

ИСЛОМ КАРИМОВ номидаги **ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА
УНИВЕРСИТЕТИ «ФАН ВА ТАРАҚҚИЁТ» ДАВЛАТ УНИТАР
КОРХОНАСИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ**
DSc27.06.2017. К/Т.03.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ИСЛОМ КАРИМОВ номидаги **ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА
УНИВЕРСИТЕТИ «ФАН ВА ТАРАҚҚИЁТ» ДАВЛАТ УНИТАР
КОРХОНАСИ**

ҚОДИРБЕКОВА ҚУТПИНИСА КАРИМОВНА

**ФИЗИК УСУЛДА ОЛИНАДИГАН КОМПОЗИЦИОН
НАНОТУЗИЛИШЛИ ҚОПЛАМАЛАРНИНГ САМАРАДОРЛИ
ТАРКИБИ ВА ОПТИМАЛ ТЕХНОЛОГИК РЕЖИМЛАРИНИ ИШЛАБ
ЧИҚИШ**

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

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент -2018

**Техника фанлари бўйича докторлик (DSc) диссертацияси автореферати
мундарижаси**

**Оглавление автореферата докторской (DSc) диссертации
по техническим наукам**

Contents of the doctoral (DSc) dissertation abstract

Қодирбекова Қутпиниса Каримовна

Физик усулда олинадиган композицион нанотузилишли қопламаларнинг самарадорли таркиби ва оптимал технологик режимларини ишлаб чиқиш..... 3

Кадырбекова Кутпиниса Каримовна

Разработка эффективных составов и оптимальных технологических режимов получения композиционных наноструктурированных покрытий физическим методом25

Kadirbekova Kutpinisa Karimovna

Development of effective compositions and optimal technological regimes, preparation of composite nanostructured coatings by physical method..... 47

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works..... 51

ИСЛОМ КАРИМОВ номидаги **ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА
УНИВЕРСИТЕТИ «ФАН ВА ТАРАҚҚИЁТ» ДАВЛАТ УНИТАР
КОРХОНАСИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ**
DSc27.06.2017. К/Т.03.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ИСЛОМ КАРИМОВ номидаги **ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА
УНИВЕРСИТЕТИ «ФАН ВА ТАРАҚҚИЁТ» ДАВЛАТ УНИТАР
КОРХОНАСИ**

ҚОДИРБЕКОВА ҚУТПИНИСА КАРИМОВНА

**ФИЗИК УСУЛДА ОЛИНАДИГАН КОМПОЗИЦИОН
НАНОТУЗИЛИШЛИ ҚОПЛАМАЛАРНИНГ САМАРАДОРЛИ
ТАРКИБИ ВА ОПТИМАЛ ТЕХНОЛОГИК РЕЖИМЛАРИНИ ИШЛАБ
ЧИҚИШ**

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

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент -2018

Техника фанлари бўйича докторлик (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2018.3.DSc/Т33 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ислон Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети ва «Фан ва тараққиёт» Давлат унитар корхонасида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.gup.ft.uz) ва «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида (www.ziyounet.uz) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи:

Сайдахмедов Равшан Халходжаевич
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Раджабов Тельман Дадаевич
ЎзР ФА академиги, физика-математика
фанлари доктори, профессор

Михридинов Рискидин
техника фанлари доктори, профессор

Рискулов Алимжон Ахмаджанович
техника фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот:

Андижон машинасозлик институти

Диссертация ҳимояси И.Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети «Фан ва тараққиёт» ДУК ҳузуридаги DSc.27.06.2017.К/Т.03.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2018 йил «_____» _____ соат _____⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 100174, Тошкент шаҳри, Мирза Ғолиб кўчаси, 7^а – уй. Тел.: (+99871) 246-39-28; факс: (99871) 227-12-73; email: gupft@inbox.uz. «Фан ва тараққиёт» ДУК биноси, 2 қават, анжуманлар зали).

Диссертация билан «Фан ва тараққиёт» ДУКнинг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (6-рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100174, Тошкент шаҳри, Мирза Ғолиб кўчаси, 7^а – уй. Тел.: (+99871) 246-39-28; факс: (99871) 227-12-73.

Диссертация автореферати 2018 йил «_____» _____ куни тарқатилди.
(2018 йил «_____» _____ даги 6-рақамли реестр баённомаси).

С.С. Негматов

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

М.Г. Бабаханова

Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш илмий котиби, к.ф.н., к.и.х.

Н. Галипов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш
қошидаги илмий семинар раиси, т.ф.д., к.и.х.

КИРИШ (докторлик диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Ҳозирги кунда дунё бўйича машинасозликда пластик-қовушқоқ ва қийин ишлов бериладиган материаллар учун кесувчи асбобларнинг ишчи юзасига химояловчи композицион нанотузилишли қопламалар кенг қўлланилиб, илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Ўтиш металлларнинг нитрид ва карбидлари АҚШ, Германия, Австрия, Япония, Россия ва бошқа давлатлар саноатида химояловчи қоплама сифатида кенг қўлланилмоқда. Нитридларнинг бинар тизимлари ичида титан нитриди (TiN) ўзининг юқори механик кўрсаткичлари ва коррозия бардошлигига эга бўлгани учун кенг қўлланиладиган материал ҳисобланади. Қопламаларни физик-механик хоссаларини яхшилаш учун титан нитридини Даврий системанинг IV-VI гуруҳ бошқа элементлари билан легирлаш усуллари қўлланилади. Нитридларни мос элементлар билан легирлаш ҳисобига икки элементли қопламалардан (TiN, ZrN, CrN) мураккабларига ўтиш қопламаларни хоссаларини ўзгартириш имкониятини берадиган самарали усул бўлиб келмоқда.

Бугунги кунда жаҳонда ейилишга юқори бардошли, давомли хизмат қиладиган кесувчи асбоблар юзасидаги композицион нанотузилишли қопламаларни олиш имконини берадиган материаллар мавжуд бўлиб, улардан кенг миқёсда фойдаланилмоқда. Бу эса танланган мавзунинг ҳозирги замон талабига мослигини кўрсатади. Шунинг учун кесувчи асбобларни физик-механик ва эксплуатацион хоссаларини оширишни, асбобни ишчи юзасига юқори қаттиқлик, паст ишқаланиш коэффициенти, асос (субстрат) билан яхши адгезион мустаҳкамлик, оксидланишга турғунлик ва ейилишга юқори бардошликни таъминловчи энг истиқболли йўналиш ион-плазма усулида цирконий, титан ва бошқа элементларнинг нитридлари, карбидлари асосида самарадор таркибли композицион нанотузилишли қопламаларни ва уларни олиш технологиясини ишлаб чиқиш асосий ўрин эгаллайди.

Республикамизда физик усуллар ёрдамида композицион қопламалар олиш борасида кенг қамровли чора тадбирлар амалга оширилиб, муайян натижаларга эришилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «...ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш,...Ўзбекистонга янги технологияларни олиб кириш, янги технологияларни яратиш...» юзасидан қаратилган муҳим вазифалар белгилаб берилган. Бу борада физик усулда олинадиган композицион нанотузилишли қопламаларнинг самарадорли таркиби ва оптимал технологик режимларини ишлаб чиқиш муҳим аҳамиятга эга. Бундай тизимлар структураси, таркиби ҳамда эксплуатацион хоссаларини ностехиометрия ва легирлаш, бунинг асосида махсулот юзасида юқори физик-механик хоссаларга эга нанотузилишли қопламаларни яратиш ёки уларни химояловчи пленка сифатида қўллаш имконини беради. Шу билан бирга композицион

нанотузилишли қопламаларни самарадорли таркибини ишлаб чиқишда уларни экологик тоза ва тежамкор технологиялар асосида олиш муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2016 йил 26 декабрдаги «2017-2019 йилларда тайёр маҳсулот турлари, бутловчи буюмлар ва материаллар ишлаб чиқаришни маҳаллийлаштиришнинг истиқболли лойиҳаларини амалга оширишни давом эттириш чора-тадбирлари» тўғрисидаги ПҚ- 2698-сон қарори, 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантиришнинг бешта устивор йўналиши бўйича Ҳаракатлар стратегияси» тўғрисидаги Фармони ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти ўзининг муносиб улушини қўшади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг II. «Энергетика, энергоресурстежамкорлик, машинасозлик ва ресурс тежамкорлик» устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи¹.

Кўп компонентли, моно ва кўп қатламли композицион қопламаларнинг физик-механик ва физик-кимёвий хоссаларини ўзгартиришга йўналтирилган илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий тадқиқот марказлари ва олий таълим муассасалари, жумладан, Technische Universitaet Wien (Австрия), Stanford University (АҚШ), Lehmzentrum, Dachverband Lehm Германия), Universit Nagoya (Япония), National technologies institut of Kumoh (Жанубий Корея), Москва дастгоҳлар ва асбоблар технологик институти (МосСтанкин - Россия), Россия авиация материаллари институти (ВИАМ- Россия), Москва авиация институти (МАИ-Россия), Харьков физика техника институти (ХФТИ-Украина), Ион-плазма ва лазер технологиялари институти (Ўзбекистон), Тошкент давлат техника университетида (Ўзбекистон) олиб борилмоқда.

Функционал қопламаларни олиш учун вакуум қурилмаларни яратиш борасида жаҳонда олиб борилган тадқиқотлар натижасида қатор, жумладан, қуйидаги илмий натижалар олинган: монокомпонентли, кўпкомпонентли, кўпқатламли функционал қопламалар яратилган (Multi Arc Vacuum System (АҚШ)); кўп функционал, ейилишга чидамли қопламаларни қаттиқ қотишмалардан тайёрланган кесувчи асбоблар юзасига қоплаш усули ишлаб чиқилган (Platit (Швецария) фирмаси); кўп компонентли, юқори ҳароратларда ишлайдиган, газ коррозиясига юқори бардошлик имкониятига эга қопламалар яратилганлиги натижасида янги таркибли қопламалар ишлаб чиқилган (Россия авиация материаллари институти (ВИАМ)); ион-плазма

¹Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи .Lippitz, Th.Hübert. “XPS investigations of chromiumnitride thin films” Surf. Coat. Techn. 200 (2005) 250-253, Darja Kek Merl, Ingrid Milosev, Peter Panjan, Franc Zupanic. Morphology and corrosion properties PVD Cr-N coatings deposited on aluminium alloys//Materials and technology 45 (2011) 6, 593–597 ва бошқа манбалар асосида ишлаб чиқилган.

усулини яратиб дастлабки курилмалар ишлаб чиқилган, натижада кўп компонентли, кўп қатламли қопламалар олинган (Харьков физика техника институти (ХФТИ - Украина)).

Дунёда тегишли илмий-тадқиқот марказларда композицион наноструктурали қопламаларни физик-механик, физик-кимёвий ва эксплуатацион хоссаларини яхшилаш бўйича қатор, жумладан, қуйидаги тадқиқотлар олиб борилмоқда: композицион наноструктурали қопламаларни самарали ўтиш металллар, уларнинг нитридлари, карбидлари, оксидлари асосидаги таркибини ишлаб чиқиш; композицион наноструктурали қопламаларни самарали таркибини эксплуатацион хоссаларига таъсирини аниқлаш; композицион наноструктурали қопламаларни самарали ўтиш металллар, уларнинг нитридлари, карбидлари, оксидлари асосидаги таркиби олишни оптимал технологик режимларини ишлаб чиқиш.

Бугунги кунда кесувчи асбоблар юзасини монокомпонентли, кўпкомпонентли, кўпқатламли функционал композицион нанотузилишли қопламалар билан қоплаб уларнинг физик-механик, физик-кимёвий ва эксплуатацион хоссаларини талабга мос равишда ўзгартирадиган самарали таркибли, оптимал технологик режимларини яратиш каби устивор йўналишларда илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Ушбу йўналиш бўйича назарий тадқиқотларида кўплаб хорижий олимлар: Андриевский Р.А., Новоженев В.А., Карпман М.Г., Вол А., Алисова С.П., Будберг П.Б., Белый А.В., Карпенко Г.Д., Верещака А.С., Сайдахмедов Р.Х., Musil J., Lestina J., Vlcek J., Told T., Kelly P.J., Arnell R.D., Mahoney L.J., Brown D.W., Petrmi R.H. ва бошқалар, физик усуллар ёрдамида технологиялар ишлаб чиқиш соҳасида эса Барвинок В.А., Житомирский В.Н., Раджабов Т.Д., Мацевитый В.М., Борушко М.С., Береснев В. М., Умирзаков Б.Е., Каламазов Р.У., Камардин А.И., Симонов А. ва бошқаларнинг салмоқли хиссалари бор.

Мавжуд ишлар таҳлилига кўра, кесувчи асбоблар, металл деталлар юзасидаги қопламаларни таркибини ва олиш технологиясини яратишда эксплуатацион хоссалар комплексини шакллантиришда ностехиометрияни роли деярли ҳисобга олинмаган, функционал қопламаларни яратишда асосий принциплари ишлаб чиқилмаган, шу жумладан, таркиб, структура ҳолат диаграммалари «р-Т-х» диаграммаси асосида ўзаро боғлиқлиги ва Даврий элементлар системасининг IV-VI гуруҳ ўтиш металлари асосидаги кўп компонентли қопламалар таркиби ўрганилмаган. Металллар, нитридлар, карбидлар асосидаги композицион нанотузилишли қопламаларни физик-кимёвий хоссалари тўлиқ ўрганилмаган, Zr, Ti, Cr уларнинг нитридлари ва карбидлари асосли наноструктурали қопламаларни кристаллар ўлчами етарлича тадқиқот қилинмаган, ностехиометрия ва легирлаш ҳисобига структура ва таркибни бошқариш усуллари ишлаб чиқилмаган.

Яъни, физик усулда композицион нанотузилишли самарадор таркибли қопламалар олишни оптимал технологик режимларини ишлаб чиқиш ўз ниҳоясига етмаган. Мазкур диссертация иши ушбу муоммани ечимига

бағишланган ва муҳим долзарб вазифа ҳисобланади.

Тадқиқотнинг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ислон Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетива ва «Фан ва тараққиёт» Давлат унитар корхонаси илмий-тадқиқот ишлари режасининг Ўзбекистон Республикаси ДИТҚ амалий, инновацион ва фундаментал лойиҳалари: № 19.22 «Ўтиш металлари асосидаги таркиби ва хоссалари белгиланган ион-плазма қопламаларнинг тадқиқоти» (2003-2005йй.), №ОТ-ИД/11-4-38 «Кесувчи асбобва технологик ускуналарнинг ишчи юзаларида белгиланган хоссали қопламаларни олиш технологиясини яратиш (2011-2012йй.), № ОТ-Ф5-048 «Ўтиш металлари асосли нитрид ва карбидли наноструктурали функционал қопламалар яратишнинг физик-кимёвий асослари» (2007-2011йй.) лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади: физик усулда ион-плазма жараёни ёрдамида олинадиган композицион нанотузилишли қопламаларнинг физик-механик, физик-кимёвий хоссаларини яхшилайдиган самарадор таркибини ва оптимал технологик режимларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари: физик усулда олинадиган карбидли, нитридли ва металл брикмалар асосли композицион нанотузилишли қопламаларнинг фазавий ва кимёвий самарали таркибини ишлаб чиқиш;

ион-плазма композицион нанотузилишли қопламаларнинг структураси, хоссалари ва асос материали билан адгезион ўзаро таъсирига ностехиометриянинг таъсирини тадқиқотлаш;

ион-плазма жараёни параметрларини композицион нанотузилишли қопламаларнинг физик-механик, физик-кимёвий хоссаларига таъсирини ўрганиш;

белгиланган хоссали композицион нанотузилишли қопламаларни олиш технологиясини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти: композицион нанотузилишли қопламалар, қийин ишланадиган ва қовушқоқ-пластик материаллар учун кесувчи асбоб.

Тадқиқотнинг предмети: функционал композицион нанотузилишли қопламаларни самарали таркиби, қопламаларнинг физик-механик, физик-кимёвий хоссалари, структура, фазалар таркиби ва қопламани ишлов берилаётган материал билан ўзаро адгезион таъсиридан ташкил қилади.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертация ишида AES (электрон Оже-спектроскопия), XPS (рентген фотоэлектрон спектроскопия), HREELS (юқори имкониятли электронларнинг энергетик йўқотишларининг спектроскопияси), ёритувчи электрон микроскопия, микроқаттиқликни, ейилишга турғунликни, коррозия бардошлиқни аниқлаш усуллари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгиллиги қуйидагилардан иборат:

ион-плазма усулида титан нитриди, титан карбиди ва цирконий асосли

қопламаларни олиш жараёнида стехиометрик ва ностехиометрик таркибли қопламалар аниқланган ва тезкесар пўлатларда титан нитриди асосида $P_{N_2} = 0,399$ Па дан $TiN_{0,962}$ то $P_{N_2} = 0,0039$ Па $TiN_{0,624}$ гача ташкил этувчилари турли нисбатда бўлган нанотузилишли қопламалар олинган ва уларнинг нанозаррачалари ўлчами 50 - 200 нм гачалиги аниқланган;

TiC_x , ZrC_x композицион нанотузилишли қопламаларнинг фазавий ва кимёвий таркибини олдиндан аниқлаш имконини берувчи «р-Т-х» диаграммалари такомиллаштирилган;

ион-плазма усулида шаклланадиган композицион нанотузилишли қопламаларнинг самарали таркибини ва оптимал технологик режимларини танлаш принциплари ишлаб чиқилган;

универсал «р-Т-х» диаграммадан фойдаланиб вакуум қопламаларнинг фазавий ва кимёвий таркиблари танланган;

наноструктурали қопламаларнинг миқдор ва сифат ўлчамларига вакуум камерадаги $P=3 \cdot 10^{-3}$ босимда олинган қоплама структураси заррачалари 55 % - 70 нм, 15% - 120 нм, 30% - 170нм, босим $P = 3 \cdot 10^{-4}$ Па бўлганда олинган хром асосли қопламанинг структураси 97%га 45нм ўлчамли нанозаррачалардан иборатлиги аниқланган;

хром асосида олинган композицион нанотузилишли қопламаларда нанозаррачаларни тақсимланиши ва миқдорига ион-плазма технологик жараёнининг режимлари таъсир этиши аниқланган;

цирконийни ниобий билан легирлаш қопламанинг эксплуатацион хоссаларини оптималлаштириш имконини бериши аниқланган;

қопламаларни физик-кимёвий хоссалари ва қопламани ишланадиган асос материали билан адгезион ўзаро таъсири ностехиометрия ҳисобига оптималлаштирилган ва самарали таркибли композицион нанотузилишли қопламаларнинг ион-плазма усулида олишнинг оптимал технологик режимлари ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижаси қуйидагилардан иборат:

хром, титан, цирконий ва уларнинг нитридлари, карбидлари асосли композицион нанотузилишли қопламаларнинг самарали таркиблари ишлаб чиқилган;

титан ва цирконий нитридлари, карбидлари асосли ностехиометрик таркибли юқори эксплуатацион хоссаларни таъминловчи композицион нанотузилишли қопламалар олишнинг оптимал технологик режимлари ишлаб чиқилган;

ниобий билан легирланган кўп компонентли композицион нанотузилишли цирконий асосидаги қопламалар олишнинг оптимал технологик режимлари ишлаб чиқилган;

хромли қопламаларда нанозаррачаларнинг ўлчамларини ва ҳажмий миқдорини бошқариш технологик режимлари аниқланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги қўланилган ES (электрон Оже-спектроскопия), XPS (рентген фотоэлектрон спектроскопия), HREELS (юқори имкониятли электронларнинг энергетик йўқотишларининг

спектроскопияси), ёритувчи электрон микроскопия ҳамда замонавий услуб ва аналитик воситалардан фойдаланганлиги билан изоҳланади. Тажрибавий тадқиқотларни статистик ишлов берилган маълумотлари, уларни мавжуд аналоглар билан солиштиришда, олинган натижаларни ишлаб чиқаришга реал иқтисодий самарадорлик билан жорий этилганлиги билан аниқланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти карбидли, нитридли, кўп компонентли ва металл қопламаларни хоссаларини яхшиланиши, «таркиб-структура-хосса» ҳолат диаграммаси, р-Т-х диаграммалари, қопламаларни ишлов берилётган материал ва асос билан адгезион ўзаро таъсири асосида қопламалар таркибини танлаш принципларининг яратилишидан иборат.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти шундан иборатки, кесувчи асбоб юзасида оптимал эксплуатацион хоссаларни таъминловчи қопламалар олишнинг янги самалари технологияси ишлаб чиқиш натижасида, қопламали кесувчи асбобларнинг турфунлиги (ейилишга чидамлиги) 3-5 мартага оширилган. Ностехиометрияни ўзгариши эса титан нитриди асосли қопламаларда коррозия бардошлигининг 6 мартагача ошишига ва максимал микроқаттиқлик қопламаларда $TiN_{\sim 0,80}$ ностехиометрик таркибга тўғри келишини таъминланиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.

Ион-плазма функционал қопламалар таркибини танлаш принциплари ва технологиясини ишлаб чиқиш бўйича олинган натижалар асосида:

композицион наноструктурали қопламали кесувчи асбоблар «Олмалиқ тоғ-кон металлургия комбинати» АЖ тизимидаги «Нодир металллар ва қаттиқ қотишмалар ишлаб чиқиш» ИИБ да қийин ишлов бериладиган материалларга кесиш жараёнига жорий этилган («Олмалиқ тоғ-кон металлургия комбинати» АЖнинг 2018 йил 25 августдаги ОП-07229-сон маълумотномаси). Натижада асбобларни ейилишга чидамлилигини 3-5 баробарга ошириш имкони берилган;

олинган ташкил этувчилари турли нисбатда бўлган титан нитриди асосида нанотузилишли қопламалар Олмалиқ тоғ-кон металлургия комбинати амалиётига жорий этилган («Олмалиқ тоғ-кон металлургия комбинати» АЖнинг 2018 йил 25 августдаги ОП-07229-сон маълумотномаси). Натижада қимматбаҳо материалга кетадиган сарф-ҳаражатлар бир неча баробарга қисқартирилиш имконини берган;

такомиллаштирилган «р-Т-х» диаграммасидан TiC_x , ZrC_x қопламаларнинг таркиби ва хоссаларини олдиндан аниқлаш имконияти Олмалиқ тоғ-кон металлургия комбинатида амалиётга жорий этилган («Олмалиқ тоғ-кон металлургия комбинати» АЖнинг 2018 йил 25 августдаги ОП-07229-сон маълумотномаси). Натижада ноёб тадқиқот ускуналарини қўллаб тадқиқотлар ўтказиш учун кетадиган сарф-ҳаражатларни камайтириш имконини берган;

ишлаб чиқилган янги таркибли ион-плазма композицион наноструктурали қопламалар олиш технологияси Олмалиқ тоғ-кон

металлургия комбинатининг амалиётига жорий этилган («Олмалик тоғ-кон металлургия комбинати» АЖнинг 2018 йил 25 августдаги ОП-07229-сон маълумотномаси). Натижада асбоб ва деталларнинг турғунлигини ошириш, сарф харажатларни қисқариш ва амалдаги иқтисодий самарадорликни ошириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси.

Мазкур тадқиқот натижалари 28 та, жумладан 12 та халқаро ва 16 та республика илмий-амалий анжуманларида апробациядан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.

Диссертация мавзуси бўйича жами 57та илмий ишлар чоп этилган, шулардан, 3та монография, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 12 та мақола, жумладан, 2 таси хорижий ва 11 таси республика журналларида нашр этилган.

Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши. Диссертация таркиби кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат. Диссертациянинг ҳажми 198 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, мақсад ва вазифалар шакллантирилиб, тадқиқотларнинг объект ва предметлари келтирилган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикасида фан ва технологияларнинг тараққиётини устувор йўналишларга мослиги, олинган натижаларнинг илмий янгилиги ва илмий-амалий аҳамияти, олинган композицион нанотузилишли қопламаларни амалиётида қўлланилганлиги, нашр этилган ишлар ва диссертациянинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Композицион нанотузилишли қопламаларни яратишнинг асосий принциплари**» деб номланган биринчи бобида композицион нанотузилишли қопламалар олиш бўйича тадқиқотларнинг замонавий ҳолати таҳлил қилинган, жумладан, самарали таркиблар ва оптимал технологик режимларни яратиш, қопламаларни физик-механик, физик-кимёвий хоссаларини яхшилаш ва кесувчи асбобларни турғунлигини ошириш мақсадида уларнинг структурасини шакллантириш принциплари келтирилган.

Вакуум қурилмаларни яратиш, қопламаларни олиш, юзалар структурасини оптималлаштиришни илмий ва технологик асосларига бағишланган тадқиқотлар бўйича адабиётлар таҳлили келтирилган.

Адабиётлар манбаларининг таҳлили замонавий техниканинг ривожланиши борасида конструкцион ва функционал материалларнинг эксплуатацион хоссаларига юқори талаблар қўйилишини кўрсатмоқда. Харажатларни қисқартириш йўлларида бири - махсулотлар юзасининг хоссаларини белгиланган функционал қопламалар хисобига

модификациялашдан иборат.

Асбоб ва ускуналарнинг юза қатламини хоссалари кўп компонентли ва кўп қатламли композицион нанотузилишли қопламаларни қоплаш ҳисобига яхшиланади, уларни ейилишга чидамлиги ошади ва ҳаражатлар камаяди.

Композицион нанотузилишли қопламаларни ностехиометрик таркибини бошқариш кенг миқёсда қопламаларни хоссаларини ўзгартириш имкониятини яратади, бу эса ўз навбатида қопламали асбоб-ускуналарнинг хоссаларини ўзгартиради.

Ўтиш металлларидан ташкил топган карбид ва нитрид асосли ион-плазма қопламаларни яратишда асосий эътибор ўтиш металлларини турли металллар билан легирлашга қаратилган. Шу билан бирга қопламаларнинг эксплуатацион хоссаларини шакллантиришда ностехиометриянинг таъсири атрофлича ўрганилмаган. Ностехиометрия деб кимёвий бирикма компонентлари ўртасидаги миқдорий нисбатнинг стехиометрия қоидалари белгилайдиган нисбатга қараганда оғишига айтилади. Ностехиометрия асосан карбидлар, нитридлар, оксидлар ва бошқа киритилиш фазаларга ҳос.

Металлар орасидаги реакцияларнинг энг муҳим шарти уларни элементлар Даврий системасида ўзаро жойлашиши, бундан атомларни электрон тузилишининг ўхшашлиги ва фарқи ҳамда компонентларни физик-кимёвий хоссалари келиб чиқади.

Физика, кимё ва материалшуносликнинг фундаментал асосларини қўллаган ҳолда моно ва кўп қатламли, кўп компонентли қопламаларни олиш усуллари кўриб чиқилди. Қопламаларга қўллашнинг эксплуатацион шартларига қараб қўйиладиган талаблар келтирилган. Материалларни ҳолат диаграммаси, шунингдек р-Т-х диаграммаси асосида ҳамда структура-таркиб-хосса ўзаро боғланиш асосида қопламаларни оптимал таркибини танлаш принципи келтирилган.

Композицион нанотузилишли қопламаларни олиш усуллари таҳлил қилиш асосида моно ва кўп қатламли, кўп компонентли қопламалар учун PVD усуллари универсалилиги, жумладан, ион-плазма усули асослаб кўрсатилган. Ушбу усул моно ва кўп компонентли, наноструктурали турли моно қалинликдаги нанометрдан бир неча микронгача бўлган қопламаларни олиш имкониятини беради.

Технологик жараён параметрларини бошқариш юқори самарали, стехиометрияси ўзгарувчан - бошқариладиган градиент қатламлар олиш имкониятини ҳамда шунга монан асос материали ва ишланадиган материалга нисбатан қоплама хоссаларини белгилаш имконини беради.

Диссертациянинг **«Хром, титан, цирконий асосли композицион нанотузилишли қотишмаларнинг фаза, кимёвий таркиби ва хоссаларини назарий тадқиқотлари»** деб номланган иккинчи бобида титан элементининг Даврий элементлар системасининг IV-VI гуруҳ элементлари билан ўзаро таъсири кўриб чиқилди. Қопламалар таркибини аниқлашда системанинг IV гуруҳ металлларининг ўзаро таъсирида қуйидаги хусусиятларини аниқлаш мумкин.

Ti – Zr тизими титан ва цирконийни α - ва β - қаттиқ эритмаларининг модификацияларига мансуб бўлиб, ушбу тизимда қаттиқ эритмалардан Курнаков бирикмалари ҳосил бўлади. Курнаков бирикмаларида компонентларнинг базавий кристалл структураси сақланиб қолади, аммо уларнинг хоссалари ташкил этувчи компонентлар хоссасидан фарқ қилади. Шу сабабли ушбу фазалар қаттиқ эритмалардан бирикмаларга ўтиш чегарасини ташкил қилади. Ti – Zr тизимда қотишманинг хоссалари (НВ, σ , δ ва ψ) мувозанат ҳолатида Курнаковнинг узлуксиз қаттиқ эритмалар учун қонунларига биноан ўзгаради. Ўрганилаётган тизим қотишмаларининг хоссаларини Курнаков қонуни бўйича аниқлаш учун ушбу тизимни ташкил этувчи компонентлар хоссалари тўғрисида маълумот, қотишмалар ҳолат диаграммаси ҳамда титан цирконийни ўзаро таъсири асосидаги қоплама таркибини танлаш учун р-Т-х диаграммадан фойдаланилади. Вакуум қопламаларни олишда ҳарорат ва элементларнинг микдоридан ташқари, кўшимча учинчи ўзгарувчан фактор - вакуум камерасидаги босимни ҳисобга олиш зарур. Курнаков қонуни бўйича қаттиқ қотишмалар ҳосил бўлишида қотишмаларнинг хоссалари эгри чизиқли функционал боғланиш бўйича ўзгаради. Коррозия ва оловбардошлик вақт ва ҳароратга боғлиқ ҳолда маълум даражада юзадаги реакциялар билан белгиланади. Юзадаги оксид пленкаларни ҳосил бўлиши билан маълум концентрациялар ва ҳароратларда цирконий коррозия бардошликни, мустаҳкамликни, олов бардошликни оширади ва титаннинг иссиққа бардошлигини пасайтиради; Ti – Zr бирикмаларида, титаннинг микдори 20- 30% гача юқори концентрацияли сульфат ва хлорид кислоталарида титанни юқори коррозия бардошлиги сақланиб қолади. Юқорида келтирилганларга асосланган ҳолда қайд қилиш мумкин – асосий хоссаларни таркиб боғланиши узлуксиз қаттиқ эритмалар хоссаларини ўзгариш қонуниятига бўйсунди.

Хулоса сифатида кириш фазалари асосли қопламаларнинг эксплуатацион хоссаларини яхшилаш учун маълум элементлар билан легирлаш билан бир қаторда (металл ташкил этувчи бўйича) ностехиометрия имкониятларидан кенг фойдаланган ҳолда қоплама хоссаларини бошқаришни қўллаш лозим. Бу ҳолда яратиладиган қопламалар хоссалари бошқариш имконияти ўтиш металлари карбидлари, нитридлари гомоген соҳалари, шунингдек углерод ва азот панжалари асосидаги нуқсонлар ҳисобига кенгайди. Масалан, ностехиометрик таркибли титан ва цирконий карбид ва нитридлари - $TiC_{0,60}$, $TiN_{0,98}$, $ZrC_{0,78}$ ва $ZrN_{0,77}$ катта термик кенгайиш коэффицентига эга бўлса, ушбу металлларнинг қуйидаги - $TiC_{0,94}$, $TiN_{0,98}$, $ZrC_{0,8}$ ва $ZrN_{0,97}$ таркибга эга карбид ва нитридлари юқори микроқаттиқликка эга ҳамда иссиқ ўтқазувчанлик ва эластик модули ностехиометрияга боғлиқ ҳолда ўзгаради.

Қопламалар таркибини танлаш принципларидан бири ўтиш металлларини ўзаро таъсирининг назарий асосларини база сифатида қўллаш.

Ўтиш металлари ўзаро таъсири барча параметрларини комплекс ҳисобга олиш қопламани зарур хоссали материални яратиш имкониятини беради.

Асбоблар ва деталлар учун қоплама танлашнинг асосий принциплари қуйидагилардан иборат: фазалар диаграммаси бўйича зарур хоссаларни таъминлайдиган таркиб танланади, яъни «таркиб-тузилиш-хосса» диаграммага асосланган ҳолда. Ti-Zr, Ti-Nb, Ti-Cr ҳолат диаграммалари таҳлил қилиб чиқилди ва ҳосил бўладиган брикмаларнинг структураси ва хоссаларига компонентларни таъсир этиш қонуниятлари аниқланди.

Ўтиш металлари ва уларнинг карбидлари, нитридлари ва оксидлари асосида кўп компонентли қопламалар яратиш долзарб масалалардандир. Шу билан бирга қопламаларни металллар ҳамда нometаллар билан легирлашни уларнинг эксплуатацион хоссаларига таъсир этиш ролини ўрганиш жуда муҳимдир.

Диссертациянинг «**Қопламалар таркибини ишланадиган материал ва асос билан ўзаро адгезион таъсири асосида танлаш**» деб номланган учинчи бобида қопламани ишланадиган материал ва асос (субстракт) билан ўзаро адгезион таъсири кўриб чиқилди. Қулай шароитда икки фаза туташ келган чегарада ўзаро таъсирнинг физик-кимёвий жараёнлари рўй беради. Улар бирламчи ва иккиламчи жараёнларга бўлинади. Қоплама ва асос материали орасида Ван-дер-ваальс тортилиш кучлари ёки кимёвий боғланиш ҳосил бўлиши – ион, ковалент ёки металл боғланиш – бирламчи жараён. Бирламчи жараён адгезия ҳосил бўлишига олиб келадиган юза характерига эга, яъни турли фазалардаги атомлар орасида тортилиш ҳосил бўлади. Адгезия иш бирлигига эга: адгезиянинг физик ўлчови адгезиянинг солиштирма иши ҳисобланади, яъни суюқ ва қаттиқ фазаларни ажратиш иши $W_{ск}$ ёки иккита контакт юзаси бирга тенг қаттиқ фазаларни $W_{кк}$ таъсири.

Қопламаларни металлларга адгезияси металлларнинг контакт активлигига боғлиқ. Металлар ва қаттиқ қоплама ва турли типдаги эритмалар чегарасидаги фазалар ўртасидаги ўзаро таъсири ҳозирги кунда бир нечта позициядан изоҳланади. Адгезиянинг назарий мезони ва металлларни контакт активлиги деб қуйидагилар қабул қилинади:

қопламаларни металлларга адгезияси металлларнинг контакт активлигига боғлиқлиги қуйидаги мезонлар билан баҳоланган:

икки ўлчамли моноатомли чегара қатламидаги реакцияларни изобар потенциалари ΔG_T^0 (термодинамик меъзон);

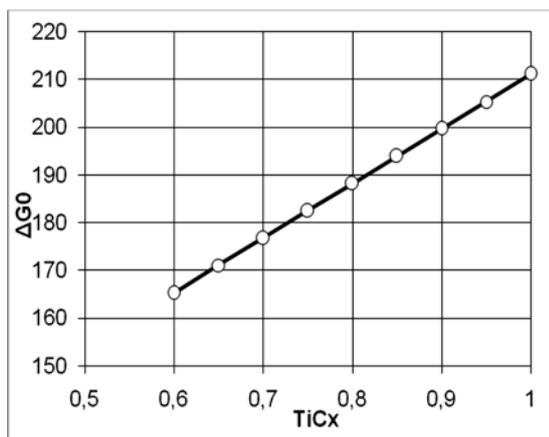
электрон қобиғларни тугалланганмаслик даражаси ва стабил конфигурацияли атомларнинг статистик оғирлиги (электрон-структура меъзони);

Me–O, Me' - Me'' айрим боғланишларни ўртача энергияси ва бошқа бирикмаларга тўғри келадиган бирламчи яқинлашиб тузилишни ўртача энергияси (энергетик меъзон);

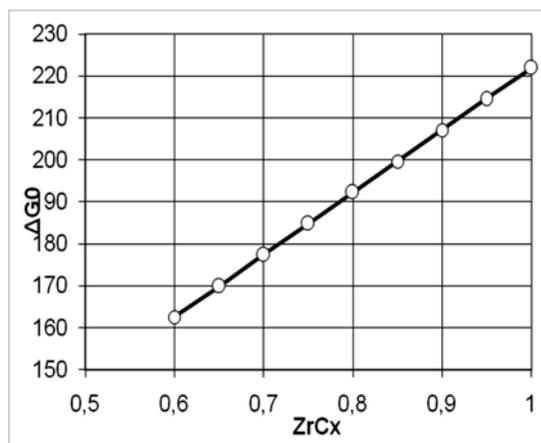
металл-эритма чегарасида ҳосил бўладиган металлларни нормал электрод потенциали ϕ^0_{Me} , (электро-кимёвий меъзон);

металл-диэлектрик чегарасидаги разрядли заряд (электростатик меъзон).

Қопламанинг фазавий ва кимёвий таркиби уларни ҳосил бўлиш эркин энергиясига таъсири аниқланди - ΔG^0 (1,2-расмлар).



1- расм. TiC_x учун ΔG^0 нинг углеродли фаза қисмига қараб ўзгариши



2 – расм ZrC_x учун ΔG^0 нинг углеродли фаза қисмига қараб ўзгариши

Фазавий таркиб ва қийин эрийдиган бирикмаларни ҳосил бўлиш эркин энергияси $\Delta G^0_{\text{хб}}$ ўртасидаги боғланиш аниқланди. Адгезион термодинамик меъзон асосида VI- V- IV гуруҳ металлари карбидлари асосли ейилишга чидамли қопламаларни таркиби аниқланиб таклиф қилинди. Масалан, қовушқоқ-пластик металлларга ишлов берадиган кесувчи асбоб учун қоплама сифатида VI- V- IV гуруҳ металлари карбидлари асосли брикмалар тавсия қилинди (адгезион активлиги ортиб боришига қараб).

Уларни қовушқоқ-пластик қотишмалар билан адгезион ўзаро таъсири паст бўлиб натижада камроқ ейилишга мойил.

Ўз навбатида бу механик ишлов беришнинг унумдорлигини оширади (қирқиш тезлиги – v , қирқиладиган қатлам қалинлиги – t , суриш – s), бир вақтни ичида кесувчи асбобни ейилишга чидамлилиги ошади.

Диссертациянинг «Хром, титан, цирконий ва уларнинг нитридлари ва карбидлари асосли композицион нанотузилишлиқопламаларнинг фаза, кимёвий таркиби ва хоссаларининг тажрибавий тадқиқотлари» деб номланган тўртинчи бобида зарур хоссали қопламаларни олишда асосий кўрсаткичлар сифатида қабул қилинган физик-механик ва физик-кимёвий хоссалар тадқиқоти келтирилган. Шу сабабли қопламаларни ҳар томонлама комплекс тадқиқ қилиш ва тадқиқот усулубини тўғри танлаш мазкур ишнинг муҳим ташкил этувчисидир.

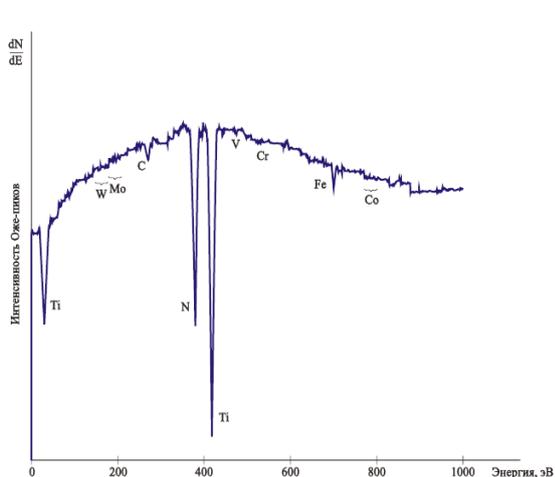
Титан нитриди асосли композицион нанотузилишли қопламалар ЎзР Фанлар Академияси Ион-плазма ва лазер технологиялари институтининг «Ион-плазма технологиялари» лабораториясида модернизация қилинган УВНИПА-1-001 қурилмасида намуналар ва кесувчи асбоблар: Р6М5 тезкесар пўлатдан тайёрланган парма ва метчикларда олинди.

Композицион нанотузилишли қопламаларнинг фаза ва кимёвий таркиби «Ион-плазма технологиялари»лабораториясида Оже-спектроскопия ва рентгеноструктур таҳлил усулида тадқиқ қилинди. Оже-спектроскопия усули ёрдамида титан нитридли қопламалар турли ностехиометрик таркибга эга эканлиги аниқланди, масалан $P_{N_2} = 0,0039$ Па азот босимида тенглида $TiN_{0,626}$ $P_{N_2} = 0,399$ Па да $TiN_{0,960}$ эканлиги аниқланди (3-брасмлар).

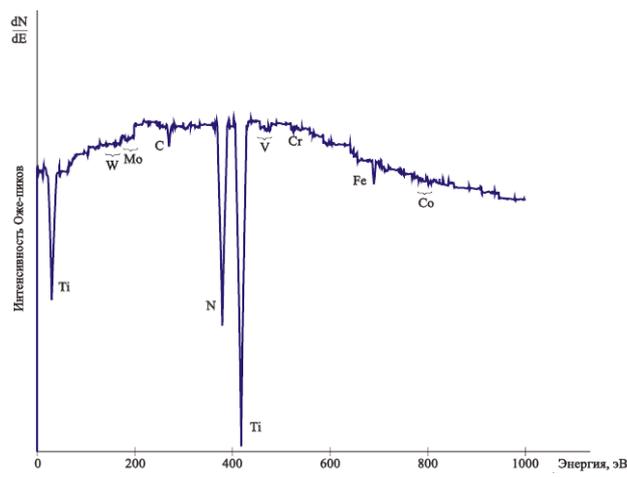
Қопламалар асосан NaCl типидagi ёқлари марказлашган куб панжарали TiN_x дан ташкил топгани аниқланди. Шунингдек қопламаларда α -Ti ни излари мавжудлиги аниқланди, бу технологик жарён билан боғлиқ. Ностехиометриянинг ўзгариши қопламаларнинг эксплуатацион хоссаларига катта таъсир кўрсатиши аниқланди. Жумладан, азотнинг миқдори 43,60325 ат.% дан 34,27528 ат.% гача камайишида коррозия бардошлик 3-6 барорбаргача ортади.

Қопламаларни фазавий таркиби рентгеноструктур таҳлил усулида ўрганилди. Мазкур усулни мазмуни намунани рентген нурлари билан нурлантириш ва қайтган нурларни тутишдан иборат. Фазавий таркибни тадқиқотлари ДРОН-2,0 дифрактометрда бажарилди. Ушбу дифрактометрда БСВ-11 типидagi найча қўлланилади. Дифрактометрни асосий кўрсаткичлари қуйидагилар: максимал кучланиш-50кВ; максимал анод токи - 60 мА; дифракция бурчагини ўлчаш чегараси 90 дан $+160^\circ$ гача; бурчак белгиси $0,1^\circ$ ва $1,0^\circ$ да бажарилади. Дифракция бурчагини ўлчаш аниқлиги $\pm 0,005^\circ$. Ўзиёзар потенциометр КСП-4 шкала бўйича кўрсаткичлар хатоси 0,25%, диаграмма тасмасидаги ёзувнинг хатоси 0,5%.

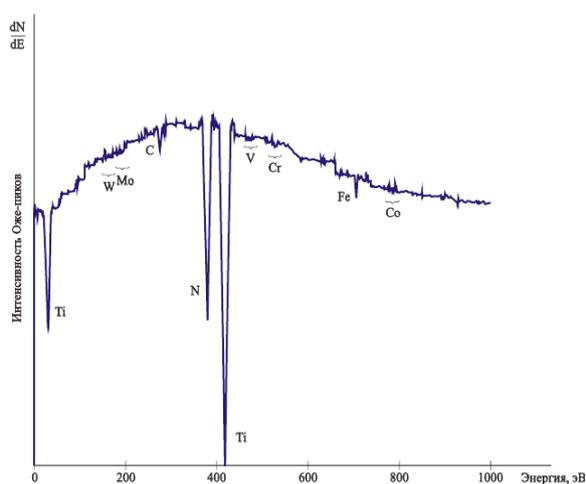
Фазавий рентгеноструктур таҳлили барча намуналарда қопламалар битта фазадан - NaCl типидagi ёқлари марказлашган куб панжарали TiNдан ташкил топган эканлигини кўрсатди.



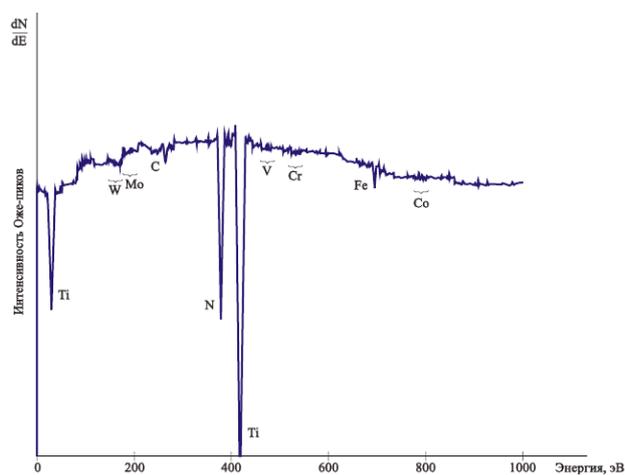
3-расм. $P = 0,399$ Па да титан нитриди асосли қопламаларнинг Оже-спектри



4 - расм. $P = 0,0931$ Па да титан нитриди асосли қопламаларнинг Оже-спектри



5 - расм. P=0,0665 Па да титан нитриди асосли қопламаларнинг Оже-спектри



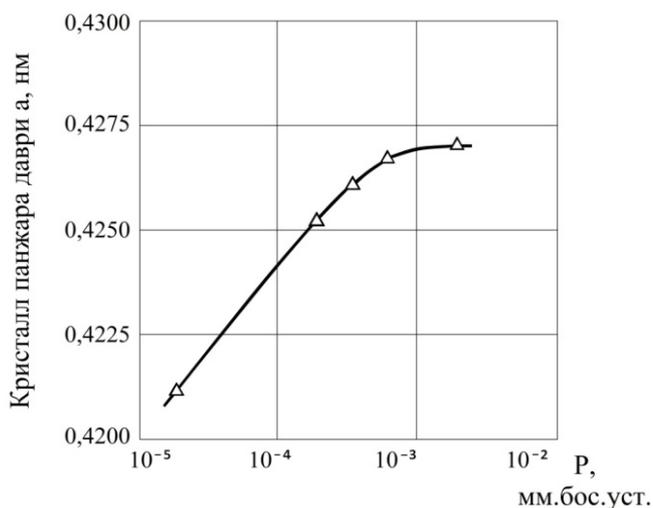
6 - расм. P = 0,039 Па да титан нитриди асосли қопламаларнинг Оже-спектри

Кристал панжарани даврининг экспериментал қиймати жадвалдагидан катта ($a_{\text{жадв.}} = 0,4235$ нм) бўлиб, камерадаги қолдиқ босимни камайиши билан камаяди. Титан нитриди TiN_x асосли қопламалардаги азот миқдори кристал панжаранинг даврига таъсир этади (7-расм). Қоплама микрокаттиклигига кимёвий таркибни таъсири тадқиқот қилинди. Максимал микрокаттиклик $\text{TiN}_{\sim 0,80}$ ностехиометрик таркибга тўғри келади (8-расм).

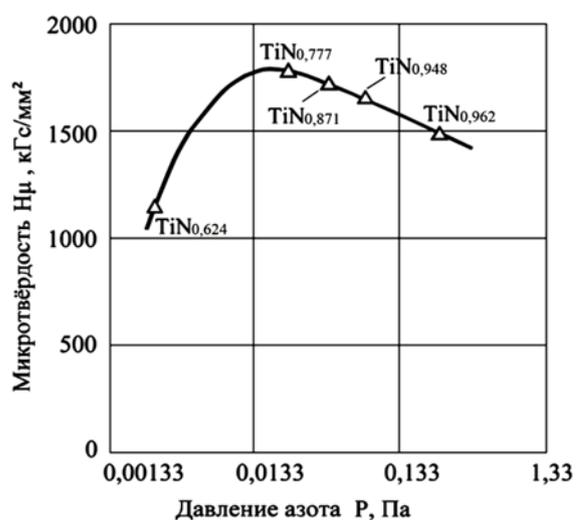
Металл ва нометалл материаллардаги хром асосли қопламаларнинг таркиби, структураси ва хоссалари тадқиқот қилинди. Мазкур масала ҳозирги кунда нанотехнологиялар асосида хром асосли юпка қопламалар олишда жуда муҳим. Р6М5 тезкесар пўлатлардан тайёрланган намуналарда хромли қопламалар олиш учун ион-плазма (магнетрон пуркаш) усули УВН-75Р-1 вакуум қурилмасида (ЎЗР ФА Ион-плазма ва лазер технологиялари институти) қўлланилди.

Экспериментал тадқиқотлар шуни кўрсатади-ки, энг юқори коррозия бардошликга $\text{TiN}_{0,624}$ қопламали пўлат эга бўлиб, пўлатни коррозия бардошлиги қоплама таркиби стехиометриядан фарқланишига қараб ортиб боради (9-расм). Жадвалда вакуум камерада азотнинг босими ва ностехиометрияни ўзгаришига қараб қопламаларнинг таркиби ва хоссалари келтирилган.

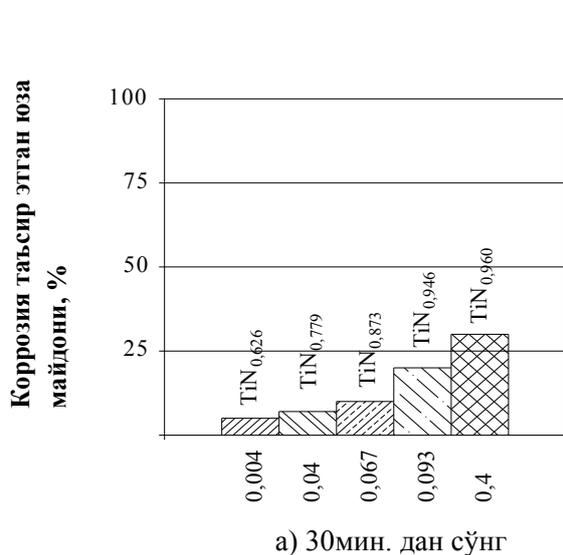
Қоплама қалинлиги стандарт усул асосида МИИ-4 типидagi микроинтерферометрда аниқланди. Бажарилган ўлчовлар бўйича 20мин давомида олинган хромли қопламанинг максимал қалинлиги 2,4 мкм ни ташкил қилди. Тақиқотлар шуни кўрсатди-ки, хромли қопламаларнинг қалинлиги 2-20 минут давомида олинганида вақтга пропорционал равишда ўзгаради. Қопламаларнинг адгезион мустаҳкамлиги қопламали металл стерженларни нормал узиб олиш усулида тадқиқ қилинди. Қопламали намуналарни кимёвий турғунлиги азот ва плавик кислоталари эритмаларида тадқиқ қилинганда ҳимояловчи хромли қопламалар юқори турғунликга эга эканлиги аниқланди.



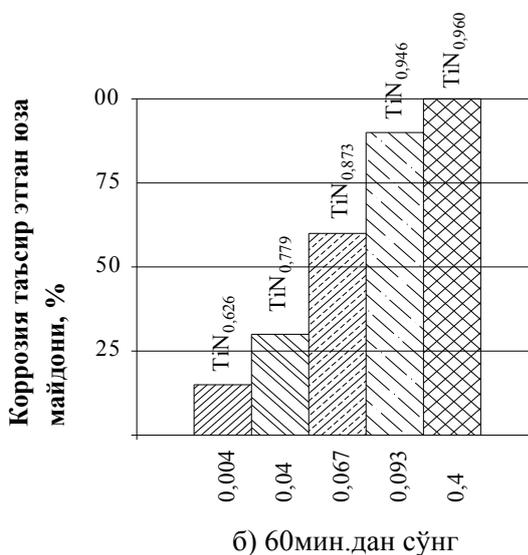
7 - расм. Титан нитриди кристал панжараси даврининг технологик жараённинг параметрларига боғлиқлиги



8 - расм. Ностехиометрияни қоплама микроқаттиқлигига таъсири



а) 30 мин. дан сўнг



б) 60 мин. дан сўнг

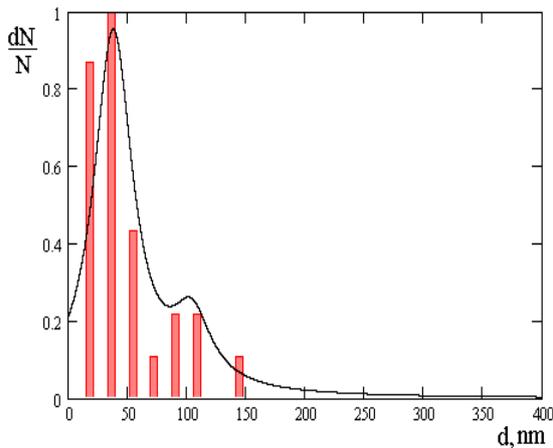
9- расм. Ностехиометрияни қопламанинг коррозия бардошлигига таъсири

Жадвал

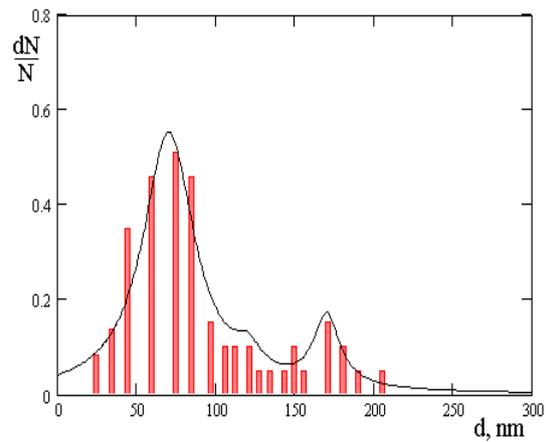
Азот босимининг қопламалар таркиби ва хоссаларига таъсири

Азот босими, P _{N2} , Па	Қопламаларнинг ностехиометрик таркиби	Кристал панжаранинг даври, а, нм	Микроқаттиқлик, Нμ, кгс/мм ² .	Нано заррачалар ўлчами, нм
0,4	TiN _{0,962}	0,427021	1470	200 - 500
0,093	TiN _{0,948}	0,426494	1680	170- 310
0,066	TiN _{0,871}	0,425969	1755	100-160
0,04	TiN _{0,777}	0,425238	1805	50 - 200
0,004	TiN _{0,624}	0,421169	1140	50 - 100

Қалинлиги 1мкм дан кам бўлган хром қопламаларида коррозия нуқталари сони (қопламадаги ғоваклар) қалинлиги 2,3-2,5 мкм бўлган қопламаларга нисбатан 5-10 баробар ортиқ эканлиги аниқланди. Хулоса қилиб айтганда, хромли қопламаларнинг қалинлиги турли режимларда коррозия бардошлигига жиддий таъсир этади. Юза рельефи ва хром нанозаррачалари агломератларининг ўлчамлари тўғрисидаги маълумот ЎзР ФА Полимерлар физикаси ва кимёси институтида ПЭМ-100 ёритувчи электрон микроскоп ёрдамида аниқланди. Юзаларни тадқиқот қилиш учун икки поғонали Pt/C репликалар олинди. 10-расмда электрон микроскоп ёрдамида олинган хромли қопламаларнинг структураси келтирилган. Электрон-микроскопик тадқиқотлар намуналарда турли белгиланган шароитда хром нанозаррачалари мавжудлигини кўрсатди, масалан $P=3 \cdot 10^{-2}$ Па режимда максимал миқдорда Cr наноструктура фазаси шаклланиши маълум бўлди, хром нанозаррачаларининг ўлчамлари 66 нм дан 130 нм гача бўлиб, тузилиши шарсимон шаклда $P=3 \cdot 10^{-3}$ Па режимда олинган намунада хром нанозаррачаларнинг ўлчамлари каттароқ (66-200нм). Учинчи намунада наноструктура ўлчамлари нотекислиги кузатилади, нанозаррачалар ўлчами 20 нм дан 230 нм гача. Шунини қайд этиш лозимки, бу намунада аввалгиларига нисбатан нанозаррачалар сони миқдор жиҳатидан камроқ. Хромли қопламалардаги нанозаррачаларни ҳажмий миқдори ва ўлчамлари технологик режимларга боғлиқлиги 10, 11- расмларда келтирилган.



10 - расм. Намуна 1 –режим: $P=3 \cdot 10^{-2}$ Па, нанозаррачалар ўлчами 50 нм ва 100 нм



11 - расм. Намуна 2 - $P=3 \cdot 10^{-3}$ Па, нанозаррачалар ўлчами 55 % 70 нм, 15 % 120 нм, 30% 170 нм

Диссертация ишида вакуум камерадаги газнинг босими заррачаларнинг миқдорий ўлчамига таъсир қилиши тадқиқ қилинган, масалан: 1-намуна – режим: $P=3 \cdot 10^{-2}$ Па, нанозаррачалар ўлчами 50 нм ва 100 нм орғалиғида; 2-намуна $P=3 \cdot 10^{-3}$ Па, нанозаррачалар ўлчами 55 % 70 нм, 15 % 120 нм, 30% 170нм орғалиғида. Олинган натижалар асосида технологик жараён режимларини ўзгартириш орқали хромли қопламаларда нанозаррачалар ўлчами ва ҳажмий миқдорини бошқариш мумкинлиги тўғрисида хулоса қилинди. Бажарилган тадқиқотлар асосида наноўлчамли қопламалар олишнинг кенг имониятлари мавжудлиги тўғрисида хулоса қилиш мумкин.

Магнетрон пуркаш усулида цирконий асосли ниобий билан легирланган қопламалар олинди. Zr-Nb оксиди асосида олинган қопламаларнинг қалинлиги, коррозия бардошлиги тадқиқот қилинди. Қопламанинг қалинлиги 3мм гача ошганда коррозия бардошлик максимал қийматига эга бўлиши, сўнгра камайиб бориши аниқланди. Вакуум камерадаги реакцион газни турли режимларида: 0,399 Па, 0,0931Па, 0,0665 Па, 0,039 Па, 0,0039 Па да олинган Zr-Nb қопламаларни текисликлараро масофалари ва моддаларни идентификациясини аниқлаш учун дифрактограммалари ҳисобланди.

Ион-плазма қопламаларни ейилишга чидамлилиги пармалаш станогини асосида яратилган махсус қурилмада ўрганилди. Абразив ейилиш намунани 25°C да абразив доираси бегиланган айланишлар сонидан сўнг (маълум йўл узунлигига тенг бўлади) 0,2 МПа контакт босимда, 1,1 м/с тезликда намунани сирғалишида массасини камайиши бўйича баҳоланди.

Айланишлар сони қадамлараро ҳатоси 10мкм дан ошмаган Ф5071 ҳисоблагич билан қайд этилди. Намуналар массаси руҳсат этилган ҳатоси ±0.5мг бўлган ВЛР-200 аналитик торозда ўлчанди. Қопламали кесувчи асбобларнинг турғунликга чидамлилиги пармалаш станогинида ўтказилди.

Титан карбиди асосли композицион нанотузилишли қопламалар «Олмалиқ тоғ-кон металлургия комбинати» АЖ нинг «Нодир металллар ва қаттиқ қотишмалар ишлаб чиқиш» ИИБ да ННВ-6,6-И1 қурилмасида олинди ва тадқиқот қилинди.

Кимёвий таркиби, электрон ва атом структураси (расм 12, 13) титан карбиди асосли композицион нанотузилишли қопламаларни HREELS (spectroscopy of energy losses of high-resolution electrons – юқори пикселли электронлар йўқотилиш спектроскопияси), XPS (X-ray photoelectron spectroscopy – рентген фото – электрон спектроскопияси), AES (electronic Auger spectroscopy – электрон Оже-спектроскопияси) усулларида (Москва ш.) Металлофизика ЦНИИЧерМет институти лабораторияларида тадқиқот қилинди.

Титан карбиди асосли композицион нанотузилишли қопламаларни тажрибавий тадқиқотлари асосида TiC учун аниқланди. Диаграммаларда титан ва углерод миқдорига кенг доирада ацителен босимига тўғри келадиган стехиометрик ва ностехиометрик таркибли композицион нанотузилишли қопламалар ҳосил бўлади.

Ҳолат диаграммаси, хоссалар ва р-Т-х диаграммалари ёрдамида титан карбидли қопламаларни оптимал таркиби ва уларни олиш учун мос технологик режимлари танланган таркиб учун газ босими ва асос ҳарорати орқали аниқланади.

Қайд этиш лозим, бажарилган комплекс тадқиқотлар асосида таркиби олинди ва тадқиқот қилинди, натижалари диссертация ишида ёритилган.

Диссертациянинг «Ион-плазма ва магнетрон пуркаш усулида олинадиган композицион нанотузилишли қопламаларни ишлаб чиқилган самарали таркиблари ва оптимал технологик режимларини

технологик ва иқтисодий аспектлари» бешинчи бобида хром, титан нитриди, цирконий-ниобий асосида композицион нанотузилишли қопламаларни шакллантириш жараёни учун ишлаб чиқилган оптимал технологик режимлар ҳамда яратилган қопламанинг иқтисодий самарадорлик ҳисобининг натижалари келтирилган.

Композицион нанотузилишли қопламаларни эксплуатацион характеристикалари уларни фаза, кимёвий таркиби ва структураси билан аниқланади. Ион-плазма ва магнетрон пуркаш усулида композицион нанотузилишли қопламаларни шакллантириш жараёнида асосий ўзгартириладиган параметрлар: асос ҳарорати, вакуум камерадаги реакцион газ босими ва қопламани олиш тезлиги ҳамда қопламани ҳосил бўлиш вақти, разряд токи ва сурилиш потенциалидир.

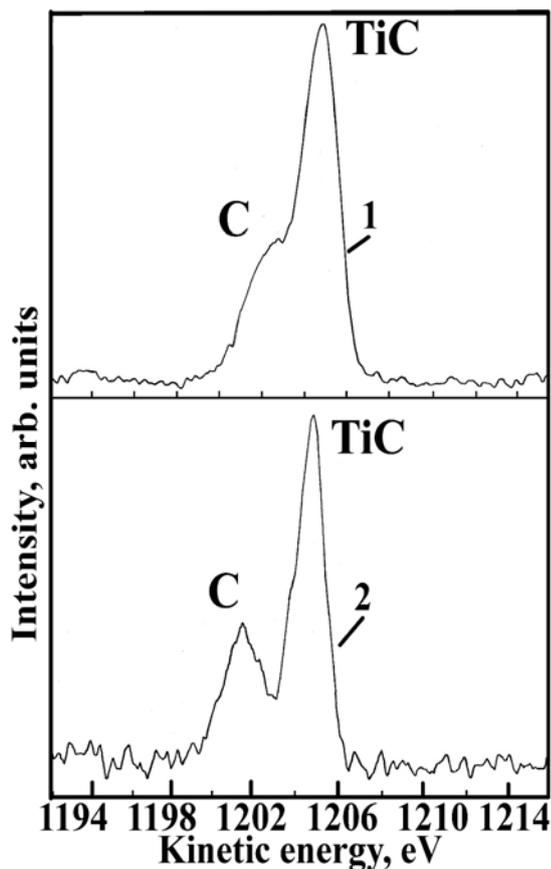
Хром асосли композицион нанотузилишли қопламаларни олиш технологик жараёни. *Технологик жараённи кетма-кетлиги:* Қопламани ҳосил қилиш режими – катоддан намуна юзасигача бўлган масофа – 120-130мм; ишчи газ босими (аргон, азот) - $2 \cdot 10^{-1}$ Па; пуркаш жараёнида катоддаги кучланиш – минус 550В; пуркашда разряд токи – 2,0-2,2А; хромли қопламани олиш вақти – 5-20 минут (қопламани қалинлиги вақт билан бошқарилади); намуналар ҳарорати қоплама ҳосил қилиш вақтида 150°C дан ошмайди.

Титан карбиди асосли композицион нанотузилишли қопламаларни олиш технологик жараёни. *Технологик жараённи кетма-кетлиги:* Қопламани ҳосил қилиш режими – оснасткадаги кучланиш 100В етқазилади (ток 300 мА) ва зарур миқдоргача C_2H_2 гази киритилади; барча намуналар учун титан карбидини олиш вақти – 10мин; камерадаги C_2H_2 ни босими - $3 \cdot 10^{-2}$ Па; юзани титан плазмаси оқими билан ишлов бериш (ёй разряди токи 75А); оснасткадаги ток 1,0А; кучланиш 1,5 кВ 3-4 мин давомида; TiC қоплама C_2H_2 ёки углеводородлар аралашмасини $2 \cdot 10^{-1}$ Па босим билан киритиб олинади (разряд токи 75А, оснасткадаги кучланиш 100В); TiC қопламани ҳосил қилишни ўртача тезлиги 2нм/с дан ошмайди; қопламани олиш вақти 10-12мин.

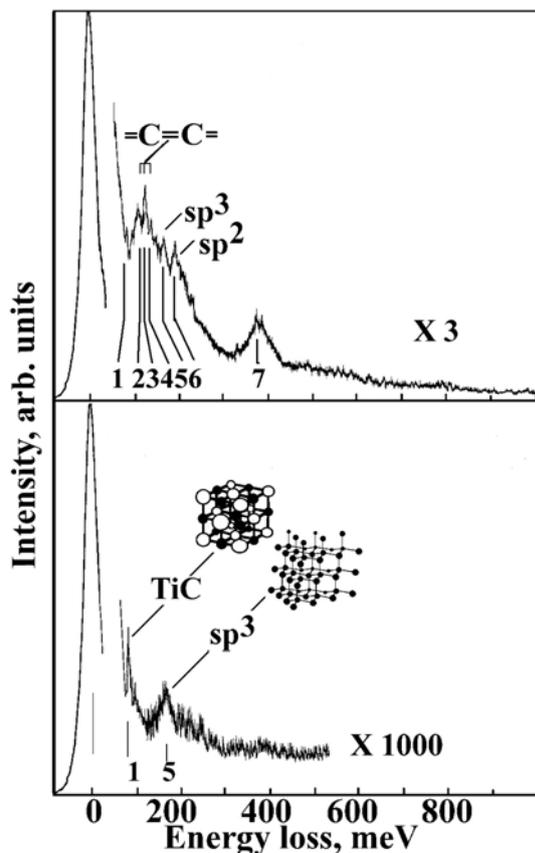
Цирконий-ниобий асосли композицион нанотузилишли қопламаларни олиш технологик жараёни. *Технологик жараённи кетма-кетлиги:* Қопламани ҳосил қилиш режими – катоддан намуна юзасигача бўлган масофа – 200-250мм; ишчи газ босими (аргон) - $2 \cdot 10^{-1}$ Па; пуркаш жараёнида катоддаги кучланиш – минус 550В; пуркашда разряд токи – 2,0-2,2А; қопламани олиш вақти 15-25минут (қопламани қалинлиги вақт билан бошқарилади); намуналар ҳарорати қоплама ҳосил қилиш вақтида 150°C дан ошмайди.

Титан нитриди асосли композицион нанотузилишли қопламаларни олиш технологик жараёни. *Технологик жараённи кетма-кетлиги:* Қопламани ҳосил қилиш режими – оснасткадаги кучланиш 100В етқазилади (ток 300 мА) ва зарур миқдоргача азот киритилади; барча намуналар учун титан нитридини олиш вақти – 10мин; камерадаги азот босими - $3 \cdot 10^{-2}$ Па; юзани

титан плазмаси оқими билан ишлов бериш (ёй разряди токи 75А); остнасткадаги ток 1,0А; кучланиш 1,5 кВ 3-4мин давомида; TiN қопламани



12 - расм. Ион-плазма TiC қопламаларни реакция газининг турли босимидаги (P): 1-0,004Па; 2- 1,06Па фотоэлектрон спектри



13 - расм. Реакцион газининг 1,06Па босимида реагент таъсиридан олдин (1) ва 900° С да Ar+ (2) таъсиридан кейин олинган ион-плазма TiC қопламаларнинг спектри

азотни $2 \cdot 10^{-1}$ Па босим билан киритиб олинади (разряд токи 75А, оснасткадаги кучланиш 100В); TiC қопламани ҳосил қилишни ўртача тезлиги 2нм/с дан ошмайди.

Р6М5 тезкесар пўлатдан тайёрланган кесувчи асбобларни TiN асосидаги ион-плазма композицион нанотузилишли қопламалар билан пухталаш асбобни турғунлигини 2,5- 3 баробар оширади.

TiN асосидаги ион-плазма композицион нанотузилишли қопламали 1,1т кесувчи асбобларни қўллагандаги ҳақиқий самарадорлиги 17,8млн. сўмни ташкил қилди (2017 йил 16 мартдаги жорий этиш далолатномаси, ОАЖ «Олмалик тоғ-кон металлургия комбинати» № ОП - 07229 сонли маълумотномаси). Агар Р6М5 тезкесар пўлатдан тайёрланган кесувчи асбобларни TiN асосидаги ион-плазма композицион нанотузилишли қопламалар билан пухталанган қўллашдаги кутилаётган иқтисодий самарадорлиги 15т ҳажмучун ҳисобланди ва 631млн 369 600 сўмни ташкил этади.

ХУЛОСАЛАР

1. Ион-плазма усулида олинадиган композицион қопламаларнинг компонентларини танлашнинг илмий омиллари ва технологик жараёнини оптимал режимлари ишлаб чиқилди. Вакуум қопламаларни фаза ва кимёвий таркибини танлашда универсал «р-Т-х» диаграммани қўллаш тавсия этилди.

2. Вакуум қурилмада тезкесар пўлатлардан тайёрланган кесувчи асбоблар (пармалар, метчиклар) юзасида ташкил этувчилари турли нисбатда бўлган композицион нанотузилишли қопламалар яратилди ва 50-200нм ўлчамли нано заррачалар олиш тавсия этилди.

3. Кристал панжаранинг параметрлари қопламанинг таркибига боғлиқлиги аниқланди. «х» стехиоетрик коэффициентининг 0,624 дан 0,962гача ўсиши кристал панжара даврини $a = 0,421169\text{нм}$ дан $a = 0,427021\text{нм}$ гача ўзгартиришга олиб келади.

4. Ностехиоетрияни ўзгаришини титан нитриди асосли қопламада кўрилганда TiN_x да азот миқдори 43,60325 ат.% дан 34,27528 ат.% гача камайишига олиб келди. Натижада қопламани коррозия бардошлиги 6 мартагача ошишига ва максимал микроқаттиқлик қопламаларда $\text{TiN}_{\sim 0,80}$ ностехиоетрик таркибга тўғри келишига эришилади.

5. Титан нитриди асосли қопламаларни оптимал эксплуатацион хоссаларига $\text{TiN}_{0,80-0,92}$ ностехиоетрик таркибнинг тўғри келиши тавсия этилди.

6. Хром асосли наноструктурали қопламаларнинг 45 – 200 нм ўлчамли нанозаррачаларини олиш учун қуйидаги технологик режимлар: 1 - $P = 3 \cdot 10^{-2}$ Па; 2 - $P = 5 \cdot 10^{-1}$ Па; 3 - $P = 3 \cdot 10^{-4}$ Па тавсия этилди.

7. Хромли қопламаларда нанозаррачаларининг миқдорий тақсимланиши аниқланди: $P = 3 \cdot 10^{-3}$ Па босимда олинган қопламалар структураси 55 % - 70 нм, 15% - 120 нм, 30% - 170нм, $P = 3 \cdot 10^{-4}$ Па да олинганда 97%-45нм нанозаррачаларнинг асосий қисми 50 - 100 нм га тенглиги аниқланди ва ушбу технологик режим зарур ўлчамли нанозаррачалар олиш учун тавсия этилди.

8. Ион-плазма усулида магнетрон пуркаш билан Zr–Nb, уларни нитридлари ва оксидлари асосида олинган композицион нанотузилишли қопламаларни эксплуатацион хоссаларига қоплама қалинлиги ҳамда ёй токи таъсир этиши билан изоҳланган.

9. Қопламанинг максимал коррозия бардошлигига эришиши учун 3мкм қалинликдаги Zr-Nb оксиди асосли қоплама тавсия этилди.

10. Zr-Nb оксиди асосли қопламаларни олишда ёй токи 1А дан 3А гача ўзгарганда қалинлиги 4 баробаргача ошишга эришилди. Zr–Nb, уларни нитридлари ва оксидлари асосида композицион нанотузилишли қопламаларни олиш технологияси тавсия этилди.

11. Қийин эрийдиган бирикмалар ҳосил бўлиш эркин энергияси ва фазавий таркиб орасидаги боғланиш аниқланди. Адгезион термодинамик

меъзон асосида ейилишга чидамли бир қатор қопламалар таркиби тавсия этилди.

12. Хром, титан, ниобий нитридлари, карбидлари, оксидлари асосидаги ион-плазма композицион нанотузилишли қопламаларнинг самарали таркибини олишда оптимал технологик режимлар тавсия этилди.

13. Яратилган композицион нанотузилишли Zr, Ti, Cr, уларни нитридлари, карбидлари, оксидлари асосидаги қопламали кесувчи асбоблар «Олмалиқ тоғ-кон металлургия комбинати» АЖ нинг «Нодир металллар ва қаттиқ қотишмалар ишлаб чиқиш» ИИБ да ишлаб чиқариш шароитида синовдан ўтди ва жорий этилди. Кесувчи асбобларни турғунлиги (ейилишга чидамлиги) 3-5 марта ошиши таъминланади. TiN асосидаги ион-плазма композицион нанотузилишли қопламали 1,1т кесувчи асбобларни қўллагандаги ҳақиқий иқтисодий самарадорлиги 53,3 млн. сўмни ташкил қилди (2017 йил 16 мартдаги жорий этиш далолатномаси, ОАЖ «Олмалиқ тоғ-кон металлургия комбинати» ОП-07229-сон маълумотномаси), кутилаётган иқтисодий самарадорлик 15т ҳажм учун 631млн 369 600 сўмни ташкил этади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.27.06.2017.К/Т.03.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИТАРНОГО
ПРЕДПРИЯТИЯ «ФАН ВА ТАРАККИЁТ» ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ имени ИСЛАМА КАРИМОВА**

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ФАН ВА ТАРАККИЁТ»
ТАШКЕНТСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА имени ИСЛАМА КАРИМОВА**

КАДЫРБЕКОВА КУТПИНИСА КАРИМОВНА

**РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ СОСТАВОВ И ОПТИМАЛЬНЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ, ПОЛУЧЕНИЯ
КОМПОЗИЦИОННЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ
ФИЗИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

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

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК (DSc)**

Ташкент-2018

Тема диссертации доктора технических наук зарегистрирована под номером В2018.3.DSc/Т33 в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова, а также Государственном унитарном предприятии «Фан ва тараккиёт».

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

Научный консультант: **Сайдахмедов Равшан Халходжаевич**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Раджабов Тельман Дадаевич**
академик АН РУз, доктор физико-математических наук, профессор

Михридинов Рискидин
доктор технических наук, профессор

Рискулов Алимжон Ахмаджанович
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация: **Андижанский машиностроительный институт**

Защита диссертации состоится «___» _____ 2018 года в ___ часов на заседании научного совета DSc.27.06.2017.К/Т.03.01 при ГУП «Фан ва тараккиёт» Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова (Адрес: 100174, г. Ташкент, ул. Мирзо Голиба 7а тел.: (99871) 246-39-28; факс: (99871) 227-12-73; e-mail: gupft@inbox.uz, в здании «Фан ва тараккиёт» ГУП, 2 этаж, зал конференций).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре ГУП «Фан ва тараккиёт» при Ташкентском государственном техническом университете (зарегистрирована за № 6). Адрес 100174, г. Ташкент, ул. Мирза Голиб 7^а. Тел: (99871) 246-39-28.

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2018 года.
(реестр протокола рассылки № 6 от «___» _____ 2018 года.)

С.С.Негматов
Председатель научного совета по присуждению
ученых степеней, академик АН РУз, д.т.н., профессор

М.Г. Бабаханова
Ученый секретарь научного совета по присуждению
ученых степеней, к.х.н., с.н.с.

Н.Талипов
Председатель научного семинара при научном
совете по присуждению ученых степеней,
д.т.н., с.н.с.

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора наук (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время в мире на рабочих поверхностях режущих инструментов при обработке вязко-пластичных и труднообрабатываемых материалов широко применяются защитные композиционные наноструктурированные покрытия, ведутся научно-исследовательские работы. Нитриды переходных металлов широко используются в качестве защитных покрытий в промышленности США, Австрии, Японии, Германии, России и других стран. Среди бинарных систем нитридов, нитрид титана (TiN) является наиболее широко используемым материалом в связи с характерными высокими показателями механических свойств и коррозионной стойкостью. Для улучшения физико-механических свойств покрытий применяют методы легирования нитрида титана другими элементами, в частности элементами IV-VI групп Периодической системы элементов. Переход от двухэлементных покрытий (TiN, ZrN, CrN) к более сложным за счет легирования соответствующими элементами нитридов переходных металлов является эффективным способом в значительной степени, позволяющий изменить свойства покрытий.

На сегодняшний день в мировом масштабе широко используются материалы, позволяющие получение на поверхности режущих инструментов композиционных наноструктурированных покрытий с высокой износостойкостью и долговечностью. Это указывает на соответствие выбранной темы современным требованиям. В этой связи наиболее перспективным направлением повышения физико-механических и эксплуатационных свойств режущих инструментов является разработка эффективных составов и технологии получения композиционных наноструктурированных покрытий, обеспечивающих рабочей поверхности изделий высокую твердость, низкий коэффициент трения, хорошую адгезионную прочность с подложкой (субстратом), стойкость к окислению и высокую износостойкость, путем нанесения ионно-плазменным методом таких материалов, как нитриды, карбиды титана, циркония и др.

В республике ведутся комплексные работы по получению композиционных покрытий физическим методом, получены определенные результаты. В Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям дальнейшего развития Республики Узбекистан в 2017 - 2021 годах, указанным, в частности, «...широкое внедрение энерго сберегающих технологий в производство, ...ввоз новых технологий в Узбекистан, разработка новых технологий...» определены важнейшие задачи. При этом важную роль играют разработка эффективных составов композиционных наноструктурированных покрытий и оптимальных режимов их получения физическим методом. Регулирование структуры и состава, а также эксплуатационных свойств таких систем за счет нестехиометрии и легирования создают весьма привлекательную возможность формирования на их основе наноструктурных покрытий с целью повышения физико-механических характеристик поверхности изделий или применения их в качестве защитных пленок. На

ряду с этим разработку эффективных составов композиционных наноструктурированных покрытий и их получение на основе экологически чистых, экономичных технологических процессов играет важную роль.

Повышение износостойкости и долговечности режущих инструментов, технологической оснастки и деталей, работающих в условиях износа, традиционными методами затруднено.

В связи с выше изложенным проведение исследований по разработке эффективных составов композиционных наноструктурированных покрытий на основе металлов, нитридов и карбидов переходных металлов и оптимальных технологических режимов их получения методами ионно-плазменного напыления являются востребованной и актуальной проблемой.

Данное диссертационное исследование служит выполнению задач, предусмотренных в постановлениях Президента Республики Узбекистан от 26 декабря 2016 года «О мерах по дальнейшей реализации перспективных проектов локализации производства готовых видов продукции, комплектующих изделий и материалов, ПП-№2698; ПФ-4947 от 7 февраля 2017 года Стратегия действий по пяти приоритетным направлениям дальнейшего развития Республики Узбекистан в 2017 - 2021 годах, а также в других нормативно - правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан II. «Энергетика, энергоресурсосбережения, машиностроение и ресурсосбережение».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации¹.

Научные исследования, направленные на регулирование физико-механических, физико-химических свойств многокомпонентных, моно и многослойных композиционных покрытий осуществляются в ведущих научно-исследовательских центрах и высших учебных заведениях, в том числе: в Technische Universitaet Wien (Австрия), Stanford University (АКШ), Lehmzentrum, Dachverband Lehm Германия), Planse (Франция), Guring (Германия), Multi Arc System (США) University Nagoya (Япония), National technologies institut of Kumoh (Южная Корея), Московском технологическом институте станки и инструменты (МосСтанкин - Россия), Российском институте авиационных материалов (ВИАМ-Россия), Московском авиационном институте (МАИ-Россия), Харьковском физико-техническом институте (ХФТИ-Украина), институте ионно-плазменных и лазерных технологий (Узбекистан), Ташкентском государственном техническом университете (Узбекистан). Multi Arc Vacuum System (США) многие годы занимаются разработкой вакуумных установок для получения функциональных покрытий и изучением их свойств.

¹Lippitz, Th.Hübert. "XPS investigations of chromiumnitride thin films" Surf. Coat. Techn. 200 (2005) 250-253, Darja Kek Merl, Ingrid Milosev, Peter Panjan, Franc Zupanic. Morphology and corrosion properties PVD Cr-N coatings deposited on aluminium alloys//Materials and technology 45 (2011) 6, 593–597 и другие источники.

В соответствующих научно-исследовательских центрах мира по созданию функциональных покрытий, разработке вакуумных установок получен ряд научных результатов, в том числе: разработаны монокомпонентные, многокомпонентные, многослойные функциональные покрытия (Multi Arc Vacuum System (США)); многофункциональные, износостойкие покрытия на поверхности твердосплавных режущих инструментов фирма Platit (Швейцария); многокомпонентные, высокотемпературные, устойчивые газовой коррозии покрытия (Российский институт авиационного материаловедения (ВИАМ)); основоположниками ионно-плазменного метода и разработчиками первой вакуумной ионно-плазменной установки получены многокомпонентные, многослойные покрытия (Харьковский физико-технический институт (ХФТИ-Украина)).

В мире проводятся исследования по улучшению физико-механических, физико-химических и эксплуатационных свойств композиционных наноструктурированных покрытий, в частности: разработка эффективных составов композиционных наноструктурированных покрытий на основе переходных металлов, их нитридов, карбидов и оксидов; определение влияния эффективных составов на эксплуатационные свойства композиционных наноструктурированных покрытий; разработка оптимальных технологических режимов получения композиционных наноструктурированных покрытий эффективного состава на основе переходных металлов, их нитридов, карбидов и оксидов.

На сегодняшний день ведутся исследования по приоритетным направлениям в области разработки эффективных составов, оптимальных технологических режимов получения монокомпонентных, многокомпонентных, многослойных функциональных покрытий на поверхности режущих инструментов, изменяющих их физико-механические, физико-химические и эксплуатационные свойства соответственно требованиям.

Степень изученности проблемы. В области теоретических исследований данного направления внесли определенный вклад следующие ученые: Андриевский Р.А., Новоженев В.А., Карпман М.Г., Вол А., Алисова С.П., Будберг П.Б., Белый А.В., Карпенко Г.Д., Верещака А.С., Сайдахмедов Р.Х., Musil J., Lestina J., Vlcek J., Told T., Kelly P.J., Arnell R.D., Mahoney L.J., Brown D.W., Petrmi R.Н. и др., а в области разработки технологии получения покрытий с использованием физических методов посвящены работы: Барвинок В.А., Житомирского В.Н., Раджабова Т.Д., Мацевитого В.М., Борушко М.С., Береснева В.М., Умирзакова Б.Е., Каламазова Р.У, Камардина А.И., Симонова А. и др.

Исходя из анализа существующих работ, необходимо отметить, что при разработке состава и технологии получения покрытий на поверхности режущих инструментов, металлических изделий не достаточно учтена роль нестехиометрии в формировании комплекса эксплуатационных свойств покрытий, не были разработаны основные принципы создания функциональных покрытий, в частности взаимосвязь состава, структуры и

свойств на основе диаграмм состояния сплавов и с использованием «р-Т-х» диаграмм, не изучены составы многокомпонентных покрытий на основе переходных металлов IV-VI групп Периодической системы элементов. Не были изучены физико-химические свойства композиционных наноструктурированных покрытий на основе нитридов, карбидов, металлов, не исследованы размеры кристаллов наноструктурных покрытий на основе Zr, Ti, Cr их нитридов и карбидов, не разработаны способы регулирования структуры и состава за счет нестехиометрии и легирования.

Таким образом, разработка эффективных составов и оптимальных технологических режимов получения композиционных наноструктурированных покрытий физическим методом ещё не завершены. Решению этих проблем и посвящена настоящая диссертационная работа.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ прикладных, инновационных и фундаментального проектов ГКНТ РУз по темам: № 19.22 «Исследование ионно - плазменных покрытий на основе переходных металлов с заданными составами и свойствами» (2003-2005г.г.), № ОИД-1-16 Разработка технологии формирования покрытий на рабочих поверхностях режущих инструментов и технологической оснастки, с заданными свойствами (2011-2012г.г.), № ОТ-Ф5-048 Физико-химические основы создания наноструктурных функциональных покрытий на основе нитридов и карбидов переходных металлов (2007-2011г.г.).

Целью исследования является разработка эффективных составов, улучшающих физико-механические, физико-химические свойства композиционных наноструктурированных покрытий и оптимальных технологических режимов их получения физическим методом с помощью ионно-плазменного процесса.

Задачи исследования:

исследование фазового и химического состава карбидных, нитридных и металлических композиционных наноструктурированных покрытий, формируемых физическим методом;

исследование влияния нестехиометрии на структуру, свойства и адгезионное взаимодействие композиционных наноструктурированных покрытий с материалом;

исследование влияния технологических параметров ионно-плазменного процесса на физико-механические и физико-химические свойства композиционных наноструктурированных покрытий;

разработка технологии формирования композиционных наноструктурированных покрытий с заданными свойствами.

Объект исследования является композиционные наноструктурированные покрытия, режущий инструмент для обработки вязко-пластичных и труднообрабатываемых материалов.

Предмет исследования являются эффективные составы композиционных наноструктурированных функциональных покрытий, структура, фазовый, химические составы, адгезионное взаимодействие покрытия с обрабатываемым материалом и физико-механические, физико-химические свойства покрытий.

Методы исследования. В диссертации применены AES (электронная Оже-спектроскопия), XPS (рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия), HREELS (спектроскопия энергетических потерь электронов высокого разрешения), рентгеноструктурный анализ, просвечивающая электронная микроскопия, методы исследования микротвердости, определения износостойкости, коррозионной стойкости покрытий.

Научная новизна исследования:

в процессе получения покрытий на основе нитрида титана, карбида титана и циркония ионно-плазменным определены стехиометрические, так и нестехиометрические составы покрытия и получены наноструктурные покрытия на быстрорежущих сталях с различным соотношением их составляющих от $TiN_{0,962}$ при $P_{N_2} = 0,399$ Па до $TiN_{0,624}$ при $P_{N_2} = 0,0039$ Па и определены размеры их наночастиц от 50 до 200 нм;

усовершенствованы «р-Т-х» диаграммы TiC_x , ZrC_x , позволяющие прогнозировать фазовый и химические составы композиционных наноструктурированных покрытий;

разработаны принципы выбора эффективного состава композиционных наноструктурированных покрытий, формируемых ионно-плазменным методом и оптимальные режимы технологического процесса;

при выборе химического и фазового состава вакуумных покрытий использована универсальная «р-Т-х» диаграмма;

определены качественные и количественные соотношения наночастиц в покрытиях, зависящие от давления в вакуумной камере: при $P=3 \cdot 10^{-3}$ Па состоит из 55 % - 70 нм, 15% - 120 нм, 30% - 170 нм. Определено структура покрытий на основе хрома, полученных при давлении $P= 3 \cdot 10^{-4}$ Па в вакуумной камере состоит на 97% из наночастиц 45 нм размера;

установлено влияние режимов ионно-плазменного технологического процесса на распределение и количественные величины наночастиц композиционного наноструктурированного покрытия на основе хрома;

выявлено, что влияние легирования циркония ниобием позволяет оптимизировать эксплуатационные свойства покрытий;

оптимизированы физико-химические свойства и адгезионное взаимодействие покрытий с обрабатываемым материалом основы за счёт нестехиометрии и разработаны оптимальные технологические режимы получения композиционных наноструктурированных покрытий с эффективным составом.

Практические результаты исследования:

разработаны эффективные составы композиционных наноструктурированных покрытий на основе хрома, циркония, титана и их

нитридов и карбидов;

разработаны оптимальные технологические режимы формирования нитридных и карбидных композиционных наноструктурированных покрытий на основе титана и циркония нестехиометрического состава, обеспечивающие оптимальный комплекс эксплуатационных свойств;

разработаны оптимальные режимы формирования композиционных наноструктурированных многокомпонентных покрытий на основе циркония легированного ниобием;

определены технологические режимы регулирования размеров и объемного количества наночастиц в хромовых покрытиях;

разработанные композиционных наноструктурированных покрытия апробированы на режущих инструментах в условиях НПО «Производство редких металлов и твердых сплавов» АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат». Стойкость режущих инструментов с покрытиями повышается в 3 - 5 раз.

Достоверность полученных результатов. Достоверность полученных результатов основывается применением высокоточного современного аналитического оборудования, внедрением полученных результатов в производство, на данных статистической обработки экспериментальных исследований, в сравнении их с существующими аналогами, внедрением полученных результатов в производство с реальным экономическим эффектом.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования описывается улучшением свойств карбидных, нитридных, композиционных наноструктурированных и металлических покрытий, разработкой принципа выбора состава покрытий диаграммы состояния «состав-структура-свойства», использованием р-Т-х диаграмм, а также адгезионного взаимодействия покрытия с основой и обрабатываемым материалом.

Практическая значимость исследований состоит в том, что в результате разработки эффективных составов покрытий на поверхности режущих инструментов, обеспечивающих оптимальные эксплуатационные свойства оптимальных технологических режимов их получения, повысило стойкость (износостойкость) 3-5 раз. Изменение нестехиометрии покрытий на основе нитрида титана объясняется обеспечением повышения их коррозионной стойкости до 6 раз, а максимальной микротвердости соответствующей нестехиометрическому составу $TiN_{-0,80}$.

Внедрение результатов исследования.

На основе научных результатов, полученных при исследовании принципов выбора состава функциональных ионно-плазменных покрытий и разработки технологии:

режущие инструменты с разработанными покрытиями внедрены в НПО «Производство редких металлов и твердых сплавов» при Алмалыкском горно-металлургическом комбинате для повышения стойкости

обрабатывающего инструмента (справка о внедрении результатов исследований в АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» от 25 августа 2018 года № ОП.- 07229). В результате дана возможность повысить износостойкость режущих инструментов в 3-5 раз;

полученные наноструктурные покрытия на основе нитрида титана с различным соотношением составляющих внедрены в Алмалыкском горно-металлургическом комбинате (справка АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» от 25 августа 2018 года № ОП- 07229). В результате это даёт возможность снизить затраты на дорогостоящий материал в несколько раз;

усовершенствование TiC_x , ZrC_x «р-Т-х» диаграмм позволило прогнозировать составы и свойства покрытий на практике в Алмалыкском горно-металлургическом комбинате (справка АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» от 25 августа 2018 года № ОП- 07229). В результате этого достигается возможность сократить расходы на дорогостоящие эксперименты с использованием уникального оборудования;

разработанная технология получения нового состава ион-плазменных композиционных наноструктурированных покрытий внедрены для практического применения в Алмалыкском горно-металлургическом комбинате (справка АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» от 25 августа 2018 года № ОП - 07229). В результате дает возможность повысить стойкость инструментов и деталей, сократить расходы и повысить фактическую экономическую эффективность.

Апробация результатов исследования.

Результаты данного исследования были обсуждены на 28, в том числе, на 12 международных и 16 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов.

По теме диссертации опубликованы 57 научных трудов. Из них 3 монографии, 12 статей в журналах стран СНГ и Республики Узбекистан, включенных в список ВАК, рекомендованных для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, 2 статьи в зарубежном журнале.

Структура и объем диссертации. Содержание диссертации состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы, приложения. Объем диссертации состоит из 198 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность и востребованность темы диссертации, формулируются цель и задачи, а также объект и предмет исследования, приводится соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, излагаются научная новизна и практические результаты исследования,

обосновывается достоверность полученных результатов, раскрывается теоретическая и практическая значимость, приведены сведения по внедрению в производство результатов исследований, сведения об опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Основные принципы создания композиционных наноструктурированных покрытий»** проанализировано современное состояние исследований, посвященных формированию композиционных наноструктурированных покрытий, в частности, по разработке эффективных составов и оптимальных технологических режимов, и принципов формирования структуры покрытий с целью улучшения их физико-механических, физико-химических свойств и повышения стойкости режущих инструментов.

Приводится обзор исследований, посвященных разработке и исследованию научных и технологических основ оптимизации поверхностных структур, нанесению композиционных наноструктурированных покрытий эффективного состава.

Анализ литературных источников показывает, что современное развитие техники предъявляет высокие требования к эксплуатационным характеристикам конструкционных и функциональных материалов. Один из путей снижения затрат - это модификация поверхности изделий за счет формирования на их поверхности композиционных наноструктурированных функциональных покрытий с заданными свойствами.

При улучшении свойств поверхностного слоя инструмента и изделий, за счет нанесения многокомпонентных и многослойных композиционных наноструктурированных покрытий увеличивается их износостойкость и снижаются затраты.

Регулирование нестехиометрического состава композиционных наноструктурированных покрытий дает возможность в широких пределах варьировать свойствами покрытий, что позволяет значительно изменять свойства инструментов с покрытиями.

При разработке ионно-плазменных покрытий на основе нитридов и карбидов переходных металлов основное внимание уделялось легированию фаз внедрения металлами. В то же время есть неизученные вопросы влияния нестехиометрии в формировании комплекса эксплуатационных свойств указанных покрытий. Нестехиометрия – это отклонение количественных соотношений между компонентами химических соединений от соотношений, определяемых правилами стехиометрии. Нестехиометрия наиболее характерна для кристаллических соединений карбидов, нитридов, оксидов, и других фаз внедрения.

Наиболее важным условием для характеристики реакций между металлами является взаимное положение их в Периодической системе элементов, из которого вытекают сходство и различие электронного строения атомов, и физико-химические свойства компонентов.

Рассмотрены методы создания моно и многослойных,

многокомпонентных покрытий с использованием фундаментальных основ физики, химии и материаловедения. Приведены требования, предъявляемые к покрытиям в зависимости от эксплуатационных условий применения. На основе диаграммы состояния материалов, а также по взаимосвязи структура – состав – свойства и р-Т-х диаграммы предложен принцип выбора оптимальных составов покрытий.

На основе проведенного анализа методов нанесения композиционных наноструктурированных покрытий показано, что универсальным методом формирования моно и многослойных, многокомпонентных покрытий являются методы PVD, в частности ионно-плазменный метод. Метод позволяет получение моно и многослойных, многокомпонентных, градиентных, наноструктурированных покрытий различной монотолщины от нанометров до нескольких микрон.

Возможности регулирования параметров технологического процесса позволяют получать высокоэффективные градиентные слои с регулируемой стехиометрией и соответственно со свойствами покрытий относительно материала подложки и обрабатываемого материала.

Во второй главе диссертации **«Теоретические исследования фазового, химического состава и свойств композиционных наноструктурированных покрытий на основе хрома, титана циркония и ниобия»** рассмотрено взаимодействие титана с металлами IV – VI групп Периодической системы элементов. В системе взаимодействия металлов IV группы при выборе состава покрытий можно выявить следующие особенности. Система Ti - Zr относится к непрерывным твердым растворам α - и β - модификаций титана и циркония, в этой системе образуются соединения Курнакова из твердых растворов. В соединениях Курнакова сохраняется тип кристаллической структуры компонентов, однако свойства их качественно отличны от свойств компонентов. Именно по этой причине данные фазы представляют собой переходную границу от твердых растворов к соединениям. Свойства (НВ, σ , δ и ψ) в системе Ti - Zr в равновесном состоянии изменяются в соответствии с законами Курнакова для непрерывных твердых растворов. Так как закон Курнакова устанавливает связь между видом диаграммы состояния и свойствами сплавов, для определения свойств сплавов, рассматриваемой системы по закону Курнакова достаточно иметь данные о свойствах компонентов, составляющих эту систему, и диаграмму состояния сплавов, а также диаграмму р-Т-х для выбора состава покрытий на основе взаимодействия титана с цирконием. При формировании вакуумных покрытий в качестве дополнительного параметра необходимо учитывать кроме температуры и концентрации элементов третий переменный фактор - давление в вакуумной камере. По закону Курнакова при образовании твердых растворов свойства сплава изменяются по криволинейной зависимости.

Выявлено, коррозия, и окисляемость в зависимости от времени и температуры в значительной степени определяются поверхностными

реакциями, образованием оксидных пленок на поверхности; при определенных концентрациях и температурах цирконий повышает коррозионную стойкость, прочность, жаропрочность и понижает жаростойкость титана; в соединении Ti – Zr, при содержании титана до 20-30%, сохраняется высокая его коррозионная стойкость в концентрированных растворах соляной и серной кислот. Следовательно, появляется возможность частичной замены более дорогостоящего циркония титаном.

Из выше приведенного можно сказать - зависимость основных свойств от состава подчиняется общим закономерностям изменения свойств непрерывных твердых растворов.

С учетом вышеизложенного, при разработке новых покрытий на основе фаз внедрения с улучшенными эксплуатационными свойствами, наряду с дальнейшим применением известного механизма легирования элементами (по металлической составляющей) весьма важно использовать большие возможности регулирования свойств за счет нестехиометрии. В данном случае возможности регулирования спектром свойств, разрабатываемых покрытий значительно расширяются, благодаря большим областям гомогенности (по неметаллической составляющей) карбидов и нитридов на основе переходных металлов в сочетании со структурными дефектами в углеродной и азотной подрешетках. Так, например, карбиды и нитриды титана и циркония нестехиометрического состава ($TiC_{0,60}$, $TiN_{0,98}$, $ZrC_{0,78}$ и $ZrN_{0,77}$) характеризуются большим коэффициентом термического расширения, а карбиды и нитриды тех же металлов состава ($TiC_{1,0}$, $TiN_{0,68}$, $ZrC_{1,0}$ и $ZrN_{0,9}$) имеют высокие значения микротвердости, а также в зависимости от нестехиометрии изменяются теплопроводность и модуль упругости.

Выявлены закономерности изменения фазового и химического состава, структуры и свойств ионно-плазменных покрытий за счет взаимодействия компонентов (количественное и качественное соотношение компонентов). Показано, что при выборе состава покрытий необходимо основываться комплексно на фундаментальные физические основы взаимодействия переходных металлов IV-VI групп и с неметаллами, в частности с азотом, углеродом и кислородом, а также диаграммы состояния «состав – структура – свойства», и p-T-x (давление-температура-состав) диаграмма для ионно-плазменного технологического процесса позволяют выбрать оптимальный состав покрытия с требуемыми свойствами.

Таким образом, установлено, что актуальным и целесообразным является создание многокомпонентных покрытий на базе переходных металлов и их нитридов, оксидов и карбидов. Весьма важным также является изучение роли легирования покрытий, как металлами, так и неметаллами на их эксплуатационные свойства.

В третьей главе диссертации **«Исследование теоретических основ выбора состава композиционных наноструктурированных покрытий на основе адгезионного взаимодействия с обрабатываемым материалом и**

субстратом» рассмотрено адгезионное взаимодействие покрытия с обрабатываемым материалом и подложкой. На границе соприкосновения двух фаз при благоприятных условиях происходят физико-химические процессы взаимодействия. Их разделяют на первичные и вторичные. Возникновение Ван-дер-ваальсовых сил притяжения или химической связи между покрытием и покрываемым материалом - будь то ионная, ковалентная или металлическая связь – есть первичный процесс, имеющий чисто поверхностный характер и приводящий к возникновению адгезии, т.е. притяжения между атомами, находящимися в разных фазах. Адгезия имеет размерность работы; физической мерой адгезии служит удельная работа адгезии, т.е. работа разделения жидкой и твердой фаз $W_{тж}$ или двух твердых фаз $W_{тт}$ с площадью контакта равной единице.

Адгезия покрытий к металлам связана с контактной активностью последних. Межфазовое взаимодействие на границах между металлами и твердыми покрытиями и расплавами разных типов интерпретируется в настоящее время на основе нескольких исходных позиций. В качестве теоретического критерия адгезии и контактной активности металлов принимается изобарный потенциал ΔG_T^0 реакций, протекающих в двухмерном моноатомном пограничном слое (термодинамический критерий).

Выявлено влияние фазового и химического состава покрытий на свободную энергию их образования - ΔG^0 (рис.1,2). Установлена зависимость между фазовым составом и свободными энергиями образования тугоплавких соединений $\Delta G^0_{обр}$. На основе адгезионного термодинамического критерия выявлены предложены ряд составов износостойких покрытий на основе карбидов переходных металлов VI- V- IV групп (в порядке увеличения адгезионной активности).

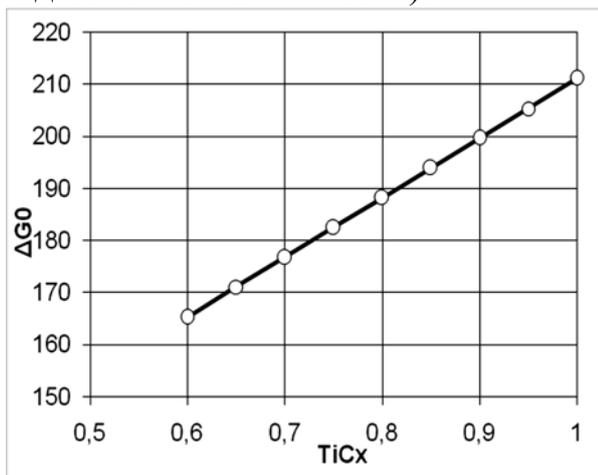


Рис. 1. Зависимость изменения ΔG^0 TiC_x от доли углеродной фазы

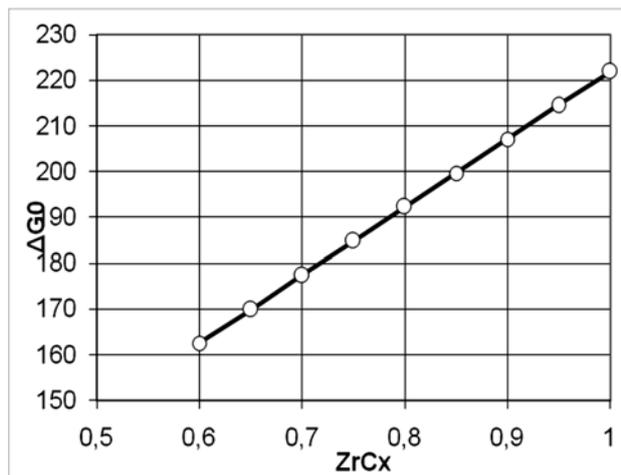


Рис. 2. Зависимость изменения ΔG^0 ZrC_x от доли углеродной фазы

Например, в качестве покрытия на режущем инструменте, предназначенном для механической обработки вязко-пластичных сплавов рекомендованы соединения на основе карбидов переходных металлов VI- V- IV групп, обладающие наиболее низким адгезионным взаимодействием с

вязко-пластичными сплавами, и как следствие, наименее подверженные износу. Это позволит увеличить производительность их механической обработки (скорости резания v , толщины срезаемого слоя t , подачи s) при одновременном повышении износостойкости режущего инструмента.

Интенсивность действия адгезионной составляющей износа прямо пропорциональна интенсивности схватывания и прочности образующихся связей и обратно пропорциональна сопротивлению инструментального материала зарождению и развитию микротрещин.

Установлена зависимость между фазовым составом и свободными энергиями образования тугоплавких соединений.

На основе адгезионного термодинамического критерия предложен ряд составов износостойких покрытий на основе карбидов переходных металлов VI-V-IV групп - $WC \rightarrow VC_{0,6} \rightarrow VC_{0,9}Nb_{0,1} \rightarrow NbC_{0,6} \rightarrow TaC_{0,6} \rightarrow HfC_{0,6}$ (в порядке увеличения адгезионной активности).

В четвертой главе диссертации **«Экспериментальные исследования фазового, химического состава, электронного и атомного строения свойств карбидов и нитридов титана, циркония, хрома и разработка эффективных составов композиционных наноструктурированных покрытий на их основе»** рассмотрено исследование физико-механических и физико-химических свойств, являющихся основополагающими при создании покрытий с требуемыми свойствами. Поэтому изучение и правильный выбор метода комплексного исследования покрытий является важным составляющим данной работы. Исследованы химический состав, электронная и атомная структуры покрытий. Композиционные наноструктурированные покрытия на основе нитрида титана получены на модернизированной установке УВНИПА-1-001в институте Ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз на образцах и режущих инструментах: сверла и метчики из быстрорежущей стали Р6М5.

Исследование химического и фазового состава полученных покрытий проводилось в лаборатории «Ионно-плазменные технологии» института Ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, методом Оже-спектроскопии и рентгеноструктурного анализа. На основе Оже-спектроскопии установлено, что покрытия на основе нитрида титана имеют различный нестехиометрический состав, который колеблется от $TiN_{0,626}$, соответствующий давлению азота $P_{N_2} = 0,0039\text{Па}$ до $TiN_{0,960}$, соответствующий $P_{N_2} = 0,399\text{Па}$ (рис. 3-6).

Выявлено, что покрытия в основном состоят из TiN_x с г.ц.к. решеткой типа NaCl. В покрытиях также обнаружены следы α -Ti, что объясняется особенностями технологического процесса формирования покрытий.

Определено, что изменение нестехиометрии оказывает весьма существенное влияние на эксплуатационные свойства покрытий. Так с уменьшением содержания азота в TiN_x с 43,60325 ат.% до 34,27528 ат.% коррозионная стойкость возрастает в ~ 3 -6 раз. Фазовый состав покрытий изучался методом рентгеноструктурного анализа.

Суть данного метода заключается в облучении образца рентгеновским излучением и улавливании отраженных лучей. Исследования фазового состава производили на дифрактомере ДРОН-2,0. В данном дифрактомере используется трубка типа БСВ-11. Основные характеристики дифрактомера следующие: максимальное напряжение – 50 кВ; максимальный анодный ток – 60 мА; пределы измерения углов дифракции от -90 до $+164^\circ$; угловая отметка производится через $0,1^\circ$ и $1,0^\circ$. Точность измерения углов дифракции $\pm 0,005^\circ$. Самопишущий потенциометр КСП-4: погрешность показаний на шкале $0,25\%$, погрешность записи на диаграммной ленте $0,5\%$.

Фазовый рентгеноструктурный анализ показал, что покрытие на всех образцах состоит из одной фазы – TiN с г.д.к. решеткой типа NaCl.

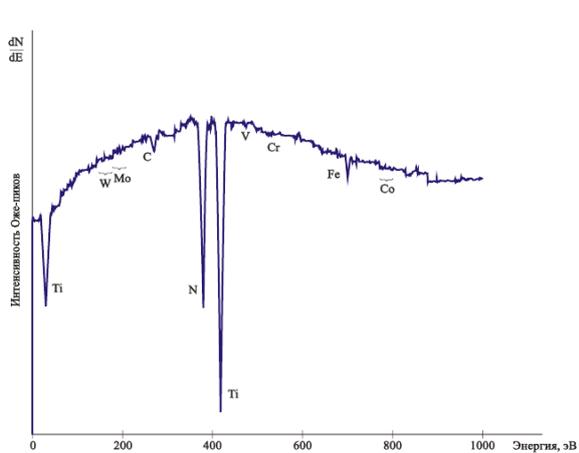


Рис. 3. Оже-спектр покрытия на основе нитрида титана при давлении: $P = 0,399$ Па

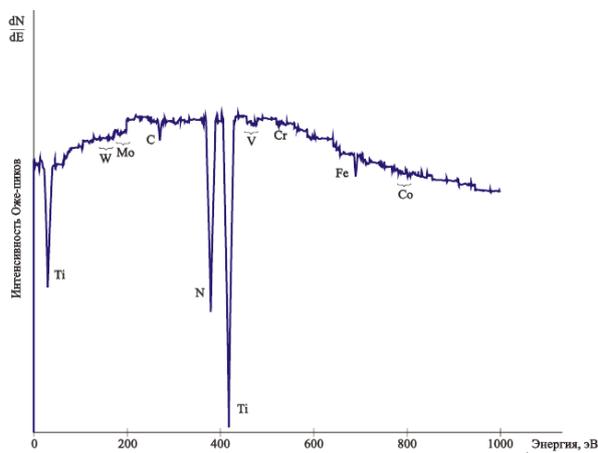


Рис. 4. Оже-спектр покрытия на основе нитрида титана, полученного при давлении: $P = 0,0931$ Па

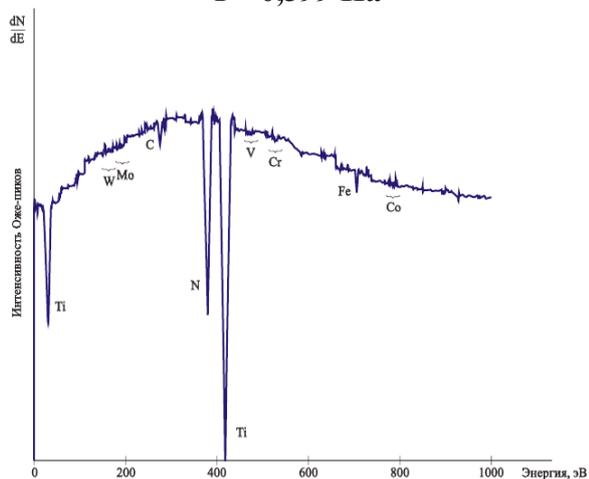


Рис. 5. Оже-спектр покрытия на основе нитрида титана, полученного при давлении: $P = 0,0665$ Па

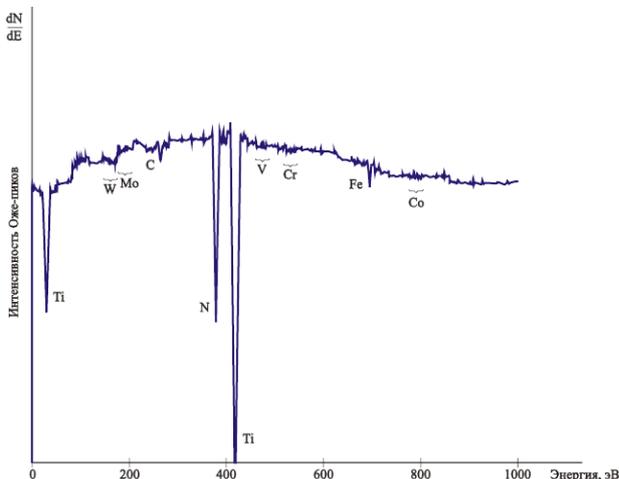


Рис. 6. Оже-спектр покрытия на основе нитрида титана, полученного при давлении: $P = 0,039$ Па

Экспериментальное значение периода кристаллической решетки больше табличного ($a_{\text{табл.}} = 0,4235$ нм) и уменьшается с уменьшением остаточного давления в камере. Содержание азота в покрытиях на основе нитрида титана TiN_x влияет на период кристаллической решетки (рис.7).

Таблица

Влияние давления азота на состав, свойства и на размеры наночастиц покрытий на основе TiN_x

Давления азота P_{N_2} , Па	Нестехиометрический состав покрытий	Период кристаллической решетки a , нм	Микротвердость, H_c , кгс/мм ² .	Размеры наночастиц, нм
0,4-0,5	$TiN_{0,962}$	0,427021	1470	200 - 500
0,093	$TiN_{0,948}$	0,426494	1680	170- 310
0,066	$TiN_{0,871}$	0,425969	1755	100-160
0,03-0,04	$TiN_{0,777}$	0,425238	1805	50 - 200
0,004	$TiN_{0,624}$	0,421169	1140	50 - 100

В таблице приведены состав и свойства покрытий в зависимости от изменения давления азота в вакуумной камере и нестехиометрии (рис.8). Высокой коррозионной стойкостью обладает сталь с покрытием $TiN_{0,624}$, коррозионная стойкость стали с покрытием тем выше, чем больше отклонение состава покрытия от стехиометрии (рис. 9).

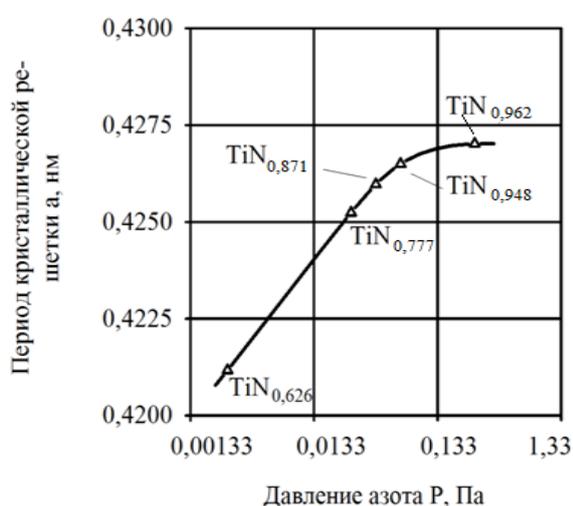


Рис.7. Влияние нестехиометрии на период кристаллической решетки нитрида титана

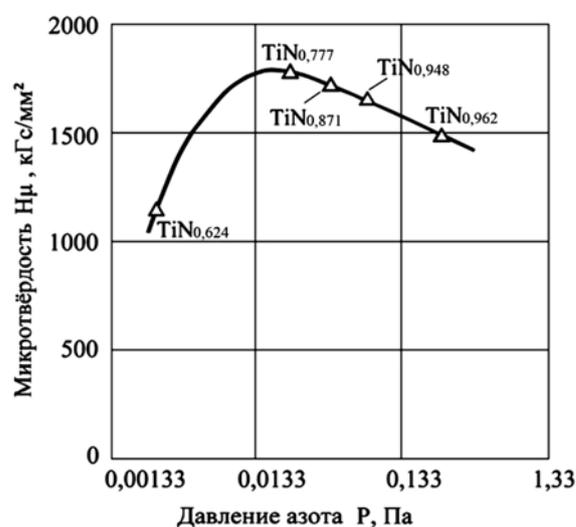


Рис. 8. Влияние нестехиометрии на микротвердость покрытий

Исследованы структура, состав и свойства композиционных наноструктурированных износостойких покрытий на основе хрома. Для нанесения покрытий хрома на образцы из стали Р6М5 использовался метод ионно-плазменного (магнетронного) распыления с предварительной обработкой поверхности источником ионов на вакуумной установке УВН - 75Р-1(институт Ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз). Данная задача в настоящее время рассматривается на основе нанотехнологий формирования тонких покрытий на основе хрома. Измерение толщины покрытия проводилось на микроинтерферометре типа МИИ-4 по стандартной методике.

По проведенным измерениям максимальная толщина покрытия хрома составила около 2,4 мкм для времени осаждения 20 минут.

Исследования показали, что толщина покрытий хрома пропорциональна времени осаждения в интервале 2-20 минут.

Адгезионная прочность покрытий исследовалась методом нормального отрыва от поверхности покрытий приклеенных металлических стержней.

Исследования химической устойчивости образцов с покрытиями в растворе азотной и плавиковой кислоты показали высокую стойкость защитных покрытий хрома. Для покрытий толщиной менее 1 мкм количество точек коррозии (пор в покрытии) было в 5-10 раз больше, чем для покрытий толщиной 2,3-2,5 мкм. Из этого следует, что толщина хромового покрытия существенно влияет на коррозионную стойкость при различных режимах.

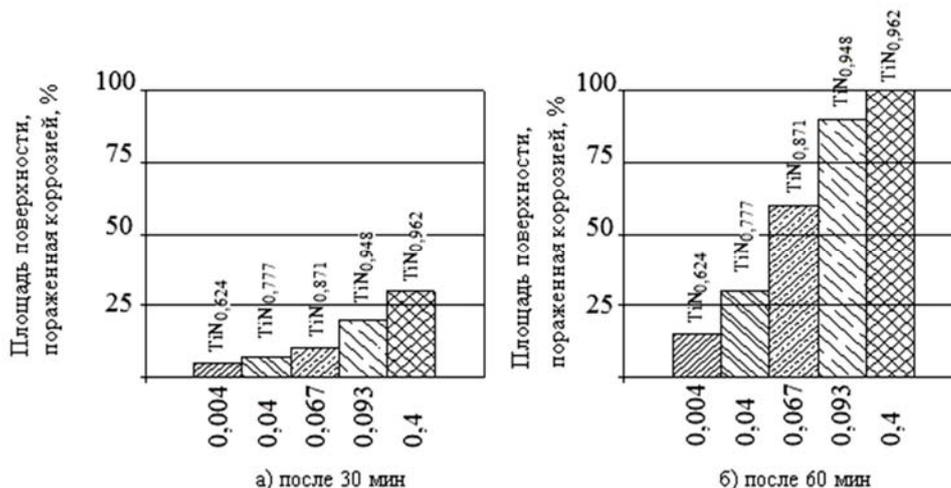


Рис. 9. Влияние нестехиометрии на коррозионную стойкость покрытий

Информация о рельефе поверхности и размере агломератов наночастиц хрома получена при помощи просвечивающей электронной микроскопии ПЭМ-100 в институте Физики и химии полимеров АН РУз. Для исследования поверхности получали двухступенчатые Pt/C реплики. Электронно-микроскопические исследования показали, что на образцах при различных условиях наблюдаются структуры с наночастицами хрома. Показано, что при формировании наноструктур из Cr с максимальным количеством хромсодержащей фазы получают при режиме: $P=3 \cdot 10^{-2}$ Па, при этом формируются шаровидные наночастицы хрома размером от 66 нм до 130 нм, а для образца, полученного при режиме: $P=3 \cdot 10^{-3}$ Па наблюдаются наночастицы хрома большего размера (66-200 нм). На третьем образце наблюдается наноструктура неоднородная по размерам, наночастицы с размерами от 20 нм до 230 нм. При чем надо отметить, что количество наночастиц в этом образце гораздо меньше, чем в предыдущих двух образцах. Размеры и объемное количество наночастиц в хромовых покрытиях в зависимости от технологических режимов представлены на рисунках 10, 11.

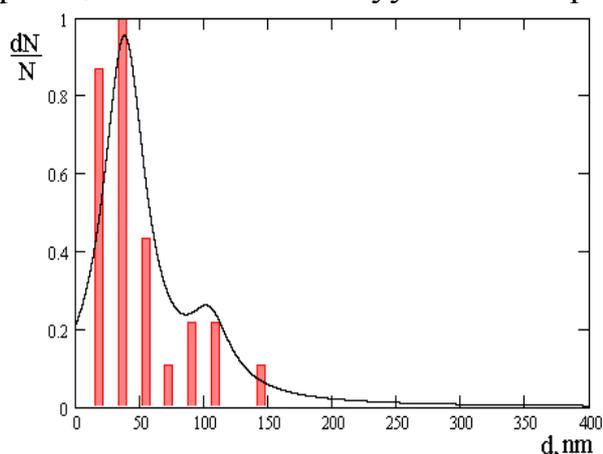
На основе проведенных исследований можно сделать заключение о широких возможностях получения покрытий нанометрового размера.

Выявлено, что давление в вакуумной камере оказывает влияние на размер частиц (рис. 12, 13.) так, например, образец 1 – режим: $P=3 \cdot 10^{-2}$ Па, размеры наночастиц 50 нм и 100 нм; образец 2 - $P=3 \cdot 10^{-3}$ Па, размеры наночастиц 55 % 70 нм, 15 % 120 нм, 30% 170 нм.

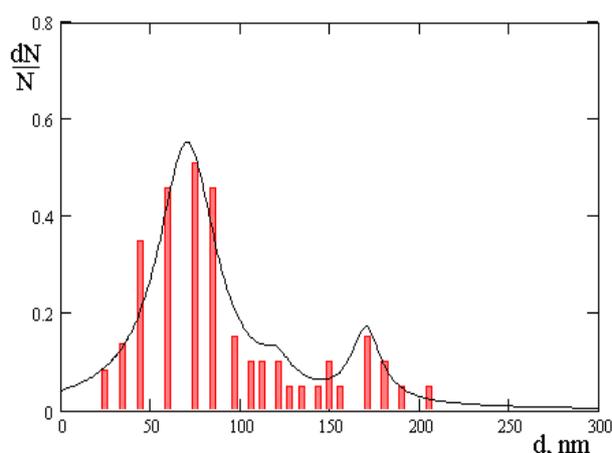
Полученные результаты позволяют сделать заключение, что, варьируя

технологическими режимами процесса, можно регулировать размеры и объемное количество наночастиц в хромовых покрытиях.

Магнетронным распылением нами были получены покрытия на основе циркония, легированные ниобием. Исследовано влияние толщины покрытий на основе оксида Zr-Nb на твердость, коррозионную стойкость. Установлено, что с увеличением толщины покрытия до 3 мкм коррозионная стойкость достигает своего максимального значения, а затем уменьшается. Для определения межплоскостных расстояний и идентификации вещества сделан расчет дифрактограмм покрытий Zr-Nb, полученных при различных режимах: $P = 0,399$ Па, $P = 0,0931$ Па, $P = 0,0665$ Па, $P = 0,039$ Па, $P = 0,0039$ Па реакционного газа в вакуумной камере.



**Рис. 10. Образец 1 – режим:
 $P=3 \cdot 10^{-2}$ Па, размеры наночастиц
50 нм и 100 нм**



**Рис. 11. Образец 2 - $P=3 \cdot 10^{-3}$ Па,
размеры наночастиц 55 % 70 нм,
15 % 120 нм, 30% 170 нм**

Изучение износостойкости ионно-плазменных покрытий проводили на специальной установке, созданной на базе сверлильного станка. Абразивный износ оценивали при 25°C по убыли массы образцов при их перемещении по абразивному кругу после заданного числа оборотов (что соответствовало определенной длине пути) при контактном давлении 0,2 МПа и скорости скольжения образцов 1,1 м/с. Число оборотов фиксировали по электронному счетчику Ф5071, внутри шаговая погрешность, которого не превышала 10 мкм. Измерения массы образцов проводили на аналитических весах ВЛР-200, допускаемая погрешность взвешивания составляла $\pm 0,5$ мг. Испытания на стойкость режущих инструментов с покрытием проводились на сверлильном станке и на вертикально - фрезерном станке.

Исследованы композиционные наноструктурированные покрытия на основе карбидов титана, полученные ионно-плазменным методом на вакуумной установке ННВ-6.6-И1 на УзКТЖМ (НПО «Производство редких металлов и твердых сплавов» АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат»). Исследования химического состава, электронной и атомной структуры (рис. 12,13) композиционных наноструктурированных покрытий на основе карбидов Ti были проведены методом HREELS (spectroscopy of energy losses of high-resolution electrons – спектроскопия энергетических

потерь электронов высокого разрешения), XPS (X-ray photoelectron spectroscopy – рентгеновская фото – электронная спектроскопия), AES (electronic Auger spectroscopy – электронная Оже-спектроскопия) в лабораториях института Металлофизики ЦНИИЧерМет (г.Москва).

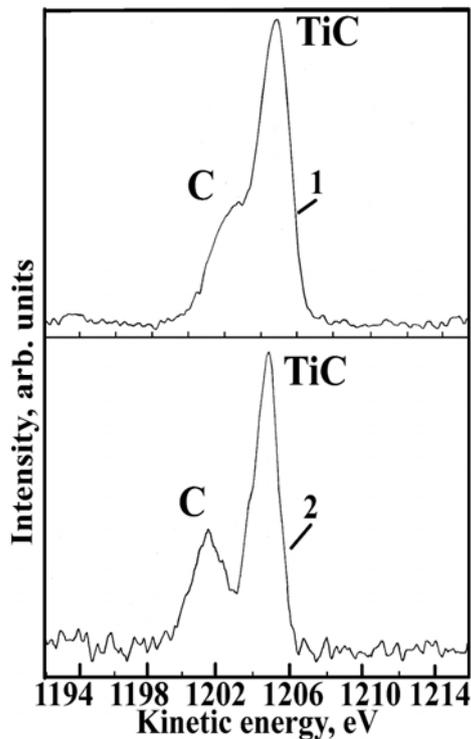


Рис. 12. Фотоэлектронный спектр ионно-плазменных TiC-покрытий при различных давлениях (P) реактивного газа: 1 – 0,004 Па; 2 – 1,06 Па

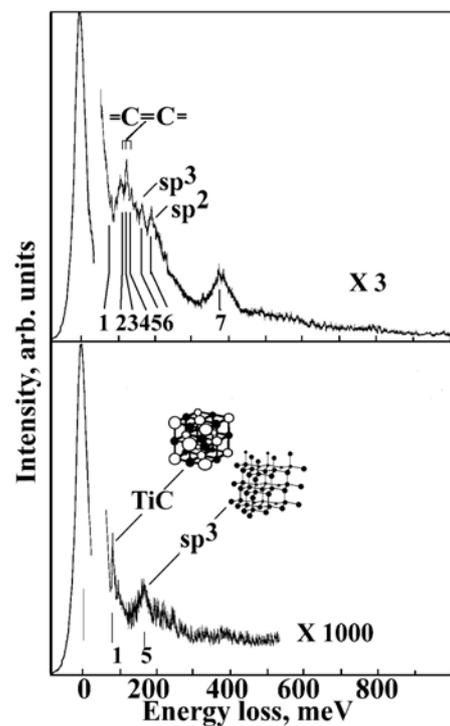


Рис. 13. Спектры TiC - ионно-плазменных покрытий, сформированные при давлении реактивного газа 1,06 Па перед (1) и после 900° C травления в Ar+ (2)

На основе экспериментальных исследований композиционных наноструктурированных покрытий на основе TiC были уточнены р-Т-х диаграммы для TiC. На диаграммах можно проследить, что в широкой области давления ацетилена, соответствующей содержанию титана и углерода образуются композиционные наноструктурированные покрытия как стехиометрического, так и нестехиометрического состава. Также обнаружен свободный алмазоподобный углерод, наличие которого зависит от условия осаждения. На основе диаграмм состояния и свойств совместно с р-Т-х диаграммой имеется возможность определения оптимальных составов карбид титановых покрытий и соответствующих им технологических режимов получения выбранного состава через давление газа и температуру подложки.

Необходимо отметить, что на основе проведенных комплексных исследований, разработаны составы и исследованы композиционные наноструктурированные покрытия, свойства которых описаны и приведены в диссертационной работе.

В пятой главе диссертации **«Технологические и экономические аспекты разработанных эффективных составов и оптимальных технологических режимов, получения композиционных**

наноструктурированных покрытий, сформированных ионно-плазменным и магнетронным распылением» представлены разработанные оптимальные режимы технологических процессов формирования композиционных наноструктурированных покрытий на основе хрома, нитридов титана, циркония-ниобия, а также результаты расчета экономической эффективности разработанного покрытия.

Эксплуатационные характеристики композиционных наноструктурированных покрытий определяются их фазовым, химическим составом и структурой. В процессе формирования композиционных наноструктурированных покрытий ионно-плазменным методом и магнетронным распылением основными регулируемыми параметрами являются: температура подложки, давление реакционного газа в вакуумной камере и скорость осаждения покрытий, а также продолжительность нанесения покрытия, ток разряда и потенциал смещения.

Технологический процесс нанесения композиционных наноструктурированных покрытий на основе хрома. *Последовательность технологического процесса:* режим нанесения покрытия - расстояние от катода до поверхности образцов- 120-130 мм; давление рабочего газа (аргона, азота)- $2 \cdot 10^{-1}$ Па; напряжение на катоде при распылении- минус 550В; ток разряда при распылении- 2,0-2,2А; время осаждения покрытия хрома- 5-20 минут (толщина покрытия регулируется временем осаждения); температура образцов во время проведения осаждения покрытий не превышает 150°C.

Технологический процесс нанесения композиционных наноструктурированных покрытий на основе карбида титана. *Последовательность технологического процесса:* режим нанесения покрытия - снижение напряжения на оснастке до 100В (ток до 300 мА) и напуск газа C_2H_2 до заданного уровня; время осаждения карбида титана во всех образцах- 10 минут; давление C_2H_2 в камере - $3 \cdot 10^{-2}$ Па; обработка поверхности потоком плазмы титана (ток дугового разряда 75А);- ток на оснастку до 1,0А;- напряжение до 1,5 кВ в течение 3-4 минут; нанесение покрытия TiC при напуске C_2H_2 или смесей углеводородов до давления порядка $2 \cdot 10^{-1}$ Па (ток дугового разряда 75А, напряжение на оснастке 100В); средняя скорость осаждения TiC не превышает 2 нм/с; время осаждения покрытия 10-12 мин.

Технологический процесс нанесения композиционных наноструктурированных покрытий на основе циркония-ниобия. *Последовательность технологического процесса:* режим нанесения покрытия - расстояние от катода до поверхности образцов - 200-250 мм; давление рабочего газа (аргона)- $2 \cdot 10^{-1}$ Па; напряжение на катоде при распылении- минус 550В; ток разряда при распылении - 2,0-2,2А; время осаждения покрытия - 15-25 минут (толщина покрытия регулируется временем осаждения); температура образцов во время проведения осаждения покрытий не превышает 150°C.

Технологический процесс нанесения композиционных наноструктурированных покрытий на основе нитрида титана.

Последовательность технологического процесса: режим нанесения покрытия - снижение напряжения на оснастке до 100В (ток до 300 мА) и напуск азота до заданного уровня; время осаждения нитрида титана во всех образцах- 10 минут; давление азота в камере $-3 \cdot 10^{-2}$ Па; обработка поверхности потоком плазмы титана (ток дугового разряда 75А); ток на оснастку до 1,0А;напряжение до 1,5 кВ в течение 3-4 минут; нанесение покрытия TiN при напуске азота или смесей азота с углеводородами до давления порядка $2 \cdot 10^{-1}$ Па (ток дугового разряда 75А, напряжение на оснастке 100В); средняя скорость осаждения TiN не превышает 2 нм/с.

Показано, что упрочнение режущих инструментов из Р6М5 ионно-плазменными композиционными наноструктурными покрытиями на основе TiN позволяют повысить стойкость инструмента в 2,5- 3 раза.

Расчет фактического экономического эффекта от применения 1,1т режущих инструментов с ионно-плазменными композиционными наноструктурными покрытиями на основе TiN составил 53,3 млн.сум (Акт внедрения от 16.03. 2017, справка АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» от 25 .08.2018 № ОП - 07229)

Произведен расчет ожидаемой экономической эффективности применения режущего инструмента из Р6М5 с композиционным наноструктурированным покрытием на основе TiN. Ожидаемый экономический эффект при расчетной программе выпуска 15т составит 631 млн.369 600 сум.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработаны научные принципы выбора компонентов композиций и оптимальные режимы технологического процесса при получение покрытий ионно-плазменным методом. При выборе химического и фазового состава вакуумных покрытий рекомендовано использование универсальной «р-Т-х» диаграммы.

2. На вакуумной установке получены композиционные наноструктурированные покрытия на поверхности режущих инструментов (сверлах и метчиках) из быстрорежущих сталей и предложено получение покрытий с размером наночастиц 50-200нм.

3. Определены параметры кристаллической решетки в зависимости от химического состава покрытий. Увеличение стехиометрического коэффициента «х» от 0,624 до 0,962 приводит к росту периода кристаллической решетки с $a = 0,421169$ нм до $a = 0,427021$ нм.

4. Изменение нестехиометрии при рассмотрении покрытий на основе TiN_x приводит к уменьшению содержания азота с 43,60325 ат.% до 34,27528 ат.%. В результате достигнуто повышение коррозионной стойкости до ~6 раз и максимум микротвердости соответствует нестехиометрическому составу $TiN_{\sim 0,80}$.

5. Рекомендованы нестехиометрические составы покрытий на основе нитрида титана $TiN_{0,80-0,92}$, соответствующие оптимальным эксплуатационным свойствам.

6. Для получения покрытий на основе хрома состоящих из наночастиц размером от 45 - 200 нм рекомендованы следующие технологические режимы: 1 – $P = 3 \cdot 10^{-2}$ Па; 2 - $P = 5 \cdot 10^{-1}$ Па; 3 – $P = 3 \cdot 10^{-4}$ Па.

7. Определено количественное распределение наночастиц в хромовых покрытиях: при $P = 3 \cdot 10^{-3}$ Па состоит из 55 % - 70 нм, 15% - 120 нм, 30% - 170 нм, $P = 3 \cdot 10^{-4}$ Па состоит на 97% из наночастиц 45 нм размера, основная часть наночастиц имеет размер 50 - 100 нм и для получения наночастиц необходимого размера рекомендован данный технологический режим.

8. Изменение эксплуатационных свойств композиционных наноструктурированных покрытий на основе Zr-Nb, их нитридов и оксидов, полученных ионно-плазменным методом магнетронного напыления, объясняется влиянием толщины покрытия, а также ток дуги.

9. Для достижения максимальной коррозионной стойкости рекомендованы покрытия на основе оксида Zr-Nb толщиной 3 мкм.

10. При получении композиционных наноструктурированных покрытий на основе оксида Zr-Nb с увеличением тока дуги от 1 до 3А достигнуто повышение толщины покрытия в 4 раза, рекомендована технология получения композиционных наноструктурированных покрытий на основе Zr-Nb, их нитридов и оксидов.

11. Установлена зависимость между фазовым составом и свободными энергиями образования тугоплавких соединений. На основе адгезионного термодинамического критерия рекомендован ряд составов износостойких покрытий.

12. При получении эффективных составов ионно-плазменных композиционных наноструктурированных покрытий на основе нитридов, карбидов, оксидов титана, хрома и циркония рекомендованы оптимальные технологические режимы.

13. Проведены производственные испытания и внедрены режущие инструменты с разработанными композиционными наноструктурированными покрытиями на основе оксидов, нитридов, карбидов циркония, титана и хрома в НПО «Производство редких металлов и твердых сплавов» АО «Алмалыкский ГК». Обеспечено увеличение стойкости (износостойкость) режущих инструментов с покрытиями повышается в 3 - 5 раз. Фактический экономический эффект при использовании объема 1,1т режущих инструментов с ионно-плазменными композиционными наноструктурированными покрытиями составил 53,3 млн. сумм (получен акт внедрения от 16.03 2017г. и справка АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» ОП-07229), ожидаемая экономическая эффективность для объема 15т составит 631 млн. 369 600 сум.

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY
NAMED AFTER ISLAM KARIMOV
SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.27.06.2017.K/T.03.01 AT STATE UNITARY ENTERPRISE
«FAN VA TARAKKIYOT»**

**STATE UNITARY ENTERPRISE «FAN VA TARAKKIYOT»
TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY
NAMED AFTER ISLAM KARIMOV**

KADIRBEKOVA KUTPINISA KARIMOVNA

**DEVELOPMENT OF EFFECTIVE COMPOSITIONS AND OPTIMAL
TECHNOLOGICAL REGIMES, PREPARATION OF COMPOSITE
NANOSTRUCTURED COATINGS BY PHYSICAL METHOD**

**05.02.01 – Materials science in mechanical engineering. Foundry production.
Heat treatment and handling of metals pressure. Metallurgy of ferrous, non-
ferrous and rare metals (materials science and metallurgy sciences)**

**DISSERTATION ABSTRACT
OF THE DOCTOR OF SCIENCE
ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent-2018

The theme of dissertation of doctor of science was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2018.3.DSc/T33.

The dissertation has been prepared at the Tashkent State Technical University after Islam Karimov and State Unitary Enterprise «Fan va tarrakiyot».

The abstract of the dissertation was posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the Scientific Council website www.gup.ft.uz and on the website of «Ziyonet» Information and Educational portal www.ziyonet.uz.

Scientific consultant:

Saydakhmedov Ravshan Khalkhadjaevich
doctor of technical science, professor

Official opponents:

Radjabov Telman Dadayevich
chairman of the scientific council
awarding scientific degrees, doctor of
fizico-mathematical sciences, professor

Mikhriddinov Riskidin
doctor of technical sciences, professor

Riskulov Alimjon Akhmadjonovich
doctor of technical sciences, professor

Leading organization:

Andijan machine building institute

The defense will take place «____» _____ 2017 at ____ the meeting of Scientific council No.DSc.27.06.2017.K/T.03.01 at Tashkent State technical university named after Islam Karimov at State unitary enterprise «Fan va tarakkiyot», (Address:100174, Tashkent city, Almazar district, Mirzo Golib street, 7a. tel/fax:(+99871) 246-39-28/(+998971) 227-12-73,e-mail:gupft@inbox.uz).

The dissertation can be reviewed at the information resource centre of the state unitary enterprise «Fan va tarakkiyot», (is registered under No.6). Address:100174, Tashkent city, Almazar district, MirzoGolib street, 7a. tel/fax:(+99871) 246-39-28/(+998971) 227-12-73,e-mail:gupft@inbox.uz).

Abstract of dissertation sent out on «____» _____ 2018 y.
(mailing report No.6on «____» _____ 2018 y.).

S.S. Negmatov
chairman of the scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

M.G. Babaxanova
scientific secretary of the scientific council
awarding scientific degrees,
candidate of chemical sciences, s.r.a

N.Talipov
chairman of the academic seminar under the
scientific council awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, s.r.a

INTRODUCTION (abstract of DSc thesis)

The aim of the research work is the development of effective compositions, improving physico-mechanical, physico-chemical properties of composite nanostructured coatings and optimal technological regimes for their production by a physical method by using ion-plasma method.

The objects of the research work: the object of research is a cutting tool for processing viscous-plastic and hard-to-digest materials.

Scientific novelty of the research work:

stoichiometric and non-stoichiometric coating compositions have been determined in the process of obtaining coatings based on titanium nitride, titanium carbide and zirconium ion-plasma coatings, and nanostructured coatings have been obtained on high-speed steels with different ratios of their constituents from $\text{TiN}_{0.962}$ at $P_{\text{N}_2} = 0.399\text{Pa}$ to $\text{TiN}_{0.624}$ at $P_{\text{N}_2} = 0.0039\text{ Pa}$ and the sizes of their nanoparticles have been determined from 50 to 200 nm;

"p-T-x" diagrams TiC_x , ZrC_x , allowing to predict the phase and chemical compositions of composite nanostructured coatings have been improved;

the principles of choosing the effective composition of composite nanostructured coatings were formed by the ion-plasma method and the optimal modes of the technological process have been developed;

in choosing the chemical and phase composition of vacuum coatings, a universal "p-T-x" diagram is used;

The qualitative and quantitative ratios of nanoparticles in coatings have been determined, depending on the pressure in the vacuum chamber: at $P = 3 \cdot 10^{-3}\text{Pa}$ it consists of 55% -70 nm, 15% - 120 nm, 30% - 170 nm. The structure of coatings based on chromium obtained at a pressure $P = 3 \times 10^{-4}\text{ Pa}$ in a vacuum chamber is determined to consist of 97% of nanoparticles of 45 nm in size;

the effect of ion-plasma process regimes on the distribution and quantitative values of nanoparticles of a composite nanostructured coating based on chromium has been established;

it was found that the influence of doping of zirconium with niobium allows optimizing the operational properties of coatings;

the physico-chemical properties and adhesion interaction of coatings with the processed base material have been optimized due to non-stoichiometry and optimal technological regimes for the preparation of composite nanostructured coatings with an effective composition have been developed.

Implementation of the research results. On the basis of scientific results, obtained in the research of the principles of selecting the composition of functional ion-plasma coatings and the development of technology:

cutting tools with developed coatings have been introduced in the SPA "Production of precious metals and hard alloys" under Almayk MMC for improvement the durability of the processing tool (reference on the implementation of research results in JSC Almayk MMC from August 25, 2018 No. OP.- 07229). As a result, the wear resistance of cutting tools have been increased by 3-5 times;

the obtained nanostructured coatings based on titanium nitride with different ratio of components have been implemented at the Almalyk Mining and Metallurgical Combine (reference from AMMC, August 25, 2018 No. OP.-07229). As a result, it makes possibility to reduce costs for expensive material in several time;

improvement of TiC_x , ZrC_x "r-T-x" diagrams allowed to predict the compositions and properties of coatings in practice at the Almalyk Mining and Metallurgical Combine (reference from Almalyk Mining and Metallurgical Combine of August 25, 2018 No. OP.- 07229). As a result, it is possible to reduce the cost of expensive experiments using unique equipment;

the developed technology for obtaining a new composition of ion-plasma nanostructured coating is implemented for practical use in the AMMC (reference from Almalyk Mining and Metallurgical Combine of August 25, 2018 No. OP.-07229). As a result, it makes it possible to increase the costs of tools and parts, reduce costs and in increase actual economic efficiency.

The structure and volume of the thesis. The thesis consists of an introduction, five chapters, conclusion, the list of used literature and appendixes. The thesis volume consists of 198 pages.

ЭЪЛОНҚИЛИНГАНИШЛАРРЎЙХАТИ
СПИСОКОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть, I part)

I часть (I бўлим, I part)

1. Сайдахмедов Р.Х., Камардин А.И., Кадырбекова К.К. Вакуумные функциональные покрытия и ионно-стимулированные процессы в машиностроении и приборостроении. Ташкент. Т.: Фан. 2008. 369с.

2. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Камардина А.И. «Наноструктурные покрытия и современные методы обработки материалов». Ташкент. Т.: «Фан», 2012. 198 с.

3. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К. Высокоэффективная модификация поверхности изделий формированием многослойных и многокомпонентных покрытий. Т.: «Fanvatexnologiya», 2017. 260 с.

4. Saydakhmedov R. Kh., Kadirbekova K. K., Bakhadirov K. G., Umarov E. A.P-T-C diagrams for Ti - C base coatings obtained by Physical Vapour Deposition methods. European Science Review. № 1–2 2017 January–February. 43-48p. (05.00.00. №3).

5. Saydakhmedov R. Kh., Kadirbekova K. K., Bakhadirov K. G. Investigation of the structure, dispersion, and properties of nanostructural coatings based on chrome modified by magnetron sputtering. European Science Review. № 1–2 2018 January–February. 39-43p. (05.00.00. №3).

6. Сайдахмедов Р. Х., Кадырбекова К.К., Еленский О.О. Расчетно-экспериментальные исследования нестехиометрических покрытий на основе нитридов титана и циркония. Доклады Академии наук Республики Узбекистан 2005. №5. С. 24-27. (05.00.00. №9).

7. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К. Влияние нестехиометрии на микротвердость и коррозионную стойкость покрытий на основе переходных металлов. Проблемы механики. 2006. № 4. С. 34-41. (05.00. 00. №6)

8. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К. Исследование наноструктурных покрытий на основе хрома. Ташкент. Вестник ТашГТУ. 2010 № 3-4. С. 104-106. (05.00.00. №16).

9. Кадырбекова К.К. Функциональные наноструктурные покрытия на режущих инструментах. Композиционные материалы, Ташкент, 2015. №4. С. 99-100. (05.00.00. №13).

10. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Шереметьев В.А. Влияние модернизации вакуумной рабочей камеры на технологические параметры процессы. Вестник ТашГТУ, № 2. Ташкент. 2016. С. 127-132. (05.00.00. №16).

11. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Саидахмедова Г.Р. Влияние нестехиометрии на физико-механические свойства и адгезионное взаимодействие покрытий на основе переходных металлов с обрабатываемым материалом. Доклады Академии наук РУз. № 2, 2017. С. 35-39. (05.00.00. №9).

12. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Саидахмедова Г.Р. Исследование состава и свойств ионно-плазменных покрытий на основе карбида титана. Проблемы механики. 2017. № 1, С. 76-80. (05.00. 00. №6).

13. Кадырбекова К.К., Сайдахмедов Р.Х., Камардин А.И. Термодинамические критерии оценки адгезионного взаимодействия покрытия с обрабатываемым материалом. Композиционные материалы. Ташкент, 2017. №1, С. 44-46. (05.00.00. №13).

II бўлим (II , II part)

14. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Шишкина А.Ю. Патент. №FAR00439. Кесувчи асбоб. 08.05.2008.

15. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Камардин А.И., Саидахмедова Г.Р. Патент. № FAR 20160147. Устройство для ионно-плазменного нанесения покрытий. 03.04.2018.

16. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Еленский О.О. Влияние режимов формирования ионно-плазменного процесса на состав и свойства покрытий. Известия вузов РУз, №1–2, 2005. Ташкент. С. 96-98.

17. Сайдахмедов Р. Х., Кадырбекова К.К., Еленский О.О. Исследование нестехиометрического состава и свойств ионно-плазменных покрытий на основе нитридов титана. Известия вузов РУз, №1–2, 2005. Ташкент. С. 29-33.

18. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Агзамов Р.Б. Исследование свойств покрытий на основе циркония, легированных ниобием. Взаимодействие ионов с поверхностью. ВИП-2005. Труды семнадцатой международной конференции. Москва. 2005. С. 402-404.

19. A.I. Kovalev, D.L.Wainstein, M.G. Karpman, R. Kh. Saidakhmedov, K.K. Kadirbekova, O.O.Elenskii. Experimental verification of P-T-C diagrams for Ti-N and Zr-N PVDcoatings and investigation of its mechanical and corrosion properties. ICTF13/ACSIN8 Book of abstracts, Stockholm, Sweden, 19-23 June 2005, p.152,

20. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Агзамов Р.Б. Исследование свойств покрытий на основе циркония, легированных ниобием. Взаимодействие ионов с поверхностью. ВИП-2005. Труды семнадцатой международной конференции. Москва. 2005. С.402-404.

21. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К. Экспериментальные исследования покрытий на основе нитридов и оксидов циркония и ниобия //Композиционные материалы. Ташкент, 2005. № 3. С.32-34

22. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К. Ионно-плазменные покрытия на основе нитридов титана с заданными свойствами. Труды конференции «Мониторинг летательных аппаратов- 2005», Часть 1, Ташкент 2005. С.25-30.

23. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К. Экспериментальное подтверждение P-T-X-диаграмм для Ti-C и Zr-C покрытий. Проблемы машиностроения и новые материалы (Борисовские чтения): материалы

Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, 14-16 сентября 2006 года, -Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. С.38-43.

24. Сайдахмедов Р. Х., Кадырбекова К.К. Качество режущего инструмента с ионно-плазменными покрытиями. Материалы Второй Всероссийской конференции «Управление качеством образования, продукции и окружающей среды» 5-6 июля, г.Бийск, 2007. Издательство Алтайского ГТУ. С.205-207.

25. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К. Состав и свойства ионно-плазменных покрытий на основе нитридов титана и циркония. Технология металлов. 2007. №11. С.30-35.

26. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Шишкина А.Ю. Влияние нестехиометрии на микротвердость, коррозионную стойкость и фрикционные свойства ионно-плазменных покрытий на основе нитридов титана. Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов. Сборник докладов IX Международного научно-технического конгресса термистов и металлургов. Том II, Харьков. 2008. С. 21–25.

27. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Шишкина А.Ю. Управление качеством образования, продукции и окружающей среды: материалы 4-й Всероссийской научно-практической конференции 11-13 ноября 2010 года. Алтайский государственный технический университет, БТИ. – Бийск: Изд-во. Алтайского гос. технического ун-та, 2010. С. 104-106.

28. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Камардин А.И. Создание качественных защитных покрытий на быстрорежущей стали вакуумно-дуговым методом. Управление качеством образования, продукции и окружающей среды: материалы 4-й Всероссийской научно-практической конференции 11-13 ноября 2010 года. Алтайский государственный технический университет, БТИ. – Бийск: Изд-во. Алтайского гос. технического ун-та, 2010. С. 209-211.

29. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К. Исследование защитных покрытий хрома, нанесенных магнетронным распылением. «Вакуумная наука и техника» Материалы XVII научно-технической конференции. М.: МИЭМ. 2010. С. 387-390.

30. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К. Защитные наноструктурированные покрытия на основе хрома. Современное материаловедение и нанотехнологии. 20-23 октября 2010. Комсомольск-на Амуре. С. 577-580.

31. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К. Защитные покрытия на основе хрома и нитридов хрома. Инновации в машиностроении. 4-7 октября 2010г. Бийск. С. 209-211.

32. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К. О свойствах защитных нанопокровов на основе хрома// Металлургия машиностроения. 2011. №5. С. 29-30.

33. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Шишкина А.Ю., Камардин А.И. Структура и свойства наноструктурных покрытий на основе нитрида

титана. Взаимодействие ионов с поверхностью. ВИП-2011. Труды XVII международной конференции. Москва. 2011. Том 2. С. 140-144.

34. Сайдахмедов Р.Х., К.К. Кадырбекова, А.И. Камардин, Ф.Р.Сайдахмедов, А.Ю. Шишкина. Исследование наноструктурных покрытий на основе хрома. Материалы международной научно-технической конференции «Вакуумная наука и техника», Украина, г. Судак, 2011. С. 94-98.

35. Сайдахмедов Р.Х., Камардин А.И., Кадырбекова К.К., Сайдахмедов Ф.Р. Исследование защитных покрытий хрома, нанесенных магнетронным распылением на сталь. Вакуумная наука и техника» Материалы XVIII научно-технической конференции. М.: МИЭМ. 2011. С. 368-370.

36. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Камардин А.И. Исследование наноструктурных покрытий на основе хрома, нанесенных магнетронным распылением. Материалы международной конференции «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении». г. Андижан, 2012г. С. 43–49.

37. Кадырбекова К.К., Шодмонов Н.К. Ниобий ва цирконий асосли қопламаларни қоплаш технологик жараёнинг параметрларини ва уларни қалинлигини коррозия бардошлигига таъсири. Материалы международной конференции «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении». г. Андижан, 2012г. С.74-77.

38. Сайдахмедов Р.Х., Камардин А.И., Кадырбекова К.К. Устройства и методы вакуумного хромирования материалов для улучшения их характеристик. Материалы международной конференции «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении». г. Андижан, 2012г. С. 65–70.

39. Кадырбекова К.К., Шодмонов Н. Влияние параметров технологического процесса на коррозионную стойкость покрытий на основе ниобия и циркония. Материалы международной конференции «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении». г. Андижан, 2012г. С. 51–54.

40. Кадырбекова К.К., Шодмонов Н. Исследование влияния толщины покрытий на их коррозионную стойкость. Материалы международной конференции «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении». г. Андижан, 2012г. С. 54–57.

41. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Камардин А.И., Хамдамов Ф. Устройства и методы вакуумного хромирования материалов для улучшения их характеристик. «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении» Сборник материалов Международной научно-практической конференции. – Андижан: АндМИ. 2012. С.65-70.

42. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Камардин А.И., Хамдамов Ф. Исследование защитных наноструктурных покрытий на основе нитрида титана, нанесенных вакуумно-дуговым методом на сталь. «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении» Сборник материалов

Международной научно-практической конференции. – Андижан: АндМИ. 2012. С. 84-89.

43. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Камардин А.И., Хамдамов Ф. Вакуумная установка термической и плазменной обработки материалов в вакууме. «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении» Сборник материалов Международной научно-практической конференции. – Андижан: АндМИ. 2012. С. 79-82.

44. Сайдахмедов Р.Х., Камардина А.И., Кадырбекова К.К. Ионная обработка и нанесение вакуумных покрытий на сталь. «Высокие технологии в машиностроении», г. Курган, 2013. С.133-136.

45. Камардин А.И., Симонов А.А., Кадырбекова К.К., Сайдахмедов Р.Х. Вакуумные ионные технологии обработки сталей и нанесения функциональных покрытий. //Труды XXIV Международной конференции «Радиационная физика твёрдого тела», г. Севастополь, Россия, 2014. С. 241-245.

46. Кадырбекова К.К. Остаточные напряжения в покрытиях, формируемых ионно-плазменным методом. Комсомольск-на Амуре. ФГБОУ, 2015. С.182-185.

47. Кадырбекова К.К., Бегатов Ж. Ионные методы формирования алмазо-подобных покрытий. «Новые решения в области упрочняющих технологий: взгляд молодых специалистов», Сб. Научных статей международной научно-практической конференции. 22-23.12.2016. г. Курск. С. 72-76.

48. Кадырбекова К.К. Остаточные напряжения в вакуумных покрытиях. Композиционные материалы, №3. Ташкент.2015. С. 11-15.

49. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Камардина А.И., Саидахмедова Г.Р. Совершенствование устройства для ионно-плазменного нанесения покрытий. Новые решения в области упрочняющих технологий: взгляд молодых специалистов. Сборник научных статей Международной научно-практической конференции 22 - 23 декабря 2016 г. том 2. Курск 2016. С. 241-243.

50. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Саидахмедова Г.Р. Адгезионное взаимодействие покрытий на основе переходных металлов с обрабатываемым материалом. «Композицион ва нанокпозицион материалларни олиш ва қайта ишлашнинг замонавий технологиялари» Республика илмий-техникавий анжумани, 25-26май 2017. С.169-171.

51. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Саидахмедова Г.Р. Состав и свойства ионно-плазменных покрытий на основе карбида титана. «Композицион ва нанокпозицион материалларни олиш ва қайта ишлашнинг замонавий технологиялари» Республика илмий-техникавий анжумани, 25-26май 2017. С. 26-28

52. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Саидахмедова Г.Р. Структура и свойства наноструктурных покрытий на основе хрома, сформированных магнетронным распылением. «Композицион ва нанокпозицион

материалларни олиш ва қайта ишлашнинг замонавий технологиялари» Республика илмий-техникавий анжумани, 25-26май 2017. С. 171-173.

53. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Саидахмедова Г.Р. Состав и структура ионно-плазменного покрытия, полученного на основе карбида титана. Взаимодействие ионов с поверхностью. ВИП-2017. Труды XXIII международной конференции. Москва, Россия, 21-25 августа 2017. С.128-131.

54. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Саидахмедова Г.Р. Состав и свойства ионно-плазменных покрытий на основе карбида титана. Современные технологии получения и переработки композиционных и наноконпозиционных материалов. Сборник научных трудов Республиканской научно-технической конференции. Ташкент. 25-26 мая 2017 г. С.26-28.

55. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Саидахмедова Г.Р. Наноструктурные покрытия на основе хрома и нитрида хрома, сформированные ионно-плазменным методом. Проблемы инновационного развития: производство, образование, наука. Сборник научных трудов научно-технической конференции МВ и ССО РУз. Андижан. 26 апреля 2017. С. 8-12.

56. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Дж. К. Тохиров. Особенности PVD покрытий на основе Zr-Nb. Ташкент. 2018. Материалы республиканской научно-технической конференции. «Новые композиционные и наноконпозиционные материалы: структура, свойства и применение». С. 282-284.

57. Сайдахмедов Р.Х., Кадырбекова К.К., Саидахмедова Г.Р. Принципы выбора покрытий на основе нитрида титана, получаемые методом PVD. Ташкент. 2018. Материалы республиканской научно-технической конференции. «Новые композиционные и наноконпозиционные материалы: структура, свойства и применение». С. 287-289.

Автореферат «Композицион материаллари » журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилиб,
ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнлар ўзаро мувофиқлаштирилди.

Бичими: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» гарнитура рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи: 3,75. Адади 100. Буюртма №9.
«Тошкент кимё-технология институти» босмаҳонасида чоп этилди.
100011, Тошкент, Навоий кўчаси, 32-уй.