельствует об эффективности предложенной методики защиты огнеупорных материалов от разрушения.



**Рисунок 6. Схема лабораторной установки электростатической защиты огнеупорных материалов металлургических плавильных печей от разрушения: 1- электролитная ванна; 2- огнеупорный кирпич; 3- графитовый электрод; 4- защитный экран сетка из нержавеющей стали; 5- водный раствор  $\text{CuSO}_4$ ; 6- индикаторная лампочка; 7- источник постоянного тока ВК-5; 8- амперметр; 9- реостат постоянного тока; 10- аккумулятор тока.**

На втором этапе проводили экспериментальные исследования с реальными жидкими продуктами плавки медного производства. Опыты проводили по вышеописанной методике. В отличие от предыдущих опытов к пробам огнеупоров (без гарнисажа и с гарнисажем) нанесли медную сетку и подали на него положительный заряд от внешнего источника тока. Пробу опускали в жидкий продукт плавки (черновую медь, белый матт, конверторный шлак, штейн КФП и шлак КФП) медного производства, которые находились в алундовом тигле и заранее были проплавлены в лабораторной шахтной печи марки СШОЛ-1.16/12 при температуре 1200-1250 °С. Продолжительность опытов составила до 3 часов. При этом изучали глубину и скорость пропитки жидких продуктов в поры испытываемых проб огнеупора.

Как видно из полученных результатов, предлагаемая электрозащита даёт положительный результат в отношении диффузии ионов меди к порам огнеупоров. Например, из расплава черновой меди положительные ионы меди проникают в огнеупоры без электрозащиты практически полностью, а с электрозащитой эта глубина составляет всего 4,5 мм. Также в шлаках КФП без электрозащиты огнеупоров проникновение ионов меди в поры составляет 12 мм, а с электрозащитой - эта глубина составляет 3,6 мм.

Кроме электростатического отталкивания катионов от огнеупорного образца, положительный заряд выполняет ещё одну защитную функцию. Всё дело в том, что к положительному заряду медной сетки притягиваются имеющиеся в расплаве отрицательно заряжённые сложные кремнекислородные комплексы. Плотнo прилегаясь к образцу, эти комплексы существенно затрудняют дальнейшее проникновение компонентов расплава в огнеупор и как следствие, защитный экран не даёт возможности глубокому проникновению положительных ионов меди и других металлов в поры огнеупора.

Таким образом, применение такого способа защиты значительно предотвращает эрозию огнеупора. При этом обеспечивается увеличение срока службы огнеупорных материалов. Учитывая, что огнеупорные материалы при температуре выше 1200 °С становятся электропроводимыми, это даёт возможность непосредственной подачи положительного заряда прямо к гарнисажу или к футеровке плавильной печи. Это существенно упрощает применение технологии на практике.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Установлено, что в плавильных печах цветной металлургии износостойкость огнеупорных материалов определяется такими их свойствами, как газопроницаемость, пористость, механическая прочность, электропроводность, теплостойкость. Это даёт возможность выбора химических соединений, необходимых при получении огнеупорных материалов.

2. Установлено, что взаимодействие шлака и штейнового расплава, образующихся при плавильном процессе, с огнеупорными материалами основано на законах превращения жидкого материала в твердое состояние. Это дает возможность оценить скорость и глубину проникновения расплава в огнеупорные материалы в зависимости от его пористости.

3. Определено что при температуре выше 1200°C в огнеупорных материалах увеличивается свойства электропроводности. По этой причине становится важным нанесение в качестве защиты на поверхность кирпича покрытие из магнетита  $Fe_3O_4$  с высокой электропроводностью.

4. Определено поведение ионов меди  $Cu^{2+}$  и силикат-ионов  $SiO_4^{4-}$ ,  $(SiO_3)^{2-n}$  в расплавленной шлако-штейновой фазе в зависимости от подачи электрического заряда (положительного и отрицательного) на поверхность огнеупорных материалов. Это позволяет определить тип заряда необходимый для подачи на поверхность огнеупорных материалов.

5. Разработана технология нанесения защитного магнетитового слоя (гарнисаж) на часть огнеупорной кладки медеплавильных печей, подвергающихся воздействию раствора. Это позволило снизить скорость впитывания шлака огнеупорным кирпичем при температуре 1200-1250 °C до 48%, а также скорость впитывания штейна огнеупором до 69%.

6. Разработана технология подачи положительного электрического заряда на слой магнетита, нанесенного на поверхность огнеупорного кирпича. В результате при температуре 1200-1250 °C катионы драгоценных металлов в расплаве отталкиваясь от гарнисажа притягиваются к отрицательно заряженным кремний-кислородным комплексам, что послужило увеличению прочности гарнисажа. Степень впитывания шлака поверхностью огнеупорного кирпича составила 1,3 мм, штейна 1,9 мм. Это послужило увеличению срока службы огнеупорного кирпича на 73%.

7. Разработана принципиальная технологическая схема защиты от разрушения огнеупорных материалов, применяемых в плавильных печах цветной металлургии. В свою очередь это позволило создать условия для увеличения срока службы огнеупорных материалов.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING SCIENTIFIC DEGREES OF  
DSc.03/30.12.2019.T.03.04 UNDER TASHKENT STATE TECHNICAL  
UNIVERSITY**

---

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

**NOSIRKHUJAEV SARDOR KODIRJON UGLI**

**DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR PROTECTION OF  
REFRACTORY MASONRY OF SMELTING FURNANCES OF NON-  
FERROUS METALLURGY AGAINST DESTRUCTION WHEN EXPOSED  
TO AGGRESSIVE MEDIUM**

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

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

**TASHKENT – 2022**

**The theme of dissertation doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2020.4.PhD/T1954**

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

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

**Scientific supervisor:**        **Matkarimov Sokhibjon Turdalievich**  
Doctor of philosophy (PhD) technical science, dosent

**Official opponents:**        **Norkhujaev Fayzulla Ramazanovich**  
Doctor of technical sciences, professor  
**Vokhidov Bakhriddin Rakhmidinovich**  
Doctor of philosophy (PhD) technical science, dosent

**Leading organization:**        **Tashkent chemical-technological institute**

The defense of the dissertation will be held «\_\_11<sup>00</sup>\_\_» on «\_\_09\_\_» \_\_April\_\_ in 2022 at the meeting of the Scientific Council DSc.03.30.12.2019.T.03.04 at the Tashkent State Technical University (Address: 100095, Tashkent, University street, 2, tel/fax.: (99871) 227-10-32, E-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz).

The dissertation has been registered at the Information Resource Center (IRC) of the Tashkent State Technical University under №\_249\_\_ (Address: 100095, Tashkent, University street, 2, tel/fax.: (99871) 227-10-32, E-mail: (tadqiqotchi@tdtu.uz).

The abstract of the dissertation is distributed on «\_\_26\_\_» on «\_\_March\_\_» in 2022  
Protocol at the register № \_\_138\_\_ dated «\_\_26\_\_» on «\_\_March\_\_» \_\_ in 2022.

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

**Sh.B.Tashbulatov**  
Scientific secretary of the scientific council  
awarding scientific degrees,  
doctor of philosophy (PhD)  
technical science, dosent

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



## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The aim of the research work** development of technology to reduce waste of copper and rare metals by protecting refractory materials used in the lining of non-ferrous metallurgical furnaces.

**The object of the research** refractory materials used in non-ferrous metallurgical smelting furnaces, slag and mattes formed during copper smelting.

**The scientific novelty of a research** consists in the following:

technological parameters of the process of interaction of metal and metal ions in slag and matte on the surface of refractory bricks used in smelting furnaces have been developed;

optimal technological parameters of mechanical and electrochemical processes occurring on the surface of the smelting furnace by applying a magnetite-based layer to the part of the smelting furnace directly exposed to the solution were determined;

the interaction of metal and silicon-based compounds in the ionic state in solution by direct exposure of a positively charged electric current to the surface of refractory materials of smelting furnaces was determined;

an electrostatic method of protecting refractory materials from abrasion has been developed.

**Implementation of the research results.** Based on scientific results obtained on the technology of protection of refractory bricks of non-ferrous metallurgical smelting furnaces under the influence of corrosive environment from abrasion:

The technology of applying a magnetite-based protective layer (garnish) to the part of the refractory bricks of copper smelting furnaces exposed to the solution was introduced in JSC "OKMK" (reference of JSC "AMMC" dated July 15, 2021 № XA-006061). As a result, the absorption rate of slag on refractory bricks at a temperature of 1200-1250<sup>0</sup>C was reduced to 48% and the absorption rate of matte to bricks to 69%.

The technology of positive electric charge of the magnetite layer applied to the surface of refractory bricks was introduced in JSC "AMMC" (reference of JSC "AMMC" dated July 15, 2021 № XA-006061). As a result of introduction, at a temperature of 1200-1250<sup>0</sup>C, the precious metal cations in the solution were pushed out of the garnish, and negatively charged silicon-oxygen complexes were pulled, which served to increase the garnish strength. The rate of absorption of the solution on the surface of refractory bricks was 1.3 mm of slag and 1.9 mm of matte. This increased the service life of refractory bricks by 73%.

**The structure and volume of the thesis.** The structure of the dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, the list of references, applications. The volume of the dissertation is 110 pages.

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

**I бўлим (I часть; part I)**

1. Yusupkhodjayev A.A., Nosirkhodjayev S.Q., Matkarimov S.T., Karimdjonov B.R. Physical and Chemical Transformations of Components of Fusion Mixture at Their Heating in Metallurgical Furnaces International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, India, Vol. 6, Issue 1, January 2019, P. 7880-7884. (05.00.00. №8)

2. Matkarimov S.T., Nosirkhujaev S.K., Ochildiev K.T., Nuraliev O.U., Karimjonov B.R. Technological processes of receiving metals in the condition of moderate temperatures// International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 2019. Vol.8, Issue-12, (October) – pp. 1826-1828 (№3, Scopus)

3. Matkarimov S.T., Yusupkhodjaev A.A., Berdiyarov B.T., Nosirkhujaev S.K., Matkarimov Z.T. Technology of deep processing of copper slags by method of active thermal gravity// International Journal of Science and Technology, 2020. Vol. 29, №03, - pp. 5633-5639 (№3, Scopus)

4. Matkarimov S.T., Berdiyarov B.T., Nosirkhujaev S.K., Ochildiyev K.T., Marjorie B.L. Processing of slags of copper manufacturing with the use of ideal mixing equipment// Tashkent. Technical science and innovation, 2020. - № 3. – pp. 227-233 (05.00.00. №16)

5. Носирхужаев С.К., Маткаримов С.Т., Бердияров Б.Т. Защита огнеупорных материалов металлургических плавильных печей от разрушения // Узбекский научно-технический и производственный журнал. Композиционные материалы. Ташкент №4/2020. С.162-164. (05.00.00. №13)

6. Matkarimov S.T., Nosirkujayev S.K., Saynazarov A.M., Berdiyarov B.T., Matkarimov Z.T. Methods of Protection Against Destruction of Refractory Materials Used for lining of Autogenous Smelting Furnace //Proceedings of International Conference on Inventive Material Science Applications pp121-129 (№11, Springer)

**II бўлим (II часть; part II)**

7. Маткаримов Сохибжон Турдалиевич, Носирхужаев Сардор Кодиржон угли, Нуралиев Ойбек Улугбек угли, Наркулова Эътибор Тухтабой кизи, Сафаров Аскар Хайрулла угли. Технология переработки медных шлаков сульфидированием её окисленных соединений // WORLDSCIENCE: PROBLEMSANDINNOVATIONS: сборник статей XI Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2018 г. С. 92-95.

8. Маткаримов С.Т., Худояров С.Р., Ахмаджанов А.З., Носирхужаев С.К. Исследование свойств сталеплавильных шлаков АО «Узметкомбинат»,

влияющих на показатели гравитационного обогащения // Сборник статей II Международной научно-практической конференции на тему: «ADVANCED SCIENCE», В 2 ч. Ч. 1. – Пенза, 2018 г. – С. 56-60.

9. Ахмаджанов Азизжон Зиёджанович, Носирхужаев Сардор Кодиржон угли Исследование свойств сталеплавильных шлаков АО «Узметкомбинат» // EUROPEANSCIENTIFICCONFERENCE: сборник статей X Международной научно-практической конференции. В 1ч. Ч.1 – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2018 г. С 129-131.

10. Юсупходжаев Анвар Абдуллаевич, Маткаримов Сохибжон Турдалиевич, Носирхужаев Сардор Кодиржон угли, Юлдашева Насиба Саидахматовна.СОВРЕМЕННАЯ ТЕОРИЯ СТРОЕНИЯ ЖИДКИХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ И РАЗРАБОТКА НА ЕЁ ОСНОВЕ СПОСОБА ЗАЩИТЫ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ РАЗРУШЕНИЯ // WORLDSCIENCE: PROBLEMSANDINNOVATIONS: сборник статей XXXVII Международной научно-практической конференции Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2019 г. С. 67-69.

11. А.А. Юсупходжаев, С.Т. Маткаримов, С.К. Носирхужаев, Ш.И.Ортиков. технология защиты огнеупорных материалов металлургических плавильных печейот разрушения // Международная Узбекско-Белорусская научно-техническая конференция. Гуп “Фан ва тараккиёт” Ташкент 2020, с 256-258.

12. Сардор Кодиржон угли Носирхужаев, Сохибжон Турдалиевич Маткаримов, Явкочива Дилфуза Одировна, Шахзод Ихтиёр угли Ортиков, Исследование Электростатическое Способа Защиты Огнеупорных Материалов от Разрушения // EUROPEANRESEARCH. Принял (-а) участие в XXVII Международной научно-практической конференции. 7 июня 2020г., г. Пенза,РФ. С.33-36.

13. Очилдиев К.Т., Носирхужаев С.К., Исмаилов Ж.Б., Современное состояние переработки сульфидных медных концентратов в плавильных печах // "Республикада геология ўқитишининг долзарб муаммолари ва Ер фанлари истикболлари" Тошкент ш. 2020 йил 3-4 апрел (29-30 май) С 329-332

14. Н.А. Қодиров, Қ.Т.Очилдиев, С.Қ.Носирхўжаев, О.У.Нуралиев, Б.Р.Каримжонов. Металлургия саноати чиқиндиларини йўқотишнинг самарали усуллари. // “Инновацион техника ва технологияларнинг атроф мухит муҳофазаси соҳасидаги муаммо ва истикболлари”мавзусидаги халқаро илмий-техник анжуман. С 269-271.

15. Бердияров Б.Т., Носирхужаев С.К Очилдиев К.Т., Исмаилов Ж.Б. актуальность технология получения сульфата железа (ii), цветных и благородных металлов из шлаков медного произаодства // Замонавий кимёнинг долзарб муаммолари мавзусидаги. Республика микёсидаги хорижий олимлар иштирокидаги онлайн илмий-амалий анжумани. Бухоро,2020 4-5 декабрь 34-36 бет.

16. S.K.Nosirxujayev, S.T. Matkarimov, Q.T. Ochildiyev, J.B.Ismailov. methods for protecting refractory materials metallurgical melting furnaces from destruction // Замонавий кимёнинг долзарб муаммолари мавзусидаги. Республика миқёсидаги хорижий олимлар иштирокидаги онлайн илмий-амалий анжумани. Бухоро,2020 4-5 декабрь 36-39 бет.

17. Юсупходжаев А.А., Маткаримов С.Т., Носирхужаев С.К. Современная теория строения жидких металлургических шлаков и разработка на её основе способа защиты огнеупорных материалов от разрушения // "Республикада геология ўқитишининг долзарб муаммолари ва Ер фанлари истиқболлари" Тошкент ш. 2020 йил 3-4 апрел: ( 29-30 май) С. 325.

18. Маткаримов С.Т., Носирхужаев С.К., Юлдашева Н.С. предотвращение разрушения огнеупорной кладки металлургических печей// "Республикада геология ўқитишининг долзарб муаммолари ва Ер фанлари истиқболлари" Тошкент ш. 2020 йил 3-4 апрел: ( 29-30 май) С. 327.

19. OchildiyevK.T., NosirxojayevS.K., IsmailovJ.B. Improving the converting process in copper production // международной научно-практической онлайн конференции «проблемы, перспективы и инновационный подход эффективной переработки минерального сырья и техногенных отходов» С. 112.

Автореферат “ТошДТУ хабарлари” илмий журнали тахририятида тахрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус, инглиз (резюме) тилларидаги матнлар мослиги текширилди (\_02.02.2022 йил.)

**Босмахона лицензияси:**



**9338**

Бичими: 84x60 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. «Times New Roman» гарнитураси.

Рақамли босма усулда босилди.

Шартли босма табағи: 3,5. Адади 100 дона. Буюртма № 36/22.

Гувоҳнома № 851684.

«Тирографф» МЧЖ босмахонасида чоп этилган.

Босмахона манзили: 100011, Тошкент ш., Беруний кўчаси, 83-уй.