

6D071000 – «Материалтану және жаңа материалдар технологиясы» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесіне ұсынылған

БАХЫТУЛЫ НАУРЫЗБЕКТИҢ

«Тозуға төзімді титан карбонитридті жабындыларын әртүрлі элементтермен легирлеу кезінде оның қасиеті мен құрылымының түзілуін зерттеу»

тақырып бойынша диссертациялық жұмыс
АННОТАЦИЯСЫ

Жұмыстың мақсаты - Ti/(Cr; Zr; Al; Ta) композициялық нысаналарының реактивті магнетронды шашырату режимдерінің AISI 304 болат және VT1-0 титанды негіздерде титан карбонитридті жабындарының қасиеттерін қалыптастыруға әсерін зерттеу болып табылады.

Негізгі зерттеу мақсаттары келесі болып табылады:

- титан карбонитридті негізіндегі жабындар үшін оңтайлы тұндыру шарттарын анықтау;
- реактивті магнетронды шашырату арқылы алынған тұндырылған жабындардың морфологиясын, құрылымын және құрамын зерттеу;
- титан карбонитридті жабындардың механикалық қасиеттеріне Cr, Zr, Al, Ta сияқты легірлеуші элементтердің әсерін анықтау;
- титан карбонитридті жабындарының трибологиялық қасиеттеріне Cr, Zr, Al, Ta сияқты легирленген элементтердің әсерін бағалау;
- мойынтіректердің жанасу аймақтарына оңтайландырылған жабындарды тұндыру және толық ауқымды сынақтарды жүргізу.

Зерттеу объектісі - әртүрлі элементтермен легирленген титан карбонитридті негізіндегі тозуға төзімді жабындар.

Зерттеу әдістері. Диссертациялық жұмыста барлық алынған жабындар бірқатар озық зерттеу және талдау әдістерінің үйлесімімен сипатталды:

- Leica DM IRM металлографиялық оптикалық микроскоптарымен (LEICA, Вецлар, Германия) трибологиялық сынақтардан кейін жабынның қалыңдығын және бетінің кескіндерін өлшеу;
- морфологияны зерттеу және элементтік құрамды анықтау JEOL JXA-8230 сканерлеуші электронды микрозонд анализаторының көмегімен орындалды (JEOL, Токио, Жапония);
- JSPM 5200 зондтық микроскопында (JEOL, Токио, Жапония) трибо сынағына дейін және одан кейінгі жабынның топографиясы мен бетінің кедір-бұдырын талдау;
- 130 маркалы профилометрмен (Протон қ., Зеленоград қ., Ресей Федерациясы) трибологиялық сынақтан өткеннен кейін жабындардың тозу жолының көлденең қимасының ауданын өлшеу;
- тұндырылған жабындардың фазалық құрамы BRUKER D8 ADVANCE рентгендік дифрактометрдің көмегімен алынған дифракциялық үлгілер арқылы зерттелді (BRUKER, Карлсруэ, Германия);

– «Дисктегі шар» схемасы бойынша жабындардың тозуын сынау TRB³ CSM Instruments (CSM Instruments, Pese, Швейцария) трибометрiнiң көмегiмен орындалды;

– жабынның қаттылығын өлшеу нәтижелерi Nanoscan-4D наноқаттылықты өлшегiште алынды (Nanoscan, Мәскеу, Ресей Федерациясы).

Қорғауға ұсынылатын негiзгi ережелер (дәлелденген ғылыми гипотезалар және жаңа бiлiм болып табылатын басқа қорытындылар):

– Ti/(Cr; Zr; Al; Ta) композиттi реактивтi магнетронды шашырату әдiсiмен Ar 1,1, C₂H₂ 0,28, N₂ 0,1 л/сағ ағындарда карбонитридтi жабындарды тұндырудың оңтайлы жағдайын тәжiрибелiк анықтау нәтижелерi. металл нысаналар;

– Легирленген элементтердiң Cr, Zr, Al, Ta бетiнiң морфологиясы мен топографиясына, құрылымына, элементтiк және фазалық құрамына, наноқаттылық пен үйкелiс коэффициентiне титан карбонитридi негiзiндегi жабындардың тозу жылдамдығына әсерi туралы мәлiметтер;

– TiCN негiзiндегi тозуға төзiмдi жабындардың механикалық және трибологиялық қасиеттерiнiң композициялық металды Ti/(Cr; Zr; Al; Ta) нысаналарды магнетронды шашырату арқылы легiрлеуге тәуелдiлiгi.

Жұмыстың өзектiлiгi. Бөлшектер, тетiктер, станок механизмдерi және кескiш құралдар берiктiк пен өнiмдiлiктi қамтамасыз ететiн механикалық берiктiк пен химиялық тұрақтылық деңгейiн қамтамасыз етуi керек. Бұл мәселелердi шешу үшiн қатты жабындардың кең спектрi қолданылады. Соңғы онжылдықтарда TiC және TiN, атап айтқанда TiCN арасында қатты ерiтiндi жасалды. TiCN жабыны тамаша механикалық берiктiк пен термиялық тұрақтылықты көрсетедi. Сондықтан TiCN жабындарын тұндырудың тиiмдi әдiстерiн жасаудың үлкен технологиялық маңызы бар.

Тұндыру әдiстерiнiң iшiнде өте қатты және тозуға төзiмдi жабындарды өндiру үшiн ең қолайлысы жоғары вакуум жағдайында реактивтi және реактивтi емес орталарда қолданылатын тұрақты ток магнетронды шашырату болып табылады. Субстраттағы потенциалдың ығысуы, реакцияның және инерттi газдардың ағынының жылдамдығы, плазмалық ток, импульстiк тұндыру режимi, композиттiк нысананы пайдалану және басқалар сияқты тұндыру параметрлерi мен шарттарын өзгерту мүмкiндiгi жақсартылған механикалық және трибологиялық сипаттамалары бар TiCN жабындарын тұндыру мүмкiндiгiн ашады. Тұндыру жағдайлары мен тұндырылған пленкалардың микроскопиялық құрылымы арасындағы байланысты анықтау қажеттi қасиеттерi бар жабындарды алудың ең жақсы технологиялық шарттарын анықтаудың кiлтi болып табылады. Жоғарыда айтылғандардың негiзiнде бұл диссертациялық жұмыс өзектi болып табылады.

Ғылыми-зерттеу жұмысының қажеттiлiгiнiң негiздемесi. Өнеркәсiпте, машина жасауда және басқа салаларда станок бөлшектерiнiң немесе аспаптардың қызмет ету мерзiмiн ұзарту маңызды мiндет болып табылады. Бұл мәселенi шешу тозуға төзiмдi қатты жабындарды алу технологиясын жетiлдiрудi қамтиды. Мұндай жабындардың құрамын, құрылымын және қасиеттерiн дамыту арқылы машина бөлшектерiнiң немесе

аспаптардың қызмет ету мерзімін және функционалдығын арттырудың жоғары қарқынына қол жеткізуге болады. Осының негізінде ғылыми-зерттеу жұмысының қажеттілігінің негіздемесі машина бөлшектерінің немесе құрал-саймандардың тозуға төзімділігін арттыру, олардың бетінің қаттылығын арттыру мәселелерін шешумен байланысты.

Зерттеудің негізгі нәтижелерінің сипаттамасы. Титан карбонитридті жабындарды титанды реактивті магнетронды шашырату арқылы тұндыру үшін оңтайлы жағдайлар тұндыру параметрлерін (жұмыс камерасындағы вакуумдық қысым, реакциялық газ ағыны, жабынның тұндыру жылдамдығы, субстраттағы потенциалдың ығысуы және т.б.) сынау арқылы анықталады. жабындардың физикалық және механикалық қасиеттері. Трибологиялық және механикалық сынақтардың нәтижелері бойынша тұндыру процесі кезінде субстрат потенциалының ауытқуын -70 В енгізу және ацетилен шығынының $0,28$ л/сағ жоғарылауы тозу жылдамдығының төмендеуіне әкелетіні анықталды. , үйкеліс коэффициенті және TiCN жабындарының нанокаттылығының жоғарылауы. Құрамы мен құрылымдарын, тозу параметрлерін зерттеу нәтижелері бойынша TiCN-2 деп аталатын ең оңтайлы режим белгіленді. Осы режим негізінде Cr жабындарын одан әрі легирлеу ұсынылады; Zr; Al; Ta.

Легирлеуші элементтердің әсер ету ерекшеліктері, мысалы, Cr; Zr; Al; AISI 304 болат және VT1-0 титанды негіздерде титан карбонитридіне негізделген тұндырылған жабындардың беткі морфологиясы мен топографиясы, құрылымы, элементтік және фазалық құрамы бойынша Та. Fcc кристалдық құрылымы бар қалыңдығы $1,302$, $1,55$, $1,74$, $1,40$ және $2,23$ мкм TiCN, TiCrCN, TiZrCN, TiAlCN және TiTaCN жабындары алынды. Беттің морфологиялық және топографиялық зерттеулерінің нәтижелері бойынша TiCN жабынының легирленуі айтарлықтай өзгерістер бермейді. Легирленген металдардың шашырау коэффициенттерінің айырмашылығына байланысты олардың шөгінді жабындардағы концентрациясы $5,5$ -тен $17,5$ ат-қа дейін өзгереді. Допинг жабындардың элементтік құрамындағы көміртегі мен азот концентрациясының өзгеруіне әкеледі, бұл $(C+N)/(металдар\ сомасы)$ арақатынасының $0,94$ -тен $2,33$ -ке дейін ауытқуына әкелді. Ti/(Cr; Zr; Al; Ta) композициялық нысаналарының магнетронды шашырауы, негізінен (111) және (200) бағыттар бойынша таңдаулы бағдары бар екі немесе одан да көп фазалардың жабынын құрайды, мұнда (111) TiTaCN жабынынан басқа және (200).

Титан карбонитридті жабындардың құрылымына, механикалық және трибологиялық қасиеттеріне Cr, Zr, Al, Ta сияқты легирлеуші элементтердің әсері анықталған. Cr элементтерін енгізу; Zr; Al; TiCN жабындарының кристалдық құрылымына Та жабындардың нанокаттылығын $18,7$ -ден 26 ГПа дейін арттыруға ықпал етеді. Нанокаттылықтың Янг модуліне H/E қатынасы бойынша тұндырылған жабындар арасында ең жоғары мән $H/E > 0,1$ болатын, сынуға жақсы төзімділікті көрсететін TiCN және TiZrCN жабындары болып табылады. Трибологиялық сынақтар көміртегі мөлшері жоғары және аморфты фазасы бар жабындардың үйкеліс және тозу жылдамдығының

төмен коэффициенттерін көрсететінін көрсетті. Жоғары (C+N)/(металдар қосындысы) қатынасы бар жабындар үйкеліс жағдайында жоғары тозуға төзімділікке ие болатыны анықталды. Легирлеуші элементтердің жабындардың үйкеліс коэффициентіне әсерін бағалау 0,33 субстрат белгісінен асып кеткен Та қоспағанда, 0,2-ге дейін шамалы өсуді көрсетті. Магнетронды шашыратудың белгіленген оңтайлы режимінде Cr және Zr-мен TiCN жабындарын легирлеу наноқаттылықтың жоғарылауы мен үйкеліс коэффициентінің төмендеуіне байланысты тозу жылдамдығының 10^{-7} мм³/м × N төмендеуіне әкеледі.

Әзірленген стендте толық масштабты сынақтар кезінде тірек мойынтіректерінің жанасу бетіне оңтайландырылған жабындарды қолдану тиімділігі бағаланды. 750 айн/мин жылдамдықпен 100 кг жүктемесі бар толық ауқымды сынақтың нәтижелері TiCN, TiCrCN, TiZrCN, TiAlCN және TiTaCN жабындары бар тірек мойынтіректерінің корреляциялық тозу нәтижелерін көрсетті, мұндағы нәтижелерге сәйкес оптикалық микроскопияда TiZrCN жабыны бар мойынтірек тозуға ең жақсы төзімділікке ие болды. Бұл бөлшектердің қызмет ету мерзімін арттыруға көмектесетін олардың функционалдық сипаттамаларын арттыру үшін машина бөлшектері мен механизмдерінің үйкеліс беттеріне осы жабуды ұсынуға мүмкіндік береді.

Алынған нәтижелердің жаңалығы мен маңыздылығын негіздеу

Аргон-ацетилен-азот газ қоспасында титанды реактивті магнетронды шашырату арқылы жақсартылған механикалық және трибологиялық сипаттамалары бар тозуға төзімді TiCN жабындарын тұндыру технологиясы әзірленді.

Реактивті магнетронды шашырату әдісімен TiCN негізіндегі қатты жабындарды тұндыру кезінде алғаш рет қаптаманың қаттылығын және тозуға төзімділігін арттыру үшін легирленген металл Cr; Zr; Al және Та шөгінділері бар композиттік нысаналар қолданылды.

Легирлеуші элементтердің Cr; Zr; Al және Та TiCN жабындарының құрылымына, құрамына және механикалық, трибологиялық қасиеттеріне әсері анықталды. Белгіленген шарттарда алынған TiCrCN және TiZrCN жабындары бұрын алынған ұқсас жабындармен салыстырғанда тозуға төзімділіктің 10^{-7} мм³/м*Н дейін жоғарылау тәртібімен сипатталады.

Магнетронды шашырату арқылы тұндырылған TiCrCN және TiTaCN жабындарының құрылымы мен қасиеттері алғаш рет алынды және зерттелді.

Ғылымның даму бағыттарына немесе мемлекеттік бағдарламаларға сәйкестігі.

Диссертациялық жұмыс «МКБИ» АҚ «Металлургия» зертханасында орындалды. Негізгі ережелер Ғылым және Білім министрлігі қаржыландыратын «Титан карбонитридін негізінде тозуға төзімді, көп функциялы, композициялық жабындарды жасау» (№ АП08857049, 2020-2022ж.) тақырыбы бойынша қолданбалы зерттеулердің гранттық жобалары шеңберінде және «Табиғи ресурстарды, оның ішінде су ресурстарын, геологияны, қайта өңдеуді, жаңа материалдар мен технологияларды, қауіпсіз

өнімдер мен құрылымдарды ұтымды пайдалану» басымдығы бойынша әзірленді.

Автордың жеке үлесі

Диссертация авторы мәселені негіздеді, эксперименттерді орнатуға және жүргізуге қатысты, барлық эксперимент нәтижелерін алып, талдап, қорытынды тұжырымдады, мақалалар мен баяндамалар жазды.

Жұмысты апробациялау

Диссертациялық жұмыстың негізгі ережелері жоғары мектеп халықаралық ғылым академиясының академигі, техника ғылымдарының докторы, профессор Нариман Қалыбекұлы Дәуілбековтың туғанына 85 жыл толуына арналған «Қазақстан индустриясының инновациялық дамуы: проблемалары мен шешімдері» атты отандық халықаралық конференцияда Алматы қ., 2022 жылы баяндалып, талқыланды.

Жарияланымдар

1. Mamaeva A.A., Kenzhegulov A.K., Panichkin A.V., Kshibekova B.B., Bakhytuly N. Deposition of carbonitride titanium coatings by magnetron sputtering and its effect on tribo-mechanical properties //Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a = Complex Use of Mineral Resources. – 2022. – V. 321. – №. 2. – С. 65-78. <https://doi.org/10.31643/2022/6445.19>

2. Kenzhegulov A., Mamaeva A., Panichkin A., Alibekov Z., Kshibekova B., Bakhytuly N., Wieleba W. Comparative Study of Tribological and Corrosion Characteristics of TiCN, TiCrCN, and TiZrCN Coatings //Coatings. – 2022. – V. 12. – P. 564. <https://doi.org/10.3390/coatings12050564>

3. Бахытулы Н., Мамаева А.А., Кенжегулов А.К., Паничкин А.В. Effect of magnetron sputtering modes on the formation and composition of TiCN coatings //Интернаука: электрон. научн. журн. – 2022. – Т. 37. – №. 260. <https://doi.org/10.32743/26870142.2022.37.260.345662>

4. Bakhytuly N., Kenzhegulov A.K., Nurtanto M., Aliev A.E., Kuldeev E.I. Microstructure and tribological study of TiAlCN and TiTaCN coatings //Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a = Complex Use of Mineral Resources. – 2023. – V. 327. – №. 4. – P. 99-110. <https://doi.org/10.31643/2023/6445.45>

5. Mamaeva A.A., Kenzhegulov A.K., Panichkin A.V., Alibekov Zh.Zh., Kshibekova B.B., Wieleba W., Leśniewski T., Bakhytuly N. The study of the tribological properties under high contact pressure conditions of TiN, TiC and TiCN coatings deposited by the magnetron sputtering method on the AISI 304 stainless steel substrate //Materials Science-Poland. – 2023. – Т. 41. – №. 1. – С. 1-14.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі

Диссертациялық жұмыс келесі элементтерді қамтиды: «Нормативтік анықтамалар», «Кіріспе», қатты тозуға төзімді жабындарды қалыптастыруға арналған әдебиеттік шолу, 4 бөлімнен тұратын тәжірибелік бөлім, «Қорытынды», «Әдебиеттер тізімі» және «Қосымшалар».