

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА  
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ  
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.28.02.2018.Т.03.04 РАҚАМЛИ  
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**ШАКИРОВ ШУХРАТ МУСАЕВИЧ**

**ТЕМИР КУКУНИ АСОСЛИ ҒОВАК СИНГИБ ЎТКАЗУВЧАН  
МАТЕРИАЛЛАРНИ ЭКСПЛУАТАЦИОН ХОССАЛАРИНИ ОШИРИШ  
МАҚСАДИДА КЎП КОМПОНЕНТЛИ ТЕРМОДИФФУЗИОН  
ЛЕГИРЛАШ**

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

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

**Тошкент- 2018**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)  
диссертацияси автореферати мундарижаси  
Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)  
по техническим наукам  
Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)  
on technical sciences**

**Шакиров Шухрат Мусаевич**

Темир кукуни асосли ғовак сингиб ўтказувчан материалларни  
эксплуатацион хоссаларини ошириш мақсадида кўп  
компонентли термодиффузион легирлаш.....3

**Шакиров Шухрат Мусаевич**

Многокомпонентное термодиффузионное легирование пористо-  
проницаемых материалов на основе порошка железа с целью  
повышения эксплуатационных свойств.....23

**Shakirov Shukhrat Musaevich**

Multicomponent thermo-diffusion allocation of porous-permeable materials  
on the basis of iron powder for the implementation of operational  
properties.....43

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works .....47

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА  
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ  
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.28.02.2018.T.03.04 РАҚАМЛИ  
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**ШАКИРОВ ШУХРАТ МУСАЕВИЧ**

**ТЕМИР КУКУНИ АСОСЛИ ҒОВАК СИНГИБ ЎТКАЗУВЧАН  
МАТЕРИАЛЛАРНИ ЭКСПЛУАТАЦИОН ХОССАЛАРИНИ ОШИРИШ  
МАҚСАДИДА КЎП КОМПОНЕНТЛИ ТЕРМОДИФФУЗИОН  
ЛЕГИРЛАШ**

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

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

**Тошкент- 2018**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2018.2.PhD/Т619 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

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

**Илмий раҳбар:**

**Норхужаев Файзулла Рамазанович**  
техника фанлари доктори, доцент

**Расмий оппонентлар:**

**Михридинов Рисқидин Михридинович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Бекмирзаев Нурхон Хайитович**  
техника фанлари номзоди, доцент

**Етакчи ташкилот:**

**Тошкент темир йўл муҳандислари  
институтини**

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ва Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги DSc.28.02.2018.Т.03.04. рақамли Илмий кенгашнинг 2018 йил «11» декабрь соат 14<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2-уй. Тел./ факс:(99871)227-10-32, e-mail: [tadqiqotchi@tdtu.uz](mailto:tadqiqotchi@tdtu.uz))

Диссертация билан Тошкент давлат техника университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (№65 рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2-уй. Тел.:(99871)227-10-32.)

Диссертация автореферати 2018 йил «26» ноябрь куни тарқатилди.  
(2018 йил «23» ноябрдаги №65 рақамли реестр баённомаси).

**К.А.Каримов**

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

**Н.Д.Тураходжаев**

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

**Р.М.Михридинов**

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

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

**Диссертация мавзусининг зарурати ва долзарблиги.** Жаҳонда турли газ ва суюқ хом ашё маҳсулотлари сифатини ошириш мақсадида юқори даражада тозалайдиган темир кукуни асосли ғовак сингиб ўтказувчан материалларни ишлаб чиқариш алоҳида аҳамият касб этмоқда. Шу билан бирга легирланган темир кукуни асосли ғовак сингиб ўтказувчан материалларнинг ишлаш муддатини ошириш, физик-механик ва эксплуатацион хоссаларини яхшилаш муҳим масалалардан бири ҳисобланади. Бу борада ривожланган мамлакатлар, жумладан АҚШ, Япония, Буюк Британия, Россия ва бошқа мамлакатларда газ ва суюқ хом ашё маҳсулотларини юқори даражада тозалайдиган ғовак сингиб ўтказувчан материаллар ишлаб чиқаришга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда турли металл ва нометалл элементлар билан термодиффузион легирлаш орқали темир кукуни асосли ғовак сингиб ўтказувчан материалларнинг физик-механик ва эксплуатацион хоссаларини ошириш бўйича кенг кўламда илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан газ-фазада усулда термодиффузион легирлаш жараёнини ва тўйинтирувчи аралашма таркибини ишлаб чиқиш, технологик жараён ва аралашма таркибининг ғовак сингиб ўтказувчан материал хоссаларига таъсирини аниқлаш муҳим аҳамият касб этмоқда. Шу билан бирга темир кукуни асосли ғовак сингиб ўтказувчан материаллар эксплуатацион хоссаларини ошириш учун кўп компонентли тўйинтирувчи аралашма ва термодиффузион легирлаш технологиясини ишлаб чиқиш зарур ҳисобланади.

Республикамизда нефть ва газ маҳсулотларини юқори даражада тозалашни таъминлайдиган, импорт ўрнини босувчи, нисбатан арзон, юқори физик-механик ва эксплуатацион хоссаларга эга бўлган ғовак сингиб ўтказувчан материалларни ишлаб чиқариш чора-тадбирлари амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «... макроиқтисодий барқарорликни мустаҳкамлаш ва юқори иқтисодий ўсиш суръатларини сақлаб қолиш, миллий иқтисодиётнинг рақобатбардошлигини ошириш, ... иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш»<sup>1</sup> вазифаси белгилаб берилган. Ушбу вазифаларни амалга ошириш, жумладан темир кукуни асосли ғовак сингиб ўтказувчан материаллар эксплуатацион хоссаларини ошириш мақсадида кўп компонентли термодиффузион легирлаш технологиясини ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича

---

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

ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2016 йил 26 декабрдаги ПҚ-2698-сон «2017-2019 йилларда тайёр маҳсулот турлари, бутловчи буюмлар ва материаллар ишлаб чиқаришни маҳаллийлаштиришнинг истиқболли лойиҳаларини амалга оширишни давом эттириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 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 йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг II. “Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлик” устувор йўналиши доирасида бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Дунё амалиётида темир кукукли ғовак сингиб ўтказувчан материаллар ишлаб чиқариш технологиясини яратиш ва уларни хоссаларини ўрганиш бўйича олиб борилган илмий-тадқиқот ишлар дунёнинг бир қатор олимлари, жумладан M. V. Karpets, W.B. James, K.S. Narasimhan, H. Danninger P. Beiss, J.F. Isaza P.N. Sharma, K. Kumar, W. D. Callister, Jr. David, J.H. Kong, H. Ovgi, E.Ohaukwu, B.C. Пугин, А.П. Корниенко, Н.П. Павленко, О.Д. Буссель П.А.Витязь, В.М.Капцевич, В.К.Шелег, И.М.Федорченко, В.Н.Ерменко, Г.С. Писаренко, И.Д. Радомысельский, Б.Ф. Шибряев ва бошқаларнинг ишларида кўриб чиқилган. Бу илмий-тадқиқот ишларида темир кукуни ишлаб чиқариш усуллариининг ғовак сингиб ўтказувчан материаллар ғовак структурасига, физик-механик ва эксплуатацион хоссаларига таъсири кўриб чиқилган.

Темир кукукли материалларни цементациялаш, азотлаш, цианлаш, хромлаш, алитирлаш ва силицийлаш бўйича кимёвий-термик ишлов бериш технологияси унда қўлланиладиган тўйинтирувчи аралашма таркиби ҳамда технологик жараёнининг материал структура-фаза таркибига, ғовак структурасига, физик-механик ҳамда эксплуатацион хоссаларига таъсирини бир қатор олимлар, жумладан R.Anthony, R.W.Solid, P. Hofmann. J. A. Hamill, Jr. Welding, A. Benoit, P. Cavaliere, A. I. Katsamas, M. Keddam, J. H. Kong, S. J.B. Kurz, B. Tolaminejad, J.K. Dennis, T.E. Such, Д. А.Чумак-жунь ва бошқалар ўрганганлар.

Темир кукуни асосли материаллар физик-механик ва эксплуатацион хоссаларини бир ва икки элемент билан термодиффузион легирлаш устида В.С. Пугин, О. Д. Бруссель, С.Г. Иванов, М.А. Гурьев, А.П. Чейлях ва бошқалар илмий-тадқиқот изланишларини олиб борганлар. Бу тадқиқот ишларида тўйинтирувчи аралашма таркибини физик-механик ва эксплуатацион хоссаларига таъсири ҳамда газ-фазали усулда термодиффузион легирлаш технологик жараёнининг имкониятлари етарли даражада ўрганилмаган.

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

Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университети илмий-тадқиқот ишлари режасининг №18/08-2842/09 – «Техник сувларни тозалаш учун коррозиябардош фильтрлар ишлаб чиқариш» (2008-2009), №14/09 – «Ҳаво компрессорлари учун иссиққа чидамли металлокерамик фильтр ишлаб чиқиш» (2009-2010) мавзулари лойиҳалари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади:** темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материаллар физик-механик ва эксплуатацион хоссаларини самарали оширадиган кўп компонентли хром, алюминий ва кремний билан термодиффузион легирлаш технологиясини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материал ғовак структура хоссаларига хром, алюминий ва кремний билан кўп компонентли термодиффузион легирлаш технологик жараёнининг (ҳарорат, вақт ва фаоллаштирувчи муҳит) таъсирини аниқлаш;

термодиффузион легирлашда кўп компонентли тўйинтирувчи аралашма таркибининг темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материал структура-фазавий таркибига, физик-механик ва эксплуатацион хоссаларига таъсирини аниқлаш;

темир кукуни асосли ғовак сингиб ўтказувчан материаллар физик-механик ва эксплуатацион хоссаларини оширадиган хром, алюминий ва кремний билан термодиффузион легирлаш учун тўйинтирувчи аралашма таркибини ва технологиясини ишлаб чиқиш;

тадқиқот натижалари асосида олинган ғовак сингиб ўтказувчан материалларни металлургия, нефть ва газ қазиб олиш, қайта ишлаш соҳаларига қўллаш ҳамда уларни қўллашдаги техник-иқтисодий кўрсаткичларни аниқлаш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида қизиган газ-ҳаво оқимларининг ўлчами 10 мкм ва ундан катта бўлган турли заррачалардан тозалайдиган темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материал, прокат окалинаси, темир, хром, алюминий, ферросилиций, алюминий оксиди ва фаоллаштирувчи модда кукунлари олинган.

**Тадқиқотнинг предмети**ни хром, алюминий ва кремний билан оптимал миқдорда легирланган, пиширилган ва прессланган темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материал ҳамда кўп компонентли термодиффузион тўйинтирувчи технология ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида легирланган ғовак сингиб ўтказувчан кукун материалларни тадқиқ этишнинг замонавий назарий ва экспериментал усуллари (макро- ва микро, рентгеноструктуравий ва бошқа таҳлиллар) ҳамда уларнинг физик-механик ва эксплуатацион хоссаларини аниқлашда давлат стандартлари қўлланилган усуллардан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги:**

кўп компонентли термодиффузион легирлаш технологик жараёнининг

темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материалларни ғовак структура хоссасига таъсир этиш тартиби аниқланган;

тўйинтирувчи аралашма таркибидаги хром, ферросилиций, алюминий ва алюминий оксидининг миқдорига боғлиқ равишда темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материалнинг структура-фаза таркиби шаклланиши ва ундаги легирловчи элементларнинг тақсимланиш тартиби аниқланган;

термодиффузион легирлаш жараёнида хром, ферросилиций, алюминий ва алюминий оксиди кукунларининг миқдорига боғлиқ равишда темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материал физик-механик ва эксплуатацион хоссаларининг ўзгариш тартиби аниқланган;

темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материалларни физик-механик ва эксплуатацион хоссаларини оширадиган термодиффузион легирлаш технологияси ва тўйинтирувчи аралашмаларнинг янги таркиблари ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** куйидагилардан иборат:

металлургия корхоналари техник сувларининг ўлчами 25 мкм гача ва ундан кичик бўлган турли заррачалардан тозалайдиган коррозиябардош фильтрлар ишлаб чиқилган;

нефть, газ қазиб олиш ва қайта ишлаш жараёнида қўлланиладиган 300°C ҳароратгача қиздирилган газ-ҳаво оқимларининг ўлчами 10 мкм ва ундан кичик турли заррачалардан тозалайдиган фильтрлар ишлаб чиқилган;

металлургия корхоналарининг таркибида темир бўлган чиқиндиларидан темир металли кукун олиш технологияси ишлаб чиқилган;

темир кукуни асосли ғовак сингиб ўтказувчан материалларни олишда ишлаб чиқаришдаги энергия сарф-харажатларини 17-20%га қисқартириш имконини берувчи технология ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги** аниқ қўйилган вазифа асосида олинган, кўп компонентли термодиффузион легирлаш жараёнидан ўтказилган, темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материал намуналарининг экспериментал усулда аниқланган физик-механик ва эксплуатацион хоссалари кўрсаткичлари макро- ва микроструктура таҳлиллари ҳамда физик-математик формулалар ёрдамида ҳисобланган натижалар билан таққослаш орқали изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти термодиффузион легирлаш жараёнида хром, ферросилиций, алюминий ва алюминий оксиди кукунларининг миқдорига боғлиқ ҳолда темир кукуни асосли ғовак сингиб ўтказувчан материаллар структура-фаза таркибининг шаклланиши ва унда легирловчи элементларнинг тақсимланиши аниқланганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материалларнинг физик-механик ва эксплуатацион хоссаларини оширадиган хром, ферросилиций, алюминий ва алюминий оксидига эга бўлган тўйинтирувчи аралашма таркиби ва технологияси ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Хром, алюминий ва кремний билан легирланган темир кукукли ғовак сингиб ўтказувчан материал ишлаб чиқариш ва термодиффузион легирлаш технологиясини яратиш бўйича олинган натижалар асосида:

термодиффузион легирлаш учун ишлаб чиқилган тўйинтирувчи аралашмалар таркиби «Муборакнефтгаз» ДУКга жорий этилган («Ўзнефтгазқазибчиқариш» АЖнинг 2018 йил 18 октябрдаги 02/07-2372ж-сон маълумотномаси). Натижада юқори легирланган темир кукуни асосли ғовак сингиб ўтказувчан материаллар ишлаб чиқаришга эришилган;

темир кукуни асосли ғовак сингиб ўтказувчан материалларни пиширишда термодиффузион легирлаш технологияси «Муборакнефтгаз» ДУКга жорий этилган («Ўзнефтгазқазибчиқариш» АЖнинг 2018 йил 18 октябрдаги 02/07-2372ж-сон маълумотномаси). Натижада темир кукукли ғовак сингиб ўтказувчан материаллар ишлаб чиқаришдаги сарф-харажатларни 17-20%га қисқартириш имкони яратилган;

темирли чиқиндилардан темир кукуни ишлаб чиқариш технологияси «Муборакнефтгаз» ДУКга жорий этилган («Ўзнефтгазқазибчиқариш» АЖнинг 2018 йил 18 октябрдаги 02/07-2372ж-сон маълумотномаси). Натижада ғовак сингиб ўтказувчан материаллар ишлаб чиқаришдаги капитал сармойани 22-27% қисқартиришга эришилган;

темир кукуни асосли ғовак сингиб ўтказувчан материалларни газ-фазали усулда кўп компонентли термодиффузион легирлаш технологияси «Муборакнефтгаз» ДУКга жорий этилган («Ўзнефтгазқазибчиқариш» АЖнинг 2018 йил 18 октябрдаги 02/07-2372ж-сон маълумотномаси). Натижада темир кукукли ғовак сингиб ўтказувчан материаллар коррозиябардошлигини 13-15%га, иссиқбардошлигини 10–12%га ва иссиққа чидамлилигини 15–17%га ошириш имкони яратилган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Диссертациянинг тадқиқот натижалари, жумладан 5 та халқаро ва 3 та республика илмий-амалий анжуманлари ва симпозиумларида муҳокамадан ўтган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича жами 14 та илмий иш чоп этилган. Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларни чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларида 4 та мақола, жумладан 3 таси республика ва 1 таси хорижий журналларда нашр этилган.

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

## **ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ**

**Кириш** қисмида ўтказилган тадқиқотнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқот мақсади ва вазифалари шаклланган, объекти ва предметлари тавсифланган, тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари

ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва асосий натижалари баён қилинган, тадқиқотнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш ва апробацияси, шунингдек нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Ғовак сингиб ўтказувчан материаллар яратиш муаммоларининг замонавий ҳолати**» деб номланган биринчи бобида турли металл ва қотишмаларнинг куқунларидан тайёрланган ғовак сингиб ўтказувчан материалларга қўйиладиган талаблар, қўлланиш соҳалари, камчиликлари ва афзалликлари, ишлаб чиқаришда қўлланиладиган хом ашё куқун хоссалари ҳамда уларни яратиш муаммоларининг замонавий ҳолати таҳлили ўтказилган.

Коррозиябардош, иссиқбардош ва иссиққа чидамли темир куқуни асосли ғовак сингиб ўтказувчан материаллар ишлаб чиқариш технологик жараёнини содалаштиришга эришиш учун олдиндан легирланган темир куқунларни бевосита хом ашё сифатида қўллашдан воз кечиш мақсадга мувофиқлиги кўрсатиб берилган. Темир куқуни асосли ғовак сингиб ўтказувчан материалларга Cr, Al, Ti, Si ва шу каби легирловчи элементларни термодиффузион легирлаш усули билан пишириш жараёнида киритиш мақсадга мувофиқлиги кўрсатиб ўтилган. Бундан ташқари, бу бобда темир куқунли ғовак сингиб ўтказувчан материалларни термодиффузион легирлаш усуллари ва технологиялари бўйича чет эл ва республикамиз олимлари томонидан ўтказилган тадқиқот натижалари ўрганилган ва таҳлил қилинган.

Диссертациянинг «**Объектларни танлаш ва темир куқунли ғовак сингиб ўтказувчан материаллар хоссасини тадқиқ қилиш методикаси**» деб номланган иккинчи бобида тадқиқот объектини танлаш, темир куқунини ишлаб чиқариш учун хом ашё базасини яратиш, тўйинтирувчи аралашма компонентларининг асосий хоссалари ҳамда ғовак сингиб ўтказувчан материал хоссаларини тадқиқ этишнинг замонавий усуллари ва қурилмаларидан фойдаланиш бўйича маълумотлар келтирилган.

Темир куқунли ғовак сингиб ўтказувчан материаллар олиш учун хом ашё базаси сифатида «Ўзметкомбинат» АЖ чиқиндиси бўлган прокат окалинаси танланган. Прокат окалинасининг темир куқуни ишлаб чиқаришга яроқлилиги рентгеноструктура (ДРОН-3М) таҳлили ёрдамида асосан 80% FeO (вюстит), 15% Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (магнитит), 5% γ – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (магтемит)дан ташкил топиши ва таркибида қийин қайта тикланадиган металлларнинг оксидлари йўқлиги аниқланган.

Водород билан қайта тиклаш усулида прокат окалинадан олинган темир куқуни кимёвий таркибининг рентгено-флуоресцент таҳлили олинган ва уни темир куқунли ғовак сингиб ўтказувчан материаллар ишлаб чиқаришга яроқли эканлиги аниқланган.

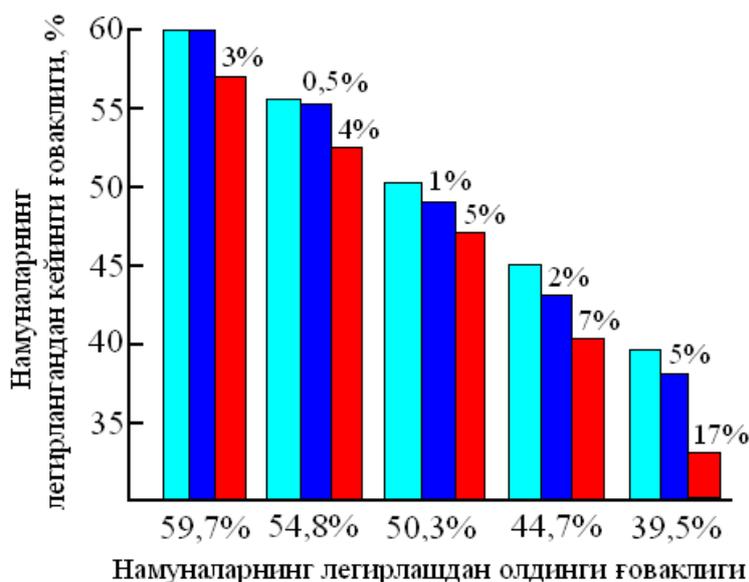
Диссертация ишида тадқиқотнинг замонавий назарий ва экспериментал усулларида фойдаланилган: жумладан, кўп компонентли Cr, Al ва Si аралашма билан термодиффузион легирланган темир куқунли ғовак сингиб

Ўтказувчан материал намуналарининг легирланган қатламидаги структура-фаза таркиби ДРОН-3М (НПО «Буревестник») дифрактометрда, макро- ва микроструктураси МИМ-8, «Неофот-21» ҳамда МБС-9 маркали макро қурилмаларда ўрганилган.

Ғоваксиз (куйма, паковка, прокат) материаллар коррозиябардошлилигини аниқлаш усуллари ғовак сингиб ўтказувчан материаллар коррозиябардошлилигини аниқлашга нисбатан қўллаш бир қатор ноаниқ натижаларга олиб келиши кўрсатиб берилган. Ғовак сингиб ўтказувчан материаллар коррозиябардошлилигини уларнинг электр қаршилигини ўлчаш орқали аниқлаш усули ва қурилмалари ишлаб чиқилган.

Диссертациянинг «**Кўп компонентли тўйинтирувчи аралашма билан термодиффузион легирлаш технологик жараёнининг темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материал структурасига таъсири**» деб номланган учинчи боби прокат окалинадан темир кукунларини олиш технологиясини ишлаб чиқиш, тадқиқот учун темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материалларнинг намуналарини олиш, уларни контактли ва газ-фазали усулда кўп компонентли аралашмада термодиффузион легирлаш технологик жараёнини ишлаб чиқиш, технологик жараённинг пиширилган ва пиширишда термодиффузион легирланган намуналарнинг ғовак структура хоссасига таъсирини тадқиқ қилиш натижаларига бағишланган.

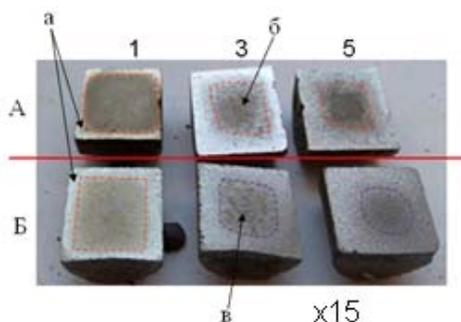
Ўтказилган тадқиқот натижалари шуни кўрсатдики, контактли усулда тўйинтирувчи аралашмада термодиффузион легирлаш жараёнида тўйинтирувчи аралашмадан легирловчи газ фазанинг ажралиб чиқиши нотекис ва тез содир бўлиши натижасида пиширилган ғовак сингиб ўтказувчан материаллар ғоваклиги камайган. Материал ғоваклигининг камайиш даражаси ғовак материалнинг бошланғич ғоваклигига боғлиқ ҳолда содир бўлган (1–расм).



■ – намуналарнинг легирлашдан олдинги ғоваклиги; ■ – газ-фазали усулда легирланган намуна ғоваклиги; ■ – контактли усулда легирланган намуна ғоваклиги

1 – расм. Термодиффузион легирлаш усуллариининг пиширилган намуналар ғоваклигига таъсири

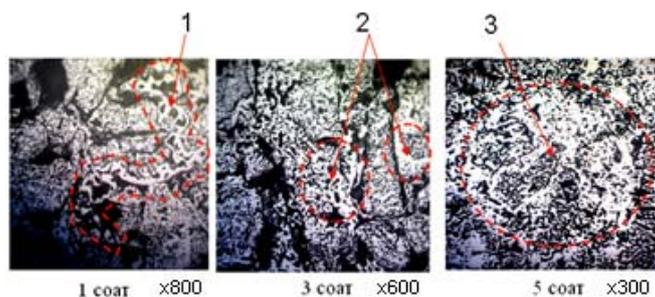
Пиширилган темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материалларни контактли усулда термодиффузион легирлашда тўйинтирувчи аралашмадан газ фазанинг нотекис ажралиб чиқиши ва унда фаоллаштирувчи модданинг чегараланган миқдорга эга бўлиши натижасида пиширилган ғовак сингиб ўтказувчан материалдаги легирланган қатлам чуқурлиги 3...3,5 мм дан ошмаслиги аниқланган. Шунингдек, пиширилган темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материални газ-фаза усулда кўп компонентли тўйинтирувчи аралашмада термодиффузион легирлаш жараёнида контейнер ичидаги газ фаза билан ғовак материал ички ғовак каналларидаги газ фаза босимида фарқларнинг бўлиши натижасида пиширилган темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материалдаги тўлиқ легирланган қатлам чуқурлиги 4,5...5 мм дан ошмаслиги аниқланган (2 – расм).



**а – легирланган; б – легирланмаган; в – легирланган ва легирланмаган аралаш  
худудлар**

**2 – расм. Контактли (А) ва газ-фазали усулда (Б) 1, 3, 5 соат давомида  
термодиффузион легирланган намуналар макроструктураси**

Ўтказилган тадқиқот натижалари шуни кўрсатдики, пиширишда газ-фазали усулда термодиффузион легирлаш, кукун заррачаларни бир-бирига уланиши уларнинг легирланиши билан бир вақтда содир бўлади (3 – расм). Шунинг учун пиширишда газ-фазали усулда термодиффузион легирлаш жараёни олинган материалнинг ғоваклигига таъсир этмаган.



**1 – бир соат давомида ; 2 – уч соат давомида; 3 – беш соат давомида**

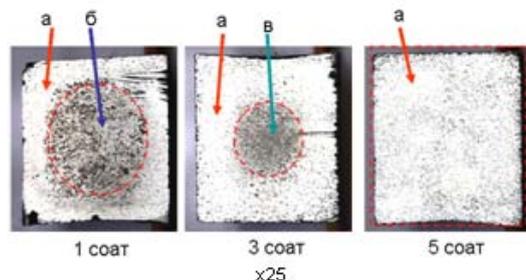
**3 – расм. Турли вақт давомида пиширишда газ-фазали усулда термодиффузион  
легирланган намуналар микроструктураси**

Пиширишда газ-фазали усулда термодиффузион легирлаш ғовак сингиб ўтказувчан материалнинг сингиб ўтказувчанлигига таъсир кўрсатмаган. Бу эса пиширишда термодиффузион легирлаш жараёнини ғовакликка таъсири бўйича олинган экспериментал натижалар тўғри эканлигини кўрсатади.

Пиширишда газ-фазали усулда термодиффузион легирлаш жараёни вақт давомийлигининг легирланиш чуқурлигига таъсирини аниқлаш 1, 2, 3, 4,

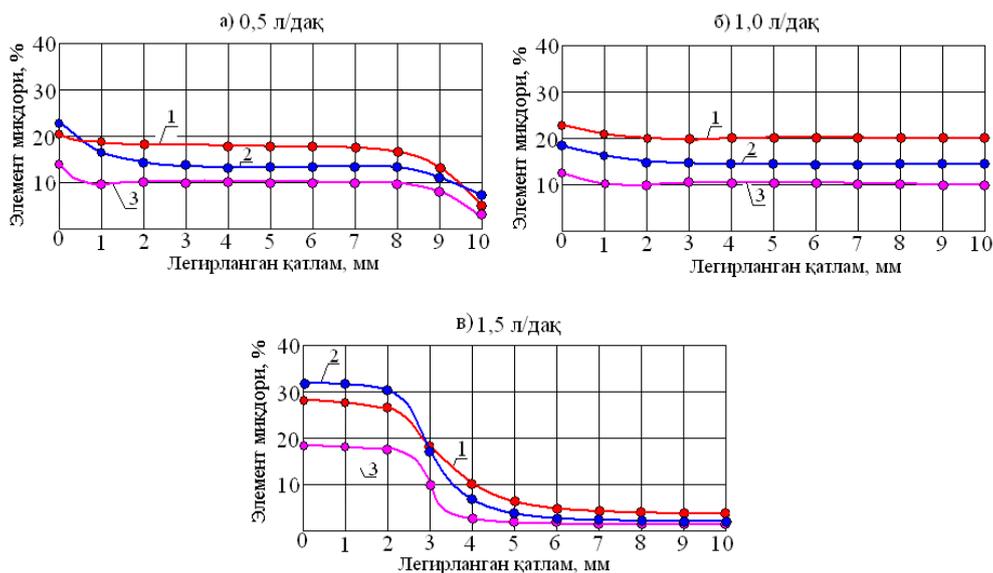
5 соат давомида газ-фазали усулда термодиффузион легирлашдан ўтган намуналар шлифларини макроструктура таҳлили орқали амалга оширилган.

Макроструктуравий таҳлил шуни кўрсатдики, 5 соат давомида пиширишда газ-фазали усулда термодиффузион легирлаш диаметри 20 мм бўлган темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материални тўлиқ легирлайди (4 – расм).



**а – легирланган ҳудуд; б – пишмаган ҳудуд; в – легирланмаган ҳудуд**  
**4 – расм. Турли вақт оралиғида пиширишда газ-фазали усулда термодиффузион легирланган намуналар макроструктураси**

Тадқиқ этилаётган намуналарда легирловчи элементлар миқдорининг тақсимланишини аниқлаш учун пиширишда газ-фазали усулда термодиффузион легирланган намуналарни ED-2000 OX FORD (Англия) қурилмасида рентгено-флуоресцент усулида 1% аниқликда қатламли (1 мм) кимёвий таҳлили ўтказилган. Намуналарни тайёрлашда контейнерга газ тайёрлаш камерасидан фаоллаштирувчи газ аралашмани турли 0,5, 1,0, 1,5 л/дақ миқдорда узатиш орқали амалга оширилган. Фаоллаштирувчи сифатида  $\text{NH}_4\text{Cl}$  модданинг парчаланишидан ҳосил бўлган  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{HCl}$  газ аралашмаси қўлланилган (5 – расм).



**1 – хромнинг тақсимланиши; 2 – алюминийнинг тақсимланиши; 3 – кремнийнинг тақсимланиши**

**5 – расм. Фаоллаштирувчи турли ((а – 0,5 л/дақ, б – 1,0 л/дақ, в – 1,5 л/дақ)) миқдорларда узатишда легирланган қатламда легирловчи элементларнинг тақсимланиши**

Газ-фазали усулда 30%Х99+15%ФС75+15%ПАП-1+40%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> таркибли тўйинтирувчи аралашма билан термодиффузион легирлашда 20 мм қалинликда легирловчи элементлар миқдорининг тенг тақсимланишини таъминлаш учун фаоллаштирувчи муҳитнинг жўнатишдаги миқдори 1,0 л/дақ бўлиши аниқланган.

Диссертациянинг «Темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материал эксплуатацион хоссаларига кўп компонентли тўйинтирувчи аралашма билан термодиффузион легирлаш жараёнининг таъсирини тадқиқ этиш» деб номланган тўртинчи боби кўп компонентли тўйинтирувчи аралашма таркибини темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материал структура-фаза таркибининг шаклланишига, легирловчи элементларнинг кесим бўйича тақсимланишига, механик ва эксплуатацион хоссаларига таъсирини тадқиқ қилишга бағишланган.

Пиширишда газ-фазали усулда термодиффузион легирлашда кўп компонентли тўйинтирувчи аралашма таркибини материал структура-фаза таркиби шаклланишига таъсири намуналарни ДРОН-3М рентгенли дифрактометрда қатламли (1 мм) сканерлаш усули ёрдамида тадқиқ этилган. Намуналар турли миқдорда хром, ферросилиций ва алюминий кукунига эга бўлган тўйинтирувчи аралашмаларда пиширишда газ-фазали усулда термодиффузион легирлашда контейнерга фаоллаштирувчи муҳитни 1,0 л/дақ жўнатиш орқали тайёрланган.

Тўйинтирувчи аралашмада ўзгарувчан (5%дан 20%гача ФС75) миқдорда ферросилиций кукуни ва ўзгармас миқдорларда хром (35%Х99) ҳамда алюминий (5%ПАП-1) кукунларнинг бўлиши материалда хромнинг α–темирдаги алмашилиш қаттиқ қоришмасидан ташкил топган гомоген структура ҳосил бўлади. Тўйинтирувчи аралашмада ферросилиций кукуни миқдори 20%дан 25%гача ошиши билан материал структураси гетероген бўлиши аниқланган, яъни икки фазадан хромнинг α–темирдаги алмашилиш қаттиқ қоришмаси ва тартибланган сингиш (Fe, Cr)<sub>3</sub>Si қоришмасидан ташкил топади.

Ўтказилган тадқиқотлар натижасида гомоген структурага эга бўлган Cr, Si ва Al билан легирланган темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материал олиш учун аралашмада ферросилиций кукуни миқдори 15...20% оралиғида бўлиши керак.

Тўйинтирувчи аралашмада ўзгарувчан (8%дан 15%гача ПАП-1) миқдорда алюминий кукуни ва ўзгармас миқдорларда хром (35%Х99) ҳамда ферросилиций (15%ФС75) кукунларнинг бўлиши материалда хромнинг α – темирдаги алмашилиш қаттиқ қоришмасидан ташкил топган гомоген структура ҳосил бўлади.

Тўйинтирувчи аралашмада алюминий кукуни миқдори 15%дан 18%гача ошганда материал структураси гетероген бўлиши аниқланган. Бундай ҳолда материал структураси уч фазадан хромнинг α–темирдаги алмашилиш қаттиқ қоришмаси, Fe<sub>3</sub>Al ва FeAl – тартибланган сингиш фазаларидан ташкил топади.

Ўтказилган тадқиқотлар натижасида гомоген структурага эга бўлган Cr, Si ва Al билан легирланган темир кукукли ғовак сингиб ўтказувчан материал олиш учун аралашмада алюминий кукуни миқдори 8...15% оралиғида бўлиши керак.

Маълумки, темирнинг хром билан легирланиши натижасида бир қатор чексиз алмашилиш қаттиқ қоришмалар ҳосил бўлади. Бундай бўлишига сабаб, уларнинг атомлари ўлчами ўртасидаги фарқ жуда кичик ( $r_{Fe}=2,56\text{Å}$ ;  $r_{Cr}=2,52\text{Å}$ ). Темирда хромнинг миқдори ортиши билан  $\alpha$ -Fe қаттиқ қоришманинг кристалл ячеяка даврларининг ортиши кузатилади. Хром ўзининг темирли қотишмаларида  $A_4$  нуқтани пасайтириб, хромни  $1150^\circ\text{C}$  ҳароратда 12,8% миқдорда ўзида чегарали сингдирувчи  $\gamma$ -ҳудудни ёпади. Хромнинг миқдори ўртача 45% бўлганда,  $820^\circ\text{C}$  ҳароратдан пастда кимёвий бирикма  $\sigma$ -фазани ҳосил қилади.

Юқорида (5– расм) олинган натижалар шуни кўрсатадики, тўйинтирувчи аралашмада хром кукунининг ҳаттоки, 50% бўлиши материалда хром миқдорини 30...35% гача ошира олмайди. Бундан тўйинтирувчи аралашма ферросилиций (10...20%ФС75), алюминий (8...15%ПАП-1) ва алюминий оксиди 30% кукунларига эга бўлганда хром (Х99) кукунининг миқдори 42...45% оралиғида бўлиши керак.

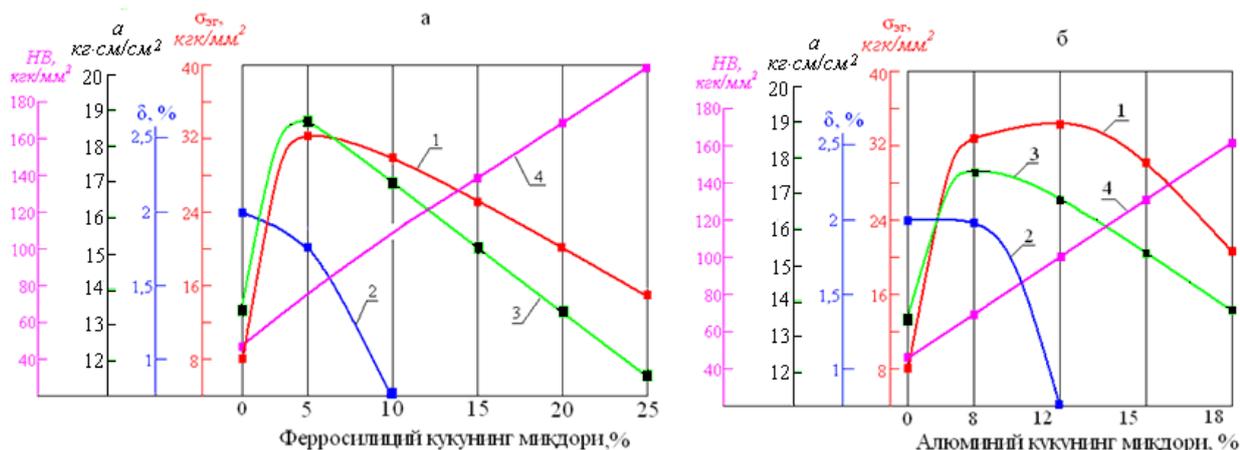
Тўйинтирувчи аралашма таркибининг материал механик хоссаларига таъсири, намуналарни мустаҳкамликка, қаттиқликка, зарбий қовушқоқликка ва нисбий чўзилишга синаш орқали аниқланган. Тадқиқот намуналари турли миқдорда хром, алюминий, ферросилиций ва алюминий оксидлари кукунларига эга бўлган тўйинтирувчи аралашмаларда пиширишда газ-фазали усулда термодиффузион легирлашда контейнерга фаоллаштирувчи муҳитни 1,0 л/дақ жўнатиш орқали тайёрланган.

Тўйинтирувчи аралашма таркибида ферросилиций кукуни (5%дан 25%гача ФС75) ва ўзгармас хром кукуни (35%Х99) ҳамда алюминий кукуни (5%ПАП-1) миқдорига боғлиқ ҳолда темир кукукли ғовак сингиб ўтказувчан материал механик хоссаларининг ўзгариши аниқланган (6, а–расм)

Намуналарда ўтказилган механик синов натижалари шуни кўрсатдики, етарли даражада механик хоссаларга эга бўлган темир кукукли ғовак сингиб ўтказувчан материаллар олиш учун кўп компонентли тўйинтирувчи аралашмада ферросилиций (ФС75) кукуни миқдори 10...20% бўлиши керак.

Тўйинтирувчи аралашма таркибида алюминий кукуни (8%дан 18%гача ПАП-1) ва ўзгармас хром кукуни (35%Х99) ҳамда ферросилиций кукуни (15%ФС75) миқдорига боғлиқ ҳолда темир кукукли ғовак сингиб ўтказувчан материал механик хоссаларининг ўзгариши аниқланган (6, б–расм).

Намуналарда ўтказилган механик синов натижалари шуни кўрсатдики, етарли даражада механик хоссаларга эга бўлган темир кукукли ғовак сингиб ўтказувчан материаллар олиш учун кўп компонентли тўйинтирувчи аралашмада алюминий (ПАП-1) кукунининг миқдори 8...15% бўлиши керак.



1 – эгилишдаги мустаҳкамлик чегараси; 2 – нисбий чўзилувчанлиги; 3 – зарбий қовушқоқлиги; 4 – қаттиқлик

б – расм. Тўйинтирувчи аралашма таркибидаги (а) ферросилиций ва (б) алюминий кукунлари миқдорининг намуналар механик хоссасига таъсири

Юқорида келтирилган тадқиқот натижалари асосида хулоса қилиш мумкинки, нисбатан самарали тўйинтирувчи аралашмалар таркиби қуйидагича:

1. 42%Х99+20%ФС75+8%ПАП-1+30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;
2. 45%Х99+10%ФС75+15%ПАП-1+ 30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Ишлаб чиқилган тўйинтирувчи аралашма таркибларни темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материаллар коррозиябардошлилигига таъсирини аниқлаш учун уларга мос келувчи пиширишда газ-фазали усулда термодиффузион легирлаш жараёнидан ўтган намуналарнинг синовлари ўтказилган.

Коррозиябардошлиликка синаш турли агрессив муҳитларни ғовак сингиб ўтказувчан намуналар билан филтрлашда уларнинг электр қаршилигини ўлчаш орқали амалга оширилган. Аниқланган электр қаршилиги қийматидан заррачаларо уланган жойларнинг нисбий ўлчами кичрайиши қиймати топилган. Рухсат этилган заррачаларо уланган жойларнинг нисбий ўлчами бўйича ғовак сингиб ўтказувчан материалнинг синалаётган муҳитлардаги мумкин бўлган (N) ишлаш ресурси қуйидаги формула ёрдамида баҳоланган:

$$N = \frac{\Delta_{\text{доо}} \cdot t_i}{\Delta} \quad (1)$$

бунда  $\Delta_{\text{рух}}$  – заррачаларо уланган жойларнинг рухсат этилган нисбий ўлчами қиймати;

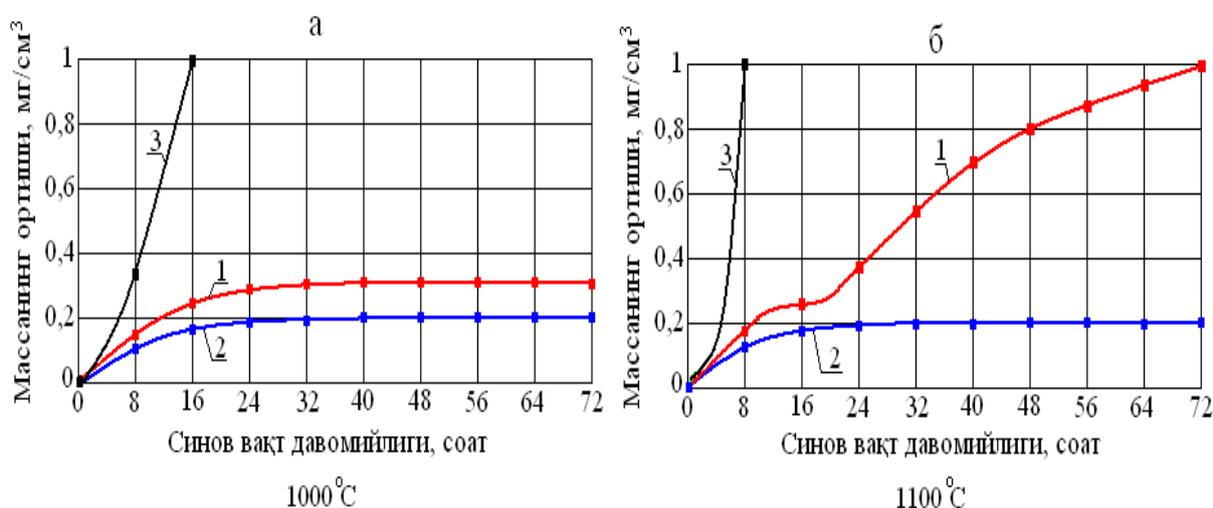
$t_i$  – синов вақти давомийлиги, соат;

$\Delta$  – синов давомида заррачаларо уланган жойлар нисбий ўлчамининг кичрайган қиймати.

Ишлаб чиқилган 42%Х99+20%ФС75+8%ПАП-1+30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> таркибда пиширишда газ-фазали усулда термодиффузион легирлаб олинган материал 20%НCl, 50%Н<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 20%НNO<sub>3</sub> сувли эритмаларида мумкин бўлган 20 000 соат ишлаш ресурсига ва 20%KOH, 10%NaOH, 3%NaCl сувли эритмаларида мумкин бўлган 30 000 соат ишлаш ресурсига эга эканлигини кўрсатган.

Ишлаб чиқилган 45%Х99+10%ФК75+15%ПАП-1+30%Аl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> тўйинтирувчи таркибда пиширишда газ-фазали усулда термодиффузион легирлаб олинган материал 50%Н<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 20%ННО<sub>3</sub> сувли эритмаларида мумкин бўлган 10 000 соат ишлаш ресурсига эга эканлиги аниқланган. Аммо материал синовининг 20%НСl, 20%КОН, 10%NaОН, 3%NaCl сувли эритмаларига мутлақо коррозиябардош эмаслигини кўрсатган.

Ишлаб чиқилган тўйинтирувчи таркибларни темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материалларнинг иссиққабардошлилигини аниқлаш учун пиширишда газ-фазали усулда термодиффузион легирланган намуналар иссиққабардошлиликка синалган. Иссиққабардошлиликка синаш намуналарни 1000 ва 1100°С ҳароратгача ҳаволи атмосферада 72 соат давомида қиздириш йўли билан ўтказилган. Намуналар иссиққабардошлилиги уларнинг синов вақти давомида массаси ўзгариши орқали баҳоланган (7– расм).



1 – 42%Х99+20%ФС75+ 8%ПАП-1+ 30 %Аl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> тўйинтирувчи таркиб; 2 – 45%Х99 +10%ФС75+15%ПАП-1+30 %Аl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> тўйинтирувчи таркиб 3 – эталон (легириланмаган намуна)

7 – расм. Намуналарнинг (а – 1000°С, б – 1100°С) ҳароратларда иссиққабардошликка синаш вақтига боғлиқ ҳолда массасининг ўзгариши

Рухсат этилган масса ўзгаришининг қиймати бўйича ғовак сингиб ўтказувчан материалларнинг синалаётган ҳароратлардаги мумкин бўлган (N) ишлаш ресурси қуйидаги формуладан аниқланган:

$$N = \frac{m_{\text{доп}} \cdot t_i}{\Delta m} \quad (2)$$

бунда  $m_{\text{доп}}$  – ғовак сингиб ўтказувчан материалнинг рухсат этилган масса ўзгариши қиймати,  $\text{мг}/\text{см}^3$ ;

$t_i$  – синов вақти давомийлиги, *соат*.

$\Delta m$  – ғовак сингиб ўтказувчан материал массасининг синов вақти давомида ўзгарган қиймати,  $\text{мг}/\text{см}^3$

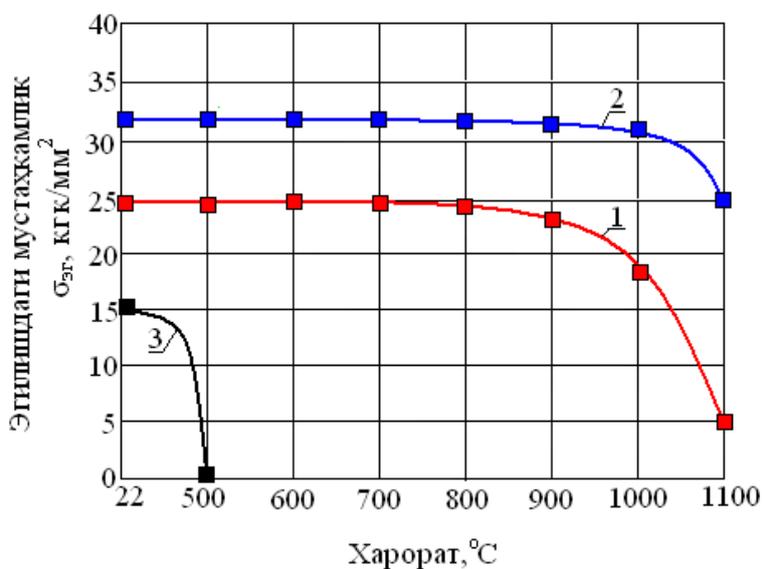
Ишлаб чиқилган 42%Х99+20%ФС75+8%ПАП-1+30%Аl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> таркибда пиширишда газ-фазали усулда термодиффузион легирлаб олинган материаллар 1000°С ҳароратда мумкин бўлган 180 000 соат ишлаш ресурсига ва

1100°C ҳароратда мумкин бўлган 42 000 соат ишлаш ресурсига эга эканлигини кўрсатган.

Ишлаб чиқилган 45%Х99+10%ФК75+15%ПАП-1+30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> тўйинтирувчи таркибда пиширишда газ-фазали усулда термодиффузион легирлаб олинган материал 1000 ва 1100°C ҳароратларда мумкин бўлган 180 000 соат ишлаш ресурсига эга эканлигини кўрсатган.

Ишлаб чиқилган тўйинтирувчи таркибларни темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материалларнинг иссиққа чидамлилигини аниқлаш учун пиширишда газ-фазали усулда термодиффузион легирланган намуналарни иссиққа чидамликка синаш ўтказилган.

Иссиққа чидамликка синаш намуналарни ҳаволи атмосферада силитли қиздиргичларга эга бўлган печда 500, 600, 700, 800, 900, 1000 ва 1100°C ҳароратда қиздириш йўли билан амалга оширилган. Намуналар иссиққа чидамлилиги уларнинг қиздирилган ҳолатда эгилишдаги мустаҳкамлигини ўзгариши орқали баҳоланган (8 – расм).



1 – 42%Х99+ 20%ФС75 +8%ПАП-1+ 30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 2 – 45%Х99+ 10%ФС75+ 15%ПАП-1+30 %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 3 – эталон (легирланмаган намуна)

8 – расм. Турли тўйинтирувчи таркибларда термодиффузион легирланган намуналар мустаҳкамлигига синов ҳароратининг таъсири

Ишлаб чиқилган 42%Х99+20%ФС75+8%ПАП-1+30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> таркибда пиширишда газ-фазали усулда термодиффузион легирлаб олинган материаллар 1000°C ҳароратгача иссиққа чидамли эканлиги аниқланган. Намуналарни 1000°C ҳароратда қиздирилганда эгилишдаги мустаҳкамлик чегараси 19 кг/мм<sup>2</sup> ни ташкил этган.

Ишлаб чиқилган 45%Х99+10%ФК75+15%ПАП-1+30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> таркибда пиширишда газ-фазали усулда термодиффузион легирлаб олинган материаллар 1100°C ҳароратгача иссиққа чидамли эканлиги аниқланган. Намуналар 1100°C ҳароратда қиздирилганда эгилишдаги мустаҳкамлик чегараси 25 кг/мм<sup>2</sup> ни ташкил этган.





а)



б)

**а – техник сувни тозалаш учун мўлжалланган фильтрлар; б – газ-ҳаво оқимини тозалашга мўлжалланган фильтрлар**

**10 – расм. Фильтрларнинг умумий кўриниши**

«Ўзметкомбинат» АЖ учун фильтрлар темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материалларни пиширишда газ-фазали усулда кўп компонентли термодиффузион легирлаш жараёнидан ўтказиб, тайёрланган. Фильтрларнинг ишлаши натижасида техник сувлар ўлчами 25 мм ва ундан кичик бўлган турли заррачалардан тўлиқ тозалаган (1– жадвал).

1 – жадвал

**Техник сувнинг тозалашдан олдинги ва тозалангандан кейинги таҳлили**

1- сув омборида	Заррачаларни ўлчамлар бўйича тақсимланиши, $мг/м^3$			
	100 мкм гача	100...50 мкм	50...25 мкм	25 мкм ва ундан кичик
Заррачалар	3,71	2,24	0,98	0,07
	0	0	0	0,02

Шу билан бирга материал «Ўзметкомбинат» АЖнинг техник сувларига юқори коррозиябардош эканлигини кўрсатган.

«Муборакнефтгаз» ДУКнинг 300°C ҳароратгача қиздирилган газ-ҳаво оқимларини ўлчами 10 мкм гача бўлган турли заррачалардан тозаловчи фильтрлар пиширишда газ-фазали усулда кўп компонентли термодиффузион легирлашдан ўтказиб, ишлаб чиқилган. Фильтрларнинг ишлаши натижасида газ-ҳаво оқимлари ўлчами 10 мкм ва ундан кичик бўлган турли заррачалардан тўлиқ тозаланган. Шу билан бирга материал «Муборакнефтгаз» ДУКнинг қиздирилган газ-ҳаво оқимларига юқори иссиқбардош эканлигини кўрсатди.

2 – жадвал

**Газ-ҳаво оқимининг тозалашдан олдинги ва тозалангандан кейинги таҳлили**

Газ-ҳаво ҳарорати, °С	Заррачаларни ўлчамлар бўйича тақсимланиши, $мг/м^3$				
	Конденсат	50 мкм гача	50...25 мкм	25...10 мкм	10 мкм дан кичик
200...300	~ 1	0,02	2,2	2,75	0,05
	0	0	0	0	~0,01

Ғовак сингиб ўтказувчан материалларни «Муборакнефтгаз» ДУКга қизиган газ-ҳаво оқимларини тозаловчи фильтр сифатида жорий қилиниши натижасида йиллик иқтисодий самара 169, 44 млн сўмни ташкил этган.

## ХУЛОСА

«Темир кукунли асосли ғовак сингиб ўтказувчан материалларнинг эксплуатацион хоссаларини ошириш мақсадида кўп компонентли термодиффузион легирлаш» мавзусидаги фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижалари асосида қуйидаги хулосалар тақдим этилган:

1. Кўп компонентли аралашма билан термодиффузион легирлашнинг контактли усули пиширилган темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материал ғовак тешикларини ёпиши натижасида легирланган қатлам чуқурлиги 3...3,5 мм дан ошмаслиги аниқланган. Бу усул истиқболда девор қалинлиги 3...4 мм бўлган темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материалларни термодиффузион легирлашда муҳим аҳамият касб этади.

2. Кўп компонентли аралашма билан термодиффузион легирлашнинг газ-фазали усули пиширилган темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материалда легирланган қатлам чуқурлиги 4,5...5 мм дан ошмаслиги аниқланган. Бу маълумотларга қўра, девор қалинлиги 5 мм дан кичик бўлган темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материалларни ҳажмий легирлаш мумкин.

3. Темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материалларни газ-фазали усулда пиширишда кўп компонентли аралашма билан термодиффузион легирлаш темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материалнинг зарур ғоваклигига, ғовак каналлар диаметри ўлчамига, сингиб ўтказувчанликка таъсир этмаслиги аниқланди. Бу қалинлиги 12 мм бўлган темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материалларни ишлаб чиқариш имконини яратади.

4. Тўйинтирувчи аралашмадаги хром, ферросилиций, алюминий ва алюминий оксиди кукунлари миқдорига боғлиқ ҳолда темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материал структура-фаза таркибининг шаклланиши, легирловчи элементларнинг тақсимланиши ва материалнинг механик ҳамда эксплуатацион хоссалари ўзгариши аниқланган. Бу маълумотлар асосида термодиффузион легирланган ғовак сингиб ўтказувчан материаллар механик ва эксплуатацион хоссаларини олдиндан башоратлаш мумкин.

5. Темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материалларни газ-фазали усулда пиширишда термодиффузион легирлаш технологияси ва унинг тўйинтирувчи аралашмалар таркиблари ишлаб чиқилган, булар:

1. 42%Х99+20%ФС75+8%ПАП-1+30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;

2. 45%Х99+10%ФС75+15%ПАП-1+ 30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

6. Ишлаб чиқилган 42%Х99+20%ФС75+8%ПАП-1+30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> тўйинтирувчи аралашма таркиби ва газ-фазали усулда пиширишда термодиффузион легирлаш технологияси темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материални 20%НCl, 50%Н<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 20%НNO<sub>3</sub>, 20%KOH, 10%NaOH, 3%NaCl

моддаларнинг сувли эритмаларида синаш натижасида унинг коррозиябардошлилигини ошириши аниқланган. Бу маълумотлар темир кукунли ғовак материалларни кимёвий соҳаларда қўллаш истиқболини белгилаб беради.

7. Ишлаб чиқилган  $45\%X99+10\%ФК75+15\%ПАП-1+30\%Al_2O_3$  тўйинтирувчи аралашма таркиби ва газ-фазали усулда пиширишда термодиффузион легирлаш технологияси темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материалларнинг иссиққабардошлилигини ва иссиққа чидамлилигини  $1100^{\circ}C$  ҳароратгача ошириши аниқланган. Бу маълумотлар темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материалларни металлургия ва иссиқлик энергияси соҳаларида қўллаш истиқболини очади.

8. Ишлаб чиқилган кўп компонентли аралашма билан термодиффузион легирлаш технологияси ва тўйинтирувчи аралашма таркибларини темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материаллар юқори эксплуатацион хоссаларини инобатга олиб, уларни ишлаб чиқаришда кенг қўллаш бўйича амалий ва иқтисодий жиҳатлари ишлаб чиқилган. Бу эса темир кукунли ғовак сингиб ўтказувчан материални ишлаб чиқаришни ташкиллаштиришнинг асосий омили бўлиб хизмат қилади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.28.02.2018.Т.03.04 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ  
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ И НАЦИОНАЛЬНОМ  
УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

**ШАКИРОВ ШУХРАТ МУСАЕВИЧ**

**МНОГОКОМПОНЕНТНОЕ ТЕРМОДИФФУЗИОННОЕ  
ЛЕГИРОВАНИЕ ПОРИСТО-ПРОНИЦАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ НА  
ОСНОВЕ ПОРОШКА ЖЕЛЕЗА С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ  
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ**

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

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

**Ташкент- 2018**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2018.2.PhD/T619.**

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 «Ziynet» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

<b>Научный руководитель:</b>	<b>Норхуджаев Файзулла Рамазанович</b> доктор технических наук, доцент
<b>Официальные оппоненты:</b>	<b>Михридинов Рисқидин Михридинович</b> доктор технических наук, профессор <b>Бекмирзаев Нурхон Хайитович</b> кандидат технических наук, доцент
<b>Ведущая организация:</b>	<b>Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта</b>

Защита диссертации состоится «11» декабря 2018 года в 14<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета DSc.28.02.2018.T.03.04. при Ташкентском государственном техническом университете и Национальном университете Узбекистана. (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел./ факс:(99871)227-10-32, e-mail: [tadqiqotchi@tdtu.uz](mailto:tadqiqotchi@tdtu.uz))

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрирована за №65). (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.:(99871)227-10-32.)

Автореферат диссертации разослан «26» ноября 2018 года.  
(реестр протокола рассылки №65 от «23» ноября 2018 года).

**К.А.Каримов**

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

**Н.Д.Тураходжаев**

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

**Р.М.Михридинов**

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

## ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской диссертации)

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире приобретает особую важность производство на основе порошка железа пористо-проницаемых материалов для высокой степени очистки газообразных и жидких сырьевых продуктов в целях повышения их качества. В связи с этим повышение срока службы с улучшением физико-механических и эксплуатационных свойств данных материалов является одной из важных задач. В этом направлении во многих развитых странах, включая США, Японию, Великобританию, Россию и другие страны, уделяется особое внимание производству пористо-проницаемых материалов, способных до высокой степени очищать газообразные и жидкие сырьевые продукты.

Во всем мире проводятся целевые научно-исследовательские работы по повышению физико-механических и эксплуатационных свойств пористо-проницаемых материалов на основе порошка железа с термодиффузионным легированием, металлическими и неметаллическими элементами. По этим направлениям особое значение приобретает разработка технологий термодиффузионного легирования газо-фазным методом с различными составами насыщающих смесей, установление влияния технологического процесса и состава насыщающих смесей на свойства пористо-проницаемого материала. В том числе считается важной разработкой многокомпонентных составов насыщающих смесей и технология термодиффузионного легирования для повышения физико-механических и эксплуатационных свойств пористо-проницаемых материалов на основе порошка железа.

В нашей республике разрабатываются меры для организации производства импортозамещающих, относительно дешевых пористо-проницаемых материалов с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами для обеспечения высокой степени очистки продуктов нефти и газа. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 годах определены задачи, включая «... укрепление макроэкономической стабильности и сохранение высоких темпов роста экономики, повышение ее конкурентоспособности, ... сокращение энергоёмкости и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий»<sup>2</sup>. Выполнение данных задач, в частности разработка технологий многокомпонентного термодиффузионного легирования пористо-проницаемых материалов на основе порошка железа с целью повышения эксплуатационных свойств является одной из важных задач.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», в Постановлениях № ПП-

---

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

2698 от 26 декабря 2016 года «О мерах по дальнейшей реализации перспективных проектов локализации производства готовых видов продукции, комплектующих изделий и материалов на 2017-2019 годы», № ПП-3117 от 7 июля 2017 года «О мерах по дальнейшему развитию научно-технической базы в сфере сельскохозяйственного машиностроения», № ПП-3682 от 27 апреля 2018 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

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

**Степень изученности проблемы.** В мировой практике проблемы создания технологий получения пористо-проницаемых материалов на основе порошка железа и исследований их свойств рассмотрены в научно-исследовательских работах ряда ученых, таких как M. V. Karpets, W.B. James, K.S. Narasimhan, H. Danningер P. Beiss, J.F. Isaza P.N. Sharma, K. Kumar, W. D. Callister, Jr. David, J.H. Kong, H. Ovgri, E. Ohaukwu B.C. Пугин, А.П. Корниенко, Н.П. Павленко, О.Д. Буссель П.А.Витязь, В.М.Капцевич, В.К.Шелег, И.М.Федорченко, В.Н.Ерменко, Г.С. Писаренко, И.Д. Радомысльский, Б.Ф. Шибряев и другие. В этих научно-исследовательских работах рассмотрены технологические способы получения пористо-проницаемых материалов на основе порошка железа и влияние их на физико-механические и эксплуатационные свойства.

Научно-исследовательские работы ряда ученых, таких как R, Anthony, R. W. Solid, P. Hofmann. J. A. Hamill, Jr. Welding, A. Benoit, P. Cavaliere, A. I. Katsamas, M. Keddam, J. H. Kong, S. J.B. Kurz, B. Tolaminejad, J.K. Dennis, T.E. Such, Чумак-жунь Д. А., и другие посвящены применению технологических приемов химико-термической обработки: цементации, азотированию, цианированию, хромированию, алитированию и силицированию железных порошковых материалов, а также исследованию влияния применяемых насыщающих составов и технологических процессов на структурно-фазовый состав, пористо-структурные, физико-механические и эксплуатационные свойства материала.

Над повышением физико-механических и эксплуатационных свойств железных порошковых материалов с термодиффузионным легированием одним и двумя элементами вели научно-исследовательские работы Пугин В.С., Бруссьелар О. Д., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Чейлях А.П., и другие. В этих научных работах недостаточно изучены вопросы по исследованию влияния составов насыщающих смесей, а также технологических возможностей процесса термодиффузионного легирования газо-фазным методом.

**Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.**

Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планами научно-исследовательских работ Ташкентского государственного технического университета в рамках проектов по темам №18/08-2842/09–«Изготовление коррозионно стойких фильтров для очистки технической воды» (2008-2009), №14/09–«Изготовление жаростойких металлокерамических фильтров для воздушных компрессоров» (2009-2010).

**Цель исследования** состоит в разработке технологий термодиффузионного легирования пористо-проницаемых материалов на основе порошка железа хромом, кремнием и алюминием позволяющих эффективно повышать их физико-механические и эксплуатационные свойства.

**Задачи исследования:**

установление влияния технологических режимов (температура, время и активирующая среда) многокомпонентного термодиффузионного легирования хромом, кремнием и алюминием на пористо-структурные свойства проницаемых материалов на основе порошка железа;

установление влияния состава многокомпонентной насыщающей смеси на структурно-фазовый состав, физико-механические и эксплуатационные свойства пористо-проницаемых материалов на основе порошка железа при термодиффузионном легировании;

разработки насыщающей смеси и технологий термодиффузионного легирования хромом, кремнием и алюминием для повышения физико-механических и эксплуатационных свойств пористо проницаемых материалов на основе порошка железа;

полученные на основе проведенных исследований пористо-проницаемые материалы применять в отраслях металлургии, добычи и переработки нефти и газа, а также определять технико-экономические показатели их применения.

**Объектом исследования** являются пористо-проницаемые материалы на основе порошка железа, очищающие нагретые газо-воздушные потоки от различных частиц размеров 10 мкм и выше, прокатная окалина, порошки железа, хрома, алюминия, ферросилиция, оксида алюминия и активирующего вещества.

**Предметом исследования** являются спеченные и прессованные пористо проницаемые материалы на основе порошка железа с оптимальным содержанием легирующих элементов хрома, кремния и алюминия, а также технология многокомпонентного термодиффузионного легирования.

**Методы исследований.** Применены современные теоретические и практические методы исследований легированных пористо-проницаемых порошковых материалов (макро- и микро, рентгеноструктурный и другие виды анализов), стандартные методы исследований использованы при определении их физико-механических и эксплуатационных свойств.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

определено влияние технологических параметров многокомпонентного термодиффузионного легирования на пористо-структурные свойства

проницаемого материала на основе порошка железа;

установлены зависимости формирования структурно-фазового состава и распределения легирующих элементов в пористо-проницаемом материале на основе порошка железа от содержания порошков хрома, ферросилиция, алюминия и оксида алюминия в насыщающей смеси;

установлено влияние содержания порошков хрома, ферросилиция, алюминия и оксида алюминия на физико-механические и эксплуатационные свойства пористо-проницаемого материала на основе порошка железа в процессе термодиффузионного легирования;

разработана технология термодиффузионного легирования и новые составы насыщающих смесей для повышения физико-механических и эксплуатационных свойств пористо-проницаемых материалов на основе порошка железа.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработаны коррозионно-стойкие фильтры для очистки технических вод металлургических предприятий от различных частиц с размером до 25 мкм и ниже;

разработаны жаростойкие фильтры для очистки от различных частиц размером до 10 мкм и ниже в нагретых до температуры 300°C газоз-воздушных потоков, используемых в процессе добычи и переработки нефти, газа;

разработана технология получения порошков железа из железосодержащих отходов металлургических производств;

разработана технология, позволяющая сокращать энергетические затраты производства при получении пористо проницаемых материалов на основе порошка железа на 17-20%.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность результатов исследования обусловлена совпадением результатов решения конкретных задач, в которых показано хорошее совпадение результатов полученных экспериментальным путем при исследовании физико-механических и эксплуатационных свойств с результатами, полученными физико-математическими решениями, а также при сопоставлении результатов экспериментальных данных с результатами макро- и микроструктурного анализа образцов легированных пористо-проницаемых материалов на основе порошка железа.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследований обусловлена в установлении влияния содержания порошков хрома, ферросилиция, алюминия и оксида алюминия на формирование структурно-фазового состава и распределение легирующих элементов в пористо-проницаемом материале на основе порошка железа при процессе термодиффузионного легирования.

Практическая значимость исследований обусловлена разработкой состава насыщающей смеси и технологий термодиффузионного легирования пористо-проницаемых материалов на основе порошка железа хромом,

кремнием и алюминием, позволяющая повышать их физико-механические и эксплуатационные свойства.

**Внедрение результатов исследования.** На основании полученных результатов по изготовлению и разработке технологии термодиффузионного легирования хромом, кремнием и алюминием пористо проницаемых материалов на основе порошка железа были разработаны:

составы насыщающих смесей для термодиффузионного легирования которые внедрены в УДП «Мубарекнефтегаз» (справка №02/07-2372ж АО «Узнефтегаздобыча» от 18 октября 2018 года). В процессе внедрения появилась возможность производить высоколегированные пористо проницаемые материалы на основе порошков железа;

технология термодиффузионного легирования со спеканием пористо проницаемых материалов на основе порошка железа внедрена в УДП «Мубарекнефтегаз» (справка №02/07-2372ж АО «Узнефтегаздобыча» от 18 октября 2018 года). При внедрении энергетические затраты на производстве сократились на 17-20%;

технология получения порошков железа из железосодержащих отходов внедрена в УДП «Мубарекнефтегаз» (справка №02/07-2372ж АО «Узнефтегаздобыча» от 18 октября 2018 года). Внедрение снизило капитальные затраты на изготовление пористо-проницаемых материалов на 22-27%.

технология многокомпонентного термодиффузионного легирования газо-фазным методом пористо-проницаемых материалов на основе железа внедрена в ДП «Мубарекнефтегаз» (справка №02/07-2372ж АО «Узнефтегаздобыча» от 18 октября 2018 года). Внедрение позволило повысить коррозионную стойкость пористо-проницаемых материалов на основе железа на 13-15%, жаростойкость -на 10-12%, жаропрочность -на 15-17%.

**Апробация результатов исследования.** Основные положения диссертации докладывались и получили одобрение на 5-ти международных и 3-х республиканских конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано всего 14 научных работ, в том числе 1 статья в зарубежном журнале, 3 статьи в журналах, рекомендованных к опубликованию основных научных результатов докторских диссертаций ВАК Республики Узбекистан (республиканские журналы).

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

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обоснованы актуальность и востребованность исследования, сформулированы цели и задачи исследования, охарактеризованы объект и предмет исследования, определено соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологии республики, изложены

научная новизна и практические результаты, раскрыты научная и практическая значимость полученных результатов, обоснована надежность полученных результатов, приведены основные результаты внедрения исследовательских работ и апробации, также приведены сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Современное состояние проблем создания пористо-проницаемых материалов»** проведен анализ предъявляемых требований к пористо-проницаемым материалам, изготавливаемым из порошков различных металлов и сплавов, областям их применения, недостаткам и достоинствам, свойствам порошкового сырья, используемого в производстве, а также, современное состояние проблем по их созданию.

Показано, что с целью упрощения технологических процессов производства коррозионноустойчивых, жаропрочных и жаростойких порошковых материалов на основе порошка железа целесообразно отказаться от непосредственного использования в качестве сырья предварительно легированных порошков железа. Доказана целесообразность введения Cr, Al, Ti, Si и других, с ними схожих, легирующих элементов в порошковый-пористо проницаемый материал на основе железа путем их термодиффузионного легирования в процессе спекания. Кроме этого, в 1-ой главе изучены и проанализированы проведенные исследовательские работы зарубежных и республиканских ученых в области технологии получения термодиффузионных легированных пористо-проницаемых материалов на основе порошка железа.

Во второй главе диссертации **«Выбор объектов и методология исследования свойств пористо-проницаемых материалов на основе порошка железа»** приведены выбор объекта исследования, разработка сырьевой базы для получения порошков железа, основные свойства используемых порошковых компонентов насыщающей смеси, а также представлены сведения по использованию современных методов и аппаратуры для исследования свойств пористо-проницаемых материалов.

В качестве сырьевой базой для получения порошков железа выбрана прокатная окалина АО «Узметкомбинат». Рентгеноструктурным (ДРОН-3М) анализом установлена пригодность прокатной окалины для производства порошков железа, структурно-фазовый состав которой состоит в основном из 80% FeO (вюстит), 15% Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (магнетит), 5%  $\gamma$  – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (маггемит) и не имеет трудно восстанавливаемых металлических оксидов.

Рентгено-флуоресцентным анализом химического состава порошка железа, созданного методом восстановления водородом прокатной окалины установлено, что полученный порошок железа пригоден для производства пористо-проницаемых материалов на его основе.

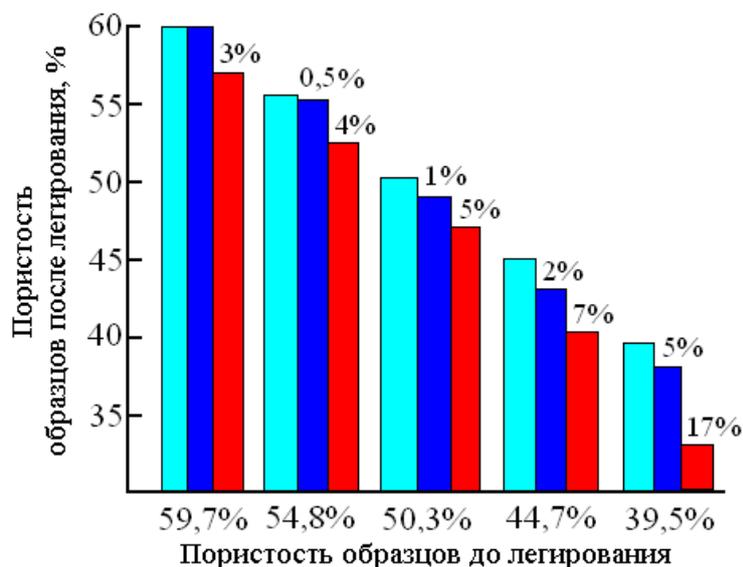
В диссертационной работе применены современные теоретические и экспериментальные методы исследования: структурно-фазовый состав термодиффузионного легированного слоя образцов пористо-проницаемого материала, изготовленного из порошка железа на дифрактометре ДРОН-3М

(НПО «Буревестник»), макро- и микроструктура на микроскопах МИМ-8, «Неофот-21» а также на макроустановках марки МБС-9.

Показано, что применяемые методы для определения коррозионной стойкости плотных (литье, поковка, прокат) материалов относительно определения коррозионной стойкости пористо-проницаемых материалов приводят к получению ряда неточных результатов. Разработан метод и установка для определения коррозионной стойкости пористо-проницаемых материалов изменением их удельного электросопротивления.

Третья глава диссертации «**Влияние технологических режимов термодиффузионного легирования с многокомпонентной насыщающей смесью на структуру железного порошкового пористо-проницаемого материала**» посвящена результатам исследований: разработке технологии получения порошков железа из прокатной окалины, получению образцов железных порошковых пористо-проницаемых материалов, разработке технологического процесса их термодиффузионного легирования в многокомпонентной смеси контактным и газофазным методом, исследованию влияния технологического процесса термодиффузионного легирования спеченных и спеченных с термодиффузионным легированием образцов на пористо-структурные свойства.

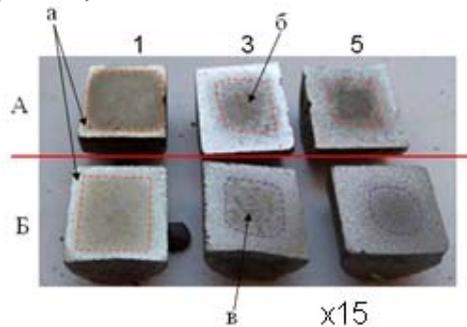
Проведенные исследования показали, что в результате неравномерного и бурного выделения легирующей газовой фазы из насыщающей смеси в процессе термодиффузионного легирования контактным методом пористость пористо-проницаемого материала снижается. Процесс снижения пористости происходит в зависимости от исходной пористости материала (рис. 1).



■ – пористость образцов до легирования; ■ – пористость образцов после газофазного метода легирования; ■ – пористость образцов после контактного метода легирования

Рис. 1. Влияние методов термодиффузионного легирования на пористость спеченных образцов

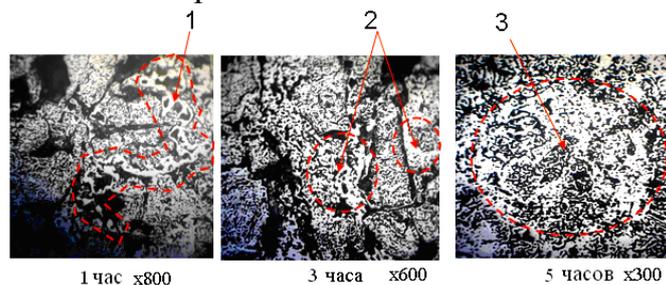
Было выявлено, что при контактном методе термодиффузионного легирования спеченных железных порошковых пористо-проницаемых материалов в многокомпонентной насыщающей смеси из-за ограниченного объема активирующего компонента в насыщающей смеси толщина легированного слоя в пористо проницаемом материале не может превышать 3...3,5 мм. Также выявлено, что, при газофазном методе термодиффузионного легирования спеченных железных порошковых пористо проницаемых материалов в многокомпонентной насыщающей смеси из-за разности давления между газовой фазой внутри контейнера и внутренних поровых каналах пористого материала толщина легированного слоя не может превышать 4,5...5 мм. (рис. 2).



**а – легированная; б – не легированная; в – легированные и не легированные смешанные зоны**

**Рис. 2. Макроструктура образцов, прошедших термодиффузионное легирование (А) контактным, (б) газофазным методами в течение 1, 3, 5 часов**

Исследования процесса спекания показала что, при проведении спекания с термодиффузионным легированием газофазным методом процессы легирования и спекания частиц порошка происходит одновременно (рис. 3). В результате этого процесс термодиффузионного легирования газофазным методом совместно со спеканием не оказывает влияния на пористость полученного материала.



**1 – часовая выдержка; 2 – трехчасовая выдержка; 3 – пятичасовая выдержка**

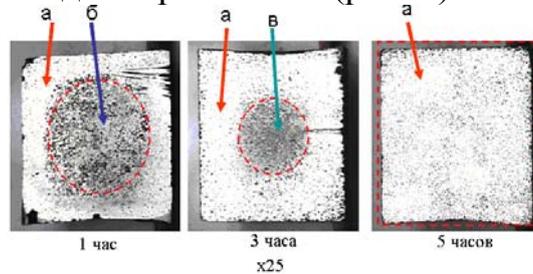
**Рис. 3. Микроструктура образцов прошедших термодиффузионное легирование газо-фазным методом со спеканием при различном времени выдержки**

Проведение процесса термодиффузионного легирования газо-фазным методом со спеканием не оказывает влияния на проницаемость материала. Это подтверждает достоверность полученных экспериментальных данных при исследовании термодиффузионного легирования совместно со спеканием на их пористость.

Для определения влияния времени процесса термодиффузионного

легирования газофазным методом совместно со спеканием на толщину легирования был проведен макроструктурный анализ образцов, прошедших данную обработку в течение 1, 2, 3, 4, 5 часов.

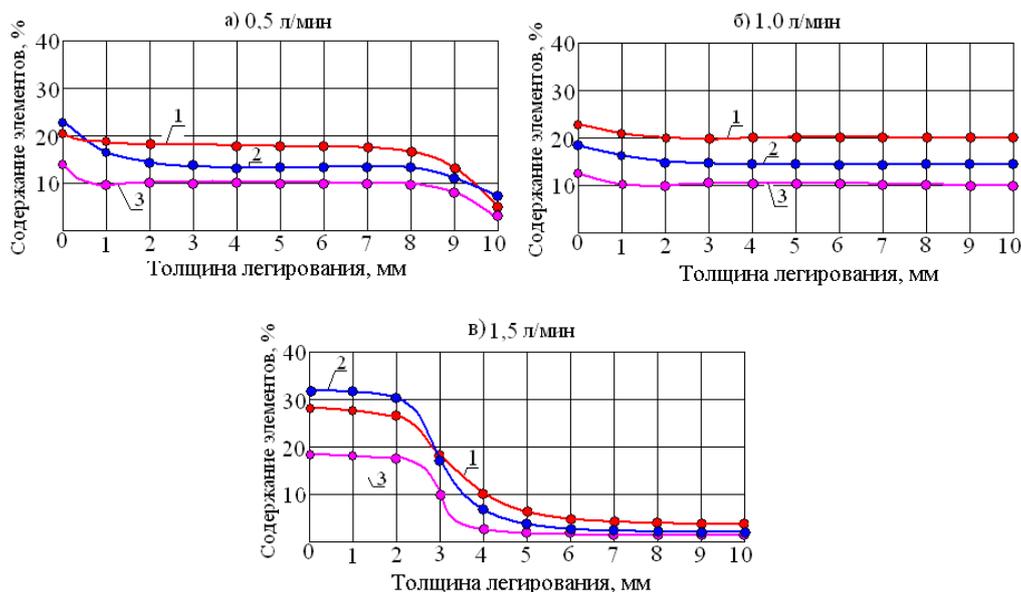
Макроструктурный анализ показал, что термодиффузионное легирование газофазным методом совместно со спеканием в течение 5 часов обеспечивает сквозное легирование железного порошкового пористо-проницаемого материала диаметром 20 мм (рис. 4).



а – легированная зона, б – не спеченная зона; в – не легированная зона

Рис. 4. Макроструктура образцов, прошедших термодиффузионное легирование газофазным методом со спеканием при различном времени выдержки

Для исследования распределения содержания легирующих элементов в исследуемых образцах, полученных путем термодиффузионного легирования со спеканием, был проведен послойный химический анализ образцов рентгено-флуоресцентным методом на установке ED-2000 OX FORD (Англия) с точностью до 1%. Образцы получали путем подачи различного количества 0,5, 1,0, 1,5 л/мин активирующей газовой смеси из газовой камеры в контейнер. В качестве активатора использовали газовую смесь  $N_2$ ,  $H_2$ ,  $HCl$  являющуюся продуктам распада вещества  $NH_4Cl$  (рис. 5).



1 – распределение хрома; 2 – распределение алюминия; 3 – распределение кремния  
Рис. 5. Распределение легирующих элементов по толщине легированного слоя при различной подаче активатора (а – 0,5 л/мин, б – 1,0 л/мин, в – 1,5 л/мин)

Выявлено, что при подаче активирующей среды в количестве 0,5 л/мин из газовой камеры в контейнер, где осуществляется процесс, легирующие элементы равномерно распределяются в количестве 17%Cr, 15%Al и 10%Si

до 8 мм материала. При увеличении подачи активирующей среды от 0,5 л/мин до 1,0 л/мин происходит равномерное распределение легирующих элементов в количестве 20%Cr, 15%Al и 10%Si до 10 мм толщины материала. А при увеличении подачи активирующей среды от 1,0 л/мин до 1,5 л/мин происходит накопление легирующих элементов в поверхностном слое 2 мм в количестве 27%Cr, 32%Al и 16%Si. При этом в центральной части материала концентрация легирующих элементов снижается до 3%. Для обеспечения равномерного распределения содержания легирующих элементов на толщину 20 мм при термодиффузионном легировании газофазным методом с насыщающей смесью составом 30%X99+15%ФС75 +15%ПАП-1+40%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> подача активирующей среды должна быть 1,0 л/мин.

Четвертая глава диссертации **«Исследование влияния технологического процесса термодиффузионного легирования с многокомпонентной насыщающей смесью на эксплуатационные свойства железного порошкового пористо-проницаемого материала»** посвящена исследованию влияния многокомпонентной насыщающей смеси на формирование структурно-фазового состава, распределения легирующих элементов по сечению материала, механическим и эксплуатационным свойствам железного порошкового пористо проницаемого материала.

Влияние состава многокомпонентной насыщающей смеси на формирование структурно-фазового состава материала при термодиффузионном легировании газофазным методом совместно со спеканием исследовали путем шагового сканирования (1 мм) образцов на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3М. Образцы получали путем термодиффузионного легирования газофазным методом со спеканием насыщающей смеси с различным содержанием порошков хрома, алюминия, ферросилиция и оксида алюминия при подаче 1,0 л/мин активирующей среды в контейнер.

При различном содержании порошка ферросилиция (от 5% до 20% ФС75) и постоянном содержании порошка хрома (35%X99) и алюминия (5%ПАП-1) в насыщающей смеси в материале образуется гомогенная структура, состоящая из твердого раствора замещения хрома в  $\alpha$  – железе.

При увеличении содержания порошка ферросилиция в насыщающей смеси от 20% до 25% структура материала становится гетерогенной, то есть становится двухфазной, состоящей из твердого раствора замещения хрома в  $\alpha$  – железе и упорядоченных фаз внедрения (Fe, Cr)<sub>3</sub>Si.

Для получения гомогенной структуры у легированных хромом, кремнием и алюминием железного порошкового пористо проницаемого материала, содержание порошка ферросилиция в смеси должно находиться в пределах 15...20%.

При переменном содержании порошка алюминия (от 8% до 15% ПАП-1) и постоянном содержании порошка хрома (35%X99) и ферросилиция (15%ФС) в насыщающей смеси в материале образуется гомогенная структура, состоящая из твердого раствора замещения хрома в  $\alpha$  – железе.

При увеличении содержания порошка алюминия в насыщающей смеси от 15% до 18%, структура материала становится гетерогенной. В этом случае структура материала становится трехфазной, состоящей из твердого раствора замещения хрома в  $\alpha$  – железе и упорядоченных фаз внедрения  $\text{Fe}_3\text{Al}$  и  $\text{FeAl}$ .

Для получения легированного хромом, кремнием и алюминием железного порошкового пористо-проницаемого материала с гомогенной структурой, содержание порошка алюминия в многокомпонентной смеси должно находиться в пределах 8...15%.

Известно, что при легировании железа хромом образуется непрерывный ряд твердых растворов замещения. Это объясняется небольшим различием в размерах атомов ( $r_{\text{Fe}}=2,56\text{\AA}$ ;  $r_{\text{Cr}}=2,52\text{\AA}$ ). С увеличением процентного содержания хрома в железе наблюдается увеличение параметров решётки кристаллической ячейки твердого раствора  $\alpha$  – Fe. Хром понижает точку  $A_4$  в его сплавах с железом, образуя замкнутую  $\gamma$  – область с предельной растворимостью хрома 12,8% при температуре 1150°C. При содержании хрома около 45% и температуре ниже 820°C образуется химическое соединение  $\sigma$  – фаза.

Полученные данные (рис. 5) указывают, что даже при содержании в насыщающей смеси около 50% порошка хрома, его количество в материале не может превышать 30...35%. Из этого следует, что при содержании порошков ферросилиция (10..20%ФС), алюминия (8..15%ПАП-1) и оксида алюминия 30% содержание порошка хрома (99Х) в насыщающей смеси должно быть около 42...45%.

Влияние состава насыщающей смеси на механические свойства материала исследовали путем испытания образцов на прочность, твердость, ударную вязкость и относительное удлинение. Исследуемые образцы получали путем термодиффузионного легирования газовой фазой методом со спеканием насыщающей смеси при различном содержании порошков хрома, алюминия, ферросилиция и оксида алюминия при подаче 1,0 л/мин активирующей среды в контейнер.

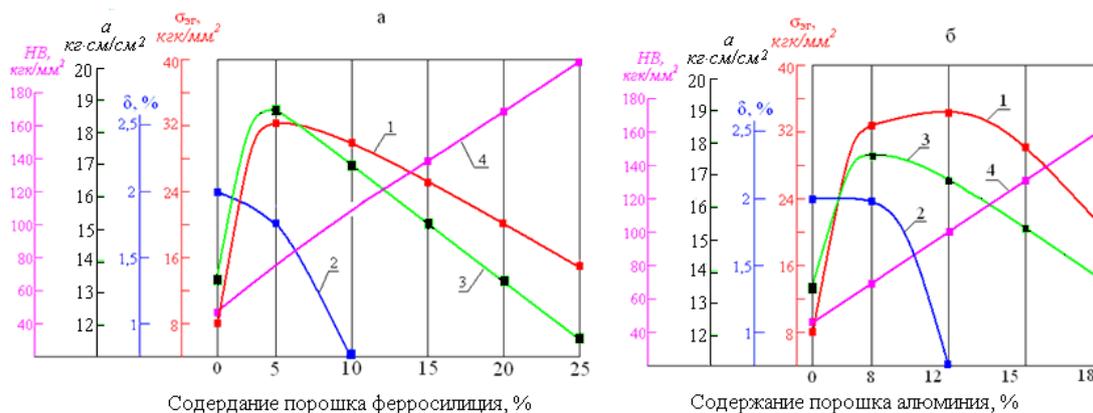
Механические свойства железного пористо-проницаемого материала определялись в зависимости от содержания порошка ферросилиция (от 5% до 25% ФС75) и постоянном содержании порошка хрома (35%Х99), и алюминия (5%ПАП-1) в насыщающей смеси (рис. 6, а).

Анализом результатов механических испытаний образцов установлено, что для обеспечения необходимого уровня механических свойств железных порошковых пористо-проницаемых материалов содержание порошка ферросилиция (ФС75) в многокомпонентной смеси должно находиться в пределах 10...20%.

Были определены механические свойства железного пористо-проницаемого материала при постоянном содержании порошка алюминия (от 8% до 18% ПАП-1) и постоянном содержании порошка хрома (35%Х99), и порошка ферросилиция (15%ФС75) в насыщающей смеси (рис. 6, б).

Механические испытания образцов показали, что для обеспечения

необходимого уровня механических свойств железных порошковых пористо-проницаемых материалов содержание порошка алюминия (ПАП-1) в многокомпонентной смеси должно находиться в пределах 8...15%.



1 – предел прочности на изгиб; 2 – относительное удлинение; 3 – ударная вязкость; 4 – твердость

**Рис. 6. Влияние содержания в насыщающей смеси порошков ферросилиция (а), алюминия (б) на механические свойства образцов**

По результатам выше проведенных исследований можно сделать вывод, что наиболее эффективными насыщающими смесями являются составы:

1. 42%Х99+20%ФС75+8%ПАП-1+30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;
2. 45%Х99+10%ФС75+15%ПАП-1+ 30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Для определения влияния разработанных составов насыщающих смесей на коррозионную стойкость железных порошковых пористо проницаемых материалов были проведены соответствующие испытания образцов прошедших термодиффузионное легирование газовой фазой методом со спеканием.

Испытания коррозионной стойкости проводили путем фильтрации различных агрессивных сред через пористо-проницаемый образец измерением их электросопротивления. По найденным значениям электросопротивления материала находили уменьшение относительной величины межчастичных контактов. Исходя из допустимой относительной величины межчастичных контактов, оценивали возможный рабочий ресурс (N) пористо-проницаемого материала в испытываемых средах по следующей формуле:

$$N = \frac{\Delta_{\text{дop}} \cdot t_i}{\Delta}, \quad (1)$$

где  $\Delta_{\text{дop}}$  – допустимое значение относительной величины межчастичных контактов;

$t_i$  – время испытания, час;

$\Delta$  – уменьшение относительной величины межчастичных контактов во время испытания.

Материалы, полученные путем термодиффузионного легирования газофазным методом в составе насыщающей смеси 42%Х99+20%ФС75+8%ПАП-1+30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, показали возможность получения рабочего ресурса до 20 000 часов в 20%-ных HCl, 50%H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 20%HNO<sub>3</sub> водных растворах и 30 000-ом часовом рабочем ресурсе в 20%KOH, 10%NaOH, 3%NaCl водных растворах.

Материалы, полученные путем термодиффузионного легирования газофазным методом в составе насыщающей смеси 45%Х99+10%ФК75+15%ПАП-1+30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> показали возможность получения рабочего ресурса 10 000 часов в 50%H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 20%HNO<sub>3</sub> водных растворов. А при испытании материала данного состава в 20%HCl, 20%KOH, 10%NaOH, 3%NaCl водных растворах было установлено полное отсутствие коррозионной стойкости.

Для определения влияния разработанных составов насыщающих смесей на жаростойкость железных порошковых пористо-проницаемых материалов были проведены испытания на жаростойкость образцов, прошедших термодиффузионное легирование газофазным методом со спеканием.

Испытания на жаростойкость проводили путем нагрева образцов до 1000 и 1100°C в воздушной атмосфере в течение 72 часов. Жаростойкость испытуемых образцов оценивали исходя из изменения их массы за время испытания (рис. 7).

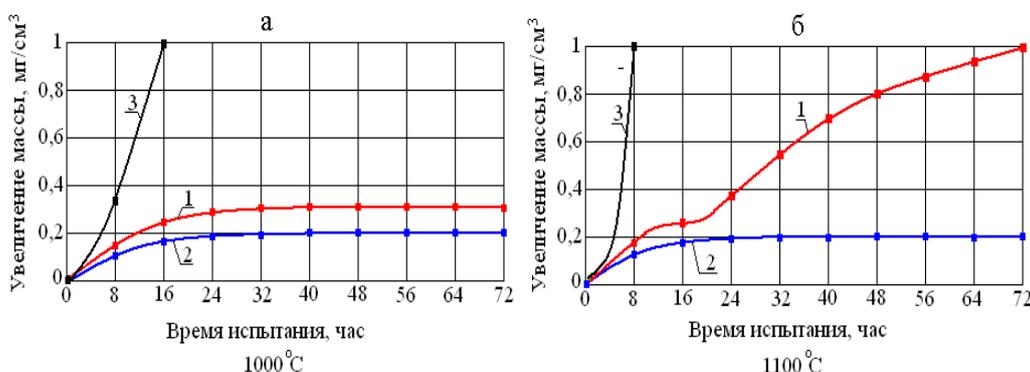
Рабочий ресурс (N) пористо-проницаемого материала в испытуемых температурах определяли по формуле:

$$N = \frac{m_{\text{доп}} \cdot t_i}{\Delta m} \quad (2)$$

где  $m_{\text{доп}}$  – допустимое значение изменения массы пористо-проницаемого материала,  $\text{мг}/\text{см}^3$ ;

$t_i$  – время испытания, *час*;

$\Delta m$  – значение изменения массы пористо-проницаемого материала во время испытания,  $\text{мг}/\text{см}^3$



1 – насыщающей состав 42%Х99+20%ФС75+ 8%ПАП-1+ 30 %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;  
2 – насыщающей состав 45%Х99+ +10%ФС75+15%ПАП-1+30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 3 – эталон  
(образец на легированный образец)

Рис.7. Изменение массы образцов в зависимости от времени испытаний на жаростойкость при температурах (а – 1000°C, б – 1100°C)

Материалы, полученные путем термодиффузионного легирования газо-фазным методом в составе насыщающей смеси 42%Х99+20%ФС75+8%ПАП-1+30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, показали возможность получения рабочего ресурса до 180 000 часов для температуры 1000°C и 42 000 часов для 1100°C.

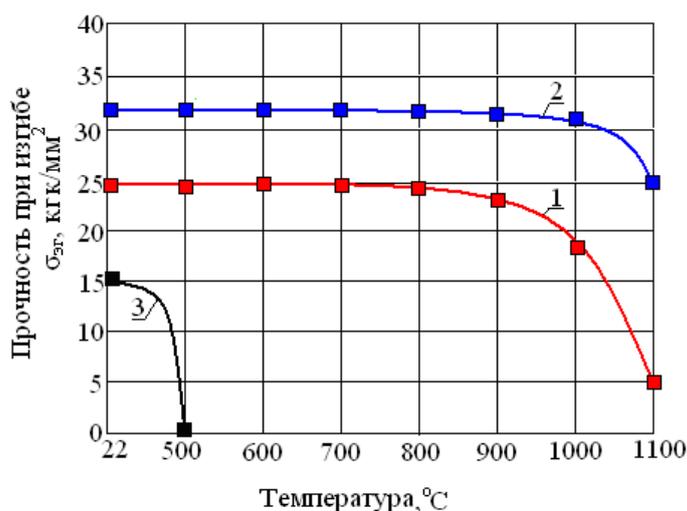
Материалы, полученные путем термодиффузионного легирования газо-фазным методом в составе насыщающей смеси 45%Х99+10%ФС75+15%ПАП-1+30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> показали возможность получения рабочего ресурса 180 000 часов для температур 1000 и 1100°C.

Влияние разработанных составов насыщающих смесей на жаропрочность железных порошковых пористо-проницаемых материалов определяли путем специальных испытаний образцов, прошедших термодиффузионное легирование газофазным методом со спеканием.

Испытания на жаропрочность проводили путем нагрева образцов при температурах 500, 600, 700, 800, 900, 1000 и 1100 °С в воздушной атмосфере в печах с силитовыми нагревателями. Жаропрочность испытуемых образцов оценивали исходя из изменения их прочности на изгиб в нагретом состоянии (рис. 8).

Результаты испытаний показали, что материалы, полученные путем термодиффузионного легирования газо-фазным методом в составе насыщающей смеси 42%Х99+20%ФС75+8%ПАП-1+30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, жаропрочны до 1000°C. Прочность образцов на изгиб после нагрева до температуры 1000 °С составила 19 кг/мм<sup>2</sup>.

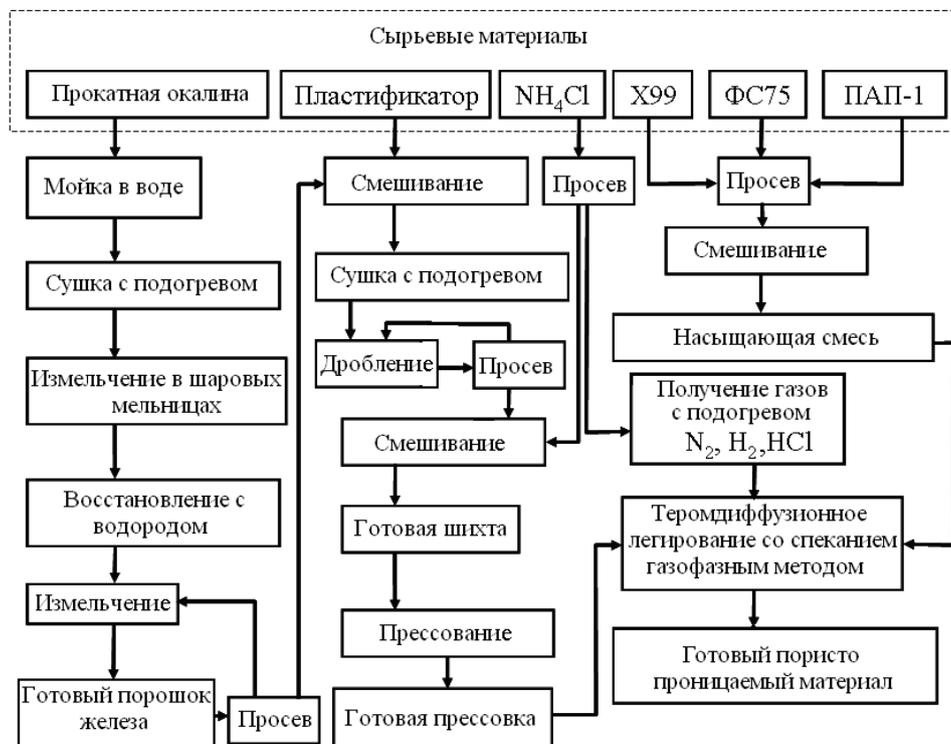
Материалы, полученные путем термодиффузионного легирования газо-фазным методом в составе насыщающей смеси 45%Х99+10%ФС75+15%ПАП-1+30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, жаропрочны до 1100°C. Прочность образцов на изгиб после нагрева до температуры 1100°C составила 25 кг/мм<sup>2</sup>.



1 – 42%Х99+20%ФС75 +8%ПАП-1+ 30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 2 – 45%Х99+ 10%ФС75+ 15%ПАП-1+30 %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 3 – эталон (нелегированный образец)

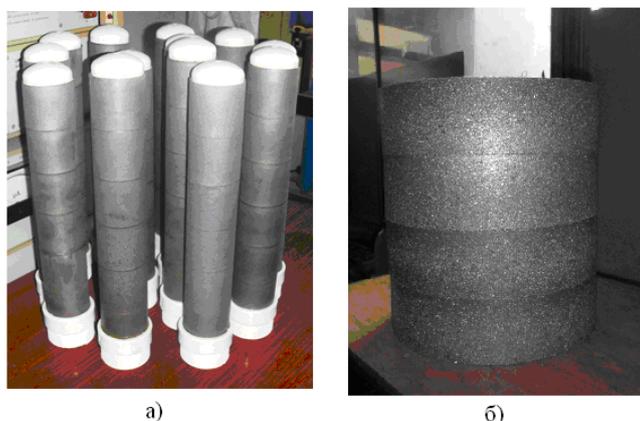
Рис. 8. Влияние температуры испытаний на прочность образцов, полученных термодиффузионным легированием в насыщающей составах

По результатам проведенных исследований была разработана технология получения коррозионностойких, жаростойких и жаропрочных пористо-проницаемых материалов на основе порошка железа путем термодиффузионного легирования со спеканием в разработанных многокомпонентных насыщающих смесях (рис. 9).



**Рис. 9. Технологическая схема получения пористо-проницаемых материалов на основе порошка железа, легированных хромом, кремнием и алюминием**

На основе разработанной технологии термодиффузионного легирования газофазным методом со спеканием были изготовлены фильтры для очистки технической воды в АО «Узметкомбинате» от различных частиц с размерами менее 25 мкм и фильтры для очистки нагретых газо-воздушных ГДП «Мубарекнефтегаз» от различных абразивных частиц размерами до 10 мкм (Рис. 10).



**а – фильтры для очистки технической воды;  
б - фильтр для очистки газо-воздушных потоков  
Рис.10. Общий вид фильтров**

Фильтры для АО «Узметкомбинат» были изготовлены из пористо-проницаемого материала на основе порошка железа, прошедшего многокомпонентное термодиффузионное легирование газовой фазой методом со спеканием. В результате работы фильтров была произведена полная очистка технической воды от частиц размерами 25 мкм и ниже (табл. 1). При этом материалы показали высокую коррозионную стойкость в технических водах АО «Узметкомбинат».

Таблица 1

**Анализ технической воды до и после очистки фильтрами**

Водохранилище №1	Распределение частиц по размерам, мг/м <sup>3</sup>			
	до 100 мкм	100...50 мкм	50...25 мкм	25 мкм и менее
Частицы	3,71	2,24	0,98	0,07
	0	0	0	0,02

Фильтры для очистки нагретых до 300°С газо-воздушных потоков ГПУ «Мубарекнефтегаз» были изготовлены из пористо-проницаемых материалов на основе порошка железа, прошедших термодиффузионное легирование газовой фазой методом со спеканием. Результат работы фильтров – полная очистка газо-воздушных потоков от абразивных частиц размером 10 мкм и менее (табл. 2). При этом материалы показали высокую жаростойкость к нагретым газо-воздушным потокам ГПУ «Мубарекнефтегаз».

Таблица 2

**Анализ газо-воздушного потока до и после очистки фильтрами**

Температура потока, °С	Распределение частиц по размерам, мг/м <sup>3</sup>				
	Конденсат	до 50 мкм	50...25 мкм	25...10 мкм	10 мкм и менее
200...300	~ 1	0,02	2,2	2,75	0,05
	0	0	0	0	~0,01

Экономический эффект от внедрения пористо-проницаемых материалов в качестве фильтра для очистки нагретых газо-воздушных потоков ГПУ «Мубарекнефтегаз» составил 169,44 млн. сумов в год.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований по диссертационной работе доктора философии (PhD) на тему «Многокомпонентное термодиффузионное легирование пористо-проницаемых материалов на основе порошка железа с целью повышения эксплуатационных свойств» сформулированы следующие выводы:

1. Установлено, что термодиффузионное легирование спеченных железных порошковых пористо-проницаемых материалов контактным методом приводит к закрытию поровых каналов, поэтому глубина легированного слоя не может превышать 3...3,5 мм. Этот метод играет важную роль в перспективе термодиффузионного легирования пористо-проницаемых материалов контактным методом с толщиной стенки 3...4 мм.

2. Определено, что при газофазном методе многокомпонентного термодиффузионного легирования спеченных пористо-проницаемых материалов на основе порошка железа, глубина легированного слоя не может превышать 4,5...5 мм. На основе этих данных можно легировать пористо-проницаемые материалы на основе порошка железа с толщиной стенки менее 5 мм.

3. Установлено, что термодиффузионное легирование газофазным методом со спеканием в многокомпонентной смеси не влияет на: заданную пористость, размеры диаметров поровых каналов, проницаемость железных порошковых пористо-проницаемых материалов. Этот метод позволяет производить железные порошковые пористо-проницаемые материалы с толщиной 12 мм.

4. Установлена зависимость формирования структурно-фазового состава, распределения легирующих элементов, механических и эксплуатационных свойств железных порошковых пористо-проницаемых материалов от содержания порошков хрома, ферросилиция, алюминия и оксида алюминия в составе насыщающей смеси. На основании этих данных можно прогнозировать физико-механические и эксплуатационные свойства термодиффузионных легированных пористо-проницаемых материалов на основе порошка железа.

5. Разработана технология многокомпонентного термодиффузионного легирования газофазным методом совместно со спеканием железных порошковых пористо-проницаемых материалов и насыщающих смесей следующих составов:

1. 42%Х99+20%ФС75+8%ПАП-1+30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;

2. 45%Х99+10%ФС75+15%ПАП-1+ 30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

6. Установлено, что разработанная технология многокомпонентного термодиффузионного легирования и насыщающая смесь с составом 42%Х99+20%ФС75+8%ПАП-1+30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> позволяют повысить коррозионную стойкость железных порошковых пористо-проницаемых материалов к растворам 20%-го HCl, 50%-го H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 20%-го HNO<sub>3</sub>, 20%-го KOH, 10%-го NaOH и 3%-го NaCl. Эти данные определяют перспективу использования пористо-проницаемых материалов на основе порошка железа в химической промышленности.

7. Установлено, что разработанная технология многокомпонентного термодиффузионного легирования и насыщающая смесь с составом

45%Х99+10%ФС75+15%ПАП-1+30%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> позволяют повысить жаростойкость и жаропрочность железных порошковых пористо-проницаемых материалов до 1100°С. Эти данные раскрывают перспективу использования пористо-проницаемых материалов на основе порошка железа в отраслях металлургии и теплоэнергетике.

8. Определены практические и экономические аспекты применения многокомпонетного термодиффузионного легирования и составов насыщающей смеси для повышения эксплуатационных свойств пористо-проницаемых материалов на основе порошка железа. В целом, все это является основой для организации промышленного производства пористо-проницаемых материалов на основе порошка железа.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES SCIENCES  
DSc.28.02.2018.T.03.04 UNDER TASHKENT STATE TECHNICAL  
UNIVERSITY AND THE NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN**  
**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY NAMED AFTER ISLAM  
KARIMOV**

**SHAKIROV SHUKHRAT MUSAEVICH**

**MULTICOMPONENT THERMO-DIFFUSION ALLOCATION OF  
POROUS-PERMEABLE MATERIALS ON THE BASIS OF IRON  
POWDER FOR THE IMPLEMENTATION OF OPERATIONAL  
PROPERTIES**

**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**

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY  
(PHD) ON TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent - 2018**

**The theme of doctoral dissertation (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2018.2.PhD/T619**

The doctoral dissertation is made in the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov.

The abstract of the dissertation is posted in two languages (Uzbek, Russian, English (abstract)) on the website (www.tdtu.uz) and on the Information and Educational Portal "ZiyoNet" on www.ziynet.uz.

**Scientific supervisor:**

**Norhudzhaev Fayzulla Ramazanovich**  
doctor of technical sciences, docent

**Official opponents:**

**Mikhudinov Riskidin Mikhridinovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Bekmirzaev Nurhon Khayitovich**  
Candidate of Technical Sciences, Associate  
Professor

**Leading organization:**

**Tashkent Institute of Railway Engineers**

The defense will take place «11» 12 2018 at 14<sup>00</sup> at the meeting of scientific council DSc.28.02.2018.T.03.04. at Tashkent State Technical University and National University of Uzbekistan located at 2, University street, Tashkent, 100095. Tel/fax No (99871) 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz.

The dissertation can be reviewed at the Information and Resource Center of Tashkent State University (registration number №65). (Address: 100095, Tashkent, st. University, 2. Tel/Fax: (99871) 246-46-00).

Abstract of dissertation sent out on «26» 11 2018 y.  
(mailing report №65 on «23» 11 2018 y).

**K.A.Karimov**  
Chairman of scientific council for  
awarding degree,  
doctor of technical sciences, professor

**N.D.Turakhodjayev**  
Scientific secretary of scientific council  
for awarding degree, doctor of technical sciences, professor

**R.M.Mikhridinov**  
/Chairman of scientific council seminar at the  
Scientific Council for the awarding academic degrees,  
doctor of technical sciences, professor

# DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) DISSERTATION ABSTRACT ON TECHNICAL SCIENCES

## Contents of the DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) Dissertation Abstract

### INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The aim of the research work is** to develop technologies for thermal diffusion-fusion doping of porous-permeable materials based on iron powder with chromium, silicon and aluminum, which allows them to effectively increase their physic-mechanical and performance properties.

**The tasks of research:**

establishing the influence of technological regimes (temperature, time and activating medium) of a multicomponent thermal diffusion doping with chromium, silicon and aluminum on the porous structural properties of permeable materials based on iron powder;

determination of the effect of the composition of a multicomponent saturating mixture on the structural-phase composition, physic-mechanical and operational properties of porous-permeable materials based on iron powder during thermal diffusion doping;

development of saturating mixture and technology of thermal diffusion doping with chromium, silicon and aluminum to enhance the physic-mechanical and performance properties of porous permeable materials based on iron powder;

obtaining on the basis of the studies carried out porous permeable materials applying in the industry of metallurgy, oil and gas extraction and processing, as well as to determine the technical and economic indicators of their application.

**The object of the research work** are porous-permeable materials based on iron powder cleaning heated gas-air streams from various particles of size 10 microns and above, mill scale, powders of iron, chromium, aluminum, ferrosilicon, aluminum oxide and an activating substance.

**Scientific novelty of the research work.** The scientific novelty of the research is as follows:

The influence of the technological parameters of a multicomponent thermal diffusion doping on the porous structural properties of permeable material based on iron powder is determined;

the dependences of the formation of the structural-phase composition and distribution of alloying elements in the porous permeable material based on iron powder on the content of chromium, ferrosilicon, aluminum and aluminum oxide powders in a saturating mixture;

the influence of the content of chromium, ferrosilicon, aluminum, and alumina powders on the physic-mechanical and operational properties of a porous permeable material based on iron powder during the thermal diffusion doping process was established;

the technology of thermal diffusion doping and new compositions of saturating mixtures have been developed to improve the physic-mechanical and

operational properties of porous permeable materials based on iron powder.

**The practical results of the study are as follows:**

corrosion resistant filters have been developed to clean industrial waters of metallurgical enterprises from various particles with sizes up to 25 microns and below;

heat-resistant filters have been developed to clean various particles up to 10 microns in size and lower in gas-air streams heated up to 300°C and used in the process of extracting and processing oil and gas;

a technology has been developed for producing iron powders from iron-containing metallurgical industries;

a technology has been developed that allows to reduce the energy costs of production in the production of porous permeable materials based on iron powder by 17-20%.

**The outline of the thesis.** The content of the thesis consists of an introduction, four chapters, conclusion, a list of literature. The volume of the thesis is 120 pages.

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

1. Shakirov Sh.M., Norkhodjaev F.R. “Scale resistance of Porous Permeable Materials based on iron after the thermo-diffusion saturation with Simultaneously Chromium and aluminum” European Science Review 1-2 Vienna 2018, pp 44-47. (05.00.00; №3).

2. Шакиров Ш.М., Хасанов Г.Ш. Получение опытных образцов композиционных металлокерамических материалов из прокатной окалины // Композиционные материалы, 2006. - №2. – С. 37-40. (05.00.00; №13).

3. Шакиров Ш.М. Исследование коррозионной стойкости композиционных фильтров, изготовленных на основе порошков хромоникелевых сталей// Композиционные материалы, 2006. №3. – С. 27-31. (05.00.00; №13).

4. Шакиров Ш.М., Исмаилов Х.А., Юсупов Ж.И. Композиционный материал на основе силицированного графита// Композиционные материалы, 2013. №1. – С. 38-39. (05.00.00; №13).

5. Шакиров Ш.М., Исмаилов Х.А. Исследование коррозионной стойкости// Материалы международного симпозиума «Достижения фундаментальной науки и образования, инновационные технологии». – Комсомольск-на-Амуре. 12-16 мая, 2015. –С. 192-194.

6. Шакиров Ш.М., Каримов Ш.А. Диффузионное хромирование пористо-проницаемых материалов, изготовленных на основе порошка железа// Материалы 14-Международной научно-практической конференции «Технология упрочнения, нанесение покрытий и ремонт»: в 2-х ч. Часть 1. – Санкт-Петербург, 2012 г. 17-20 апреля. Издательство политехн. университета.

7. Шакиров Ш.М., Каримов Ш.А. Диффузионное хромирование пористо-проницаемых материалов, изготовленных на основе порошка железа// Материалы международной научно-технической конференции «Современное материаловедение и нанотехнологии», – Комсомольск-на – Амуре, 2010, –С. 99-103.

8. Шакиров Ш.М., Каримов Ш.А., Даминов Л. Перспектива переработки производственных отходов// Материалы международного симпозиума «Достижения фундаментальной науки и образования, инновационные технологии». –Комсомольск-на-Амуре. 12-16 мая, 2015. –С. 195-197.

9. Байназаров Д.Х., Шакиров Ш.М., Абдураимов С.М. Металлокерамические фильтры для очистки газовой среды в технике// Сборник трудов IV международной научно-практической конференции. Т1, Саратов.– 22-25 октября, 2016. –С. 33-36.

10. Каримов Ш.А., Шакиров Ш.М., Махкамов Ж. Тормозные колодки на железной основе// III Международная научно-практическая конференция «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении»

посвященная 20-летию АО «Узавтосаноат», Андижан –19-21 апреля, 2016. – С. 275-277.

11. Каримов Ш.А., Шакиров Ш.М., Холмурадов Д. Металлокерамические фильтры для очистки газовой среды// Сборник материалов международной научно-технической конференции на тему: «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении», Андижан. 2014. –С. 51-54.

12. Норхужаев Ф.Р., Шакиров Ш.М. Ишлаб чиқаришда иссиқ ҳолда пресслаш усули билан ейилишга чидамли қопламалар қоплаш технологияси. – Тошкент, ТошДТУ, 2014. -74 бет.

13. Шакиров Ш.М., Каримов Ш.А., Нурматов Д.У. Износостойкость пористых графито-стеклянных материалов при трении без смазки// Сборник материалов международной научно-технической конференции на тему: «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении», Андижан. 2014. –С. 39-41.

14. Шакиров Ш.М., Умиров У. Порошок нитрида кремния для изготовления тиглей// Материалы V международной студенческой научно-практической конференции на тему «Техника и технология материаловедения», – Омск. 2016. –С. 416-420.

Автореферат «ТошДТУ хабарлари» илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус, инглиз (резюме) тилларидаги матнлар мослиги текширилди ( 22 .11. 2018 й).

Бичими 60x84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. «Times New Roman» гарнитураси. Офсет усулида босилди.  
Шартли босма табағи 3. Адади: 100. Буюртма: №31 .

«Тошкент кимё-технология институти» босмахонасида чоп этилди.  
100011, Тошкент, Навоий кўчаси, 32-уй.