

АННОТАЦИЯ

8D05301-Техникалық физика мамандығы бойынша
философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алу үшін
дайындалған диссертация

ХОЖАНОВ АЛЕКСАНДР РАФАЭЛЬЕВИЧ

БЕРІЛГЕН ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН ҚАСИЕТІ БАР ФУНКЦИОНАЛЬДЫ ЖАБЫНДАРДЫ РОБОТТЫ МИКРОПЛАЗМА БҮРКУ ӘДІСІМЕН ҚАЛЫПТАСТЫРУ

Түйін сөздер: микроплазмалық бүрку (МПБ), жабын, кеуектілік, кедір-бұдырлық, адгезия, фазалық құрам, биоүйлесімділік, тозуға төзімділік, электр өткізгіштік, электронды микроскопия, регрессиялық талдау.

Зерттеудің негізгі идеясы: диссертация берілген құрылымы бар функционалдық жабындарды және роботтандырылған микроплазмалық бүрку әдісімен бірқатар физикалық-механикалық қасиеттерді алуға арналған. Микроплазмалық бүрку (МПБ) әдісі қорғаныш және терморезистивтік жабындарды алу үшін өнеркәсіптің әртүрлі салаларында қолданылатын жабындарды термиялық плазмалық бүрку әдістерінің тобына жатады, сондай-ақ медициналық имплантаттар үшін биоүйлесімді материалдардан жабындар жасау үшін қолданылады. Термиялық плазмалық бүркудің әртүрлі процестерінің ішінде, МПБ плазманың аз қуат көзінің (5 кВт-қа дейін) және бүрку бетіндегі плазмалық ағын дақтарының аз диаметрімен (10 мм-ге дейін) сипатталады, бұл бүрку кезіндегі материал шығының азайтуды және төсенішке жылуды төмен жеткізуді қамтамасыз ете алады. МПБ, термиялық бүркудің дәстүрлі әдістеріне қарағанда, ұсақ бөлшектер мен түйіндерді, оның ішінде күрделі геометрияны, және жұқа қабатты бұйымдарға оларды қыздыру және өзгеру қаупінсіз жабындарды салуға мүмкіндік береді. Электр тогының күші, плазма түзетін газдың шығыны, бүрку қашықтығы, тоздандыратын материалдың (сымдар немесе ұнтақтар) шығыны, плазмалық ағынның бұйымның бетімен жылжу жылдамдығы және т.б. сияқты негізгі МПБ параметрлерінің мақсатты түрде түрлендіру келешекте жабынның талап етілетін құрылымын алуға мүмкіндік береді (атап айтқанда, реттелетін кеуектілікпен) және жабынның жақсы адгезиялық беріктігін қамтамасыз ету, өйткені материал бөлшектерінің қызу дәрежесі олардың плазмалық ағыста болу уақытына байланысты және МПБ параметрлерін іріктеумен реттелуі мүмкін. Плазмалық бүркудің роботтандырылған әдістерін қолдану қашықтық және бүрку жылдамдығы сияқты МПБ негізгі параметрлерін прецизионды дәл ұстауға мүмкіндік береді, процестің өнімділігі мен қауіпсіздігін арттырады.

Өзектілігі. Болжанатын (бақыланатын, берілген) құрылымы мен қасиеттері бар материалдарды құру мәселесі - бұл материалтану саласының негізгі ғылыми мәселелерінің бірі. Жаңа материалдарды әзірлеу кезіндегі негізгі шешім функционалдық жабындарды жасау болып табылады. Жабын химиялық құрамы немесе сипаттамасы (мысалы, кеуектілігі) бойынша

материал негізінен (төсеніш) ерекшеленетін және негізгі материалға тән емес функцияны атқаратын материалдың қабаты немесе қабығы болып табылады. Осылайша, төсеніш пен жабынның жаңа композицияларын құру материалтану саласының перспективалық бағыты болып табылады: негіздің функционалдық қасиеттерін сақтай отырып, композиция жабын есебінен беттің жаңа функционалдық қасиеттеріне ие болады. Материалға негіз беру қажет функцияларды негізге ала отырып, материал, жабын құрамы және оны қалыптастыру тәсілдері таңдалады. «Төсеніш - жабын» композициясының пайдалану сенімділігі оны құрайтын материалдардың механикалық және физикалық-химиялық қасиеттерімен және жақсы адгезиямен қамтамасыз етіледі. Жабындардың қасиеттерін болжау осы композициядағы белгілі бір микроқұрылымдар мен фазаларды қалыптастыру мүмкіндігіне де негізделеді. Заманауи технологиялық шешімдерді қолдана отырып, берілген құрылымы мен қасиеттері бар функционалды жабындарды алу әдістерін жетілдіру маңызды және өзекті міндет болып табылады. Өнеркәсіптік роботтарды бүрку процестеріне кіріктіре отырып жаңа технологиялар өндірістің жаңа деңгейіне шығуға, жұмыс беттерінде ерекше қасиеттері бар өнеркәсіптік бұйымдарды қалыптастыру есебінен беттің қасиеттерін едәуір жақсартуға қол жеткізуге мүмкіндік береді. Плазмалық бүрку процестеріне арналған роботтандырылған жүйелер бүркудің дәлдігі мен сапасын едәуір арттыруға, өңдеуді оңтайландыруға және өндірістік циклді қысқартуға мүмкіндік береді. Микроплазмалық бүркудің роботтандырылған әдістерін әзірлеу маңызды ғылыми-техникалық міндет болып табылады, оны шешу болжанатын қасиеттері бар жаңа материалдарды жасауға техникалық физиканың жаңа әдістері мен тәсілдерін алу үшін қажет.

Зерттеу Қазақстан Республикасының мемлекеттік бюджеттік (гранттық) қаржыландыруы бар жобалар шеңберінде жүргізілді:

2022 - 2024 - №AP13068317 «3D сканерлеу және жабындарды микроплазмамен аддитивті бүрку технологиялары үшін роботтық манипуляторды басқарудың жаңа алгоритмдерін құрастыру». Ғылыми жетекші Қадыролдина А.А.

2022 - 2024 - №AP14869862 «Медициналық имплантаттарды жетілдіру үшін жабын жасаудың инновациялық технологиялары». Ғылыми жетекші Сафарова Ю.И.

2018-2020 - № AP05130525 «Күрделі формалы үлкен көлемді бұйымды плазмалық өңдеу мен кесуге арналған интеллектуалды робот жүйесі». Ғылыми жетекші Алонцева Д.Л.

Биоүйлесімді немесе тозуға төзімді немесе терморезистивті материалдардан (қыш ұнтақтар мен металл сымдар) жасалған, роботтандырылған микроплазмалық бүрку әдісімен металл төсеніштерге салынған жабындар, сондай-ақ төсеніш материалдары диссертациялық жұмыстың **зерттеу объектісі** болып табылады.

Зерттеу пәні микроплазмалық бүрку (МПБ) параметрлеріне байланысты берілген микроқұрылымдарды қалыптастыру заңдылықтары болып табылады; қаптамалар мен төсеніштердің құрылымдық-фазалық жай-күйі, шартты түрдегі МПБ; МПБ параметрлерінің процестің тиімділігіне

және жабынның физикалық-механикалық қасиеттеріне әсері, сондай-ақ МПБ оңтайлы параметрлерін таңдау.

Зерттеу мақсаты: МПБ оңтайлы режимдерін таңдау арқылы роботтандырылған микроплазмалық бүрку әдісімен бақыланатын сипаттамалары бар функционалдық жабындарды алу.

Зерттеу міндеттері:

1) Бақыланатын микроқұрылымы және берілген қасиеттері бар функционалдық жабындарды алу проблемасының қазіргі жай-күйіне талдау жасау, материалдарды, технологиялық жабдықтарды және эксперименттік зерттеу әдістерін таңдауды негіздеу.

2) Эксперимент матрицасына сәйкес одан әрі бүрку үшін функционалдық жабындарды МПБ бойынша факторлық экспериментті жоспарлау және жабындардың сипаттамаларының МПБ параметрлеріне тәуелділігін регрессиялық талдау әдістерімен белгілеу.

3) Қалыңдығы біркелкі және бақыланатын жабындарды роботтандырылған бүрку үшін ұсыныстар әзірлеу және бүрку кезінде жабын материалын бөлу заңын белгілеу үшін металдандыру фигуралары мен бүрку жолдарының параметрлеріне зерттеу жүргізу.

4) Эксперименттік үлгілерді алу үшін титан қорытпасының төсеніштеріне таңдалған бүрку параметрлері бар биоүйлесімді материалдардан жасалған жабындарды роботтандыруды жүзеге асыру. Оқшаулағыш және электр өткізгіш қабаттардан тұратын шағын габаритті көпқабатты резистивті қыздыру элементін МПБ әдісімен алу.

5) Оптикалық және электрондық микроскопия, рентгеноқұрылымдық талдау, адгезиялық сынақтар, микроқаттылық тесттері немесе электрлік беріктік мен өткізгіштігін өлшеу әдістерімен жабындар мен олардың төсеніштерінің құрылымы мен қасиеттеріне зерттеу жүргізу және материалды пайдалану коэффициентіне және жабындардың кеуектілігіне МПБ параметрлерінің әсер ету заңдылықтарын белгілеу, берілген сипаттамалары бар жабындарды тиімді алуға мүмкіндік беретін бүркудің оңтайлы параметрлерін таңдауға ғылыми негіздеме беру.

6) Табылған шешімдер мен ұсыныстарды апробация өткізу: ұсынылған оңтайлы режимдер бойынша импланттардың биоүйлесімді жабындарының роботтандырылған МПБ орындау және биоүйлесімді материалдан жасалған роботтандырылған МПБ жабынының әдісін әзірлеу; Гадфильд болаттан жасалған ұсатқыш тақтасының тозған учаскелеріне қорғаныш жабынның роботтандырылған МПБ -ын жүзеге асыру және қалпына келтірілген тақтаға өндірістік сынақтар жүргізу.

Негізгі зерттеу әдістері: факторлық экспериментті жоспарлау әдістері, регрессиялық талдау, нәтижелерді статистикалық өңдеу әдістері, материалдардың құрылымы мен қасиеттерін зерттеудің эксперименттік әдістері: сканерлейтін және жарықтандырушы электрондық микроскопия, рентгендік-құрылымдық фазалық талдау, оптикалық микроскопия, энергодисперсиялық элементтік талдау, адгезиялық сынақтар, жабындардың электрлік беріктігін зерттеу.

Қорғауға шығарылатын ғылыми ережелер:

1) МПБ параметрлерінің функционалды жабындардың сипаттамаларына әсер ету заңдылықтары және берілген сипаттамалары бар әртүрлі функционалды мақсаттағы жабындарды тиімді алуға мүмкіндік беретін оңтайлы бүрку параметрлерін таңдаудың ғылыми негіздемесі.

2) Биоүйлесімді материалдан жасалған роботтандырылған МПБ жабынының әдісі, металл титан негізіне кеуектілігі $20,5 \pm 2,00\%$ болатын 400 мкм цирконий жабынының имплантатын салудан тұрады, кеуектерінің мөлшері 300 мкм-ге дейін, бүрку робот-манипулятордың қолына бекітілген микроплазмотрон көмегімен жүзеге асырылатындығымен ерекшеленеді, өнімнің берілген 3D моделі бойынша тұрақты қозғалатын 2,3м/мин жылдамдықпен, бұл ретте жабындардың қалыңдығы мен кеуектілігін бақылау факторлық жоспарлау негізінде таңдалған микроплазмалық бүрку параметрлерін дәл сақтаумен қамтамасыз етіледі.

3) Қолданыстағы шешімдермен салыстырғанда технологиялық процесті орындаудың дәлдігі мен тиімділігінің артықшылықтары бар роботтандырылған МПБ жүйесін апробациядан өткізу нәтижелерінің жиынтығы.

Диссертацияда және зерттеу тақырыбы бойынша жарияланымдарда дәлелденген жұмыстың ғылыми жаңалығы және негізгі нәтижелері:

4) Биоүйлесімді және терморезистивті материалдардан жасалған функционалдық жабындардың тозаңдану тиімділігіне және кеуектілік сипаттамасына МПБ параметрлерінің әсерінің жаңа заңдылықтары белгіленді. кеуектілік сипаттамаларына және жабын материалын пайдалану коэффициентіне бүрку қашықтығы неғұрлым көп әсер ететіні, ток күші және плазма түзгіш газдың шығысы, параметрлерін басқара отырып, кеуектіліктің қалаулы сипаттамалары және төсенішке қанағаттанарлық адгезиясы бар жабындарды алуға болатыны расталған; белгілі бір жабын түрін алу үшін оңтайлы нақты МПБ параметрлері ұсынылады.

5) Медициналық имплантаттың металл титан негізіне роботтандырылған МПБ цирконий жабының жаңа тәсілі әзірленді, ол 400 мкм біркелкі қалыңдықтағы және кеуектілігі 20% және кеуек мөлшері 300 мкм дейінгі жабынды алуға мүмкіндік береді, берілген 3D имплантат моделі бойынша микроплазмалық көзді робот-манипулятормен жылжыту арқылы МПБ параметрлерін жоспарлау негізіндегі тұрақты берілген жылдамдықпен және таңдалған факторлық модельге дәл сәйкес келеді.

6) Қолданыстағы шешімдермен (жартылай автоматты, қолмен МПБ) салыстырғанда технологиялық процестерді орындаудың дәлдігін көрсететін роботтандырылған МПБ жүйесін апробациялаудың жаңа нәтижелерінің жиынтығы алынды. Робот-манипулятор микроплазмотронды плазмамен өңделетін өнімнің 3D моделі бойымен бүрку қашықтығын, жылжу жылдамдығын және плазмалық ағынның өнімнің бетіне түсуінің перпендикулярлығын дәл сақтай отырып, тозаңдандырғыш жабынның кеуектілік диапазоны мен қалыңдығының біркелкілігін қамтамасыз етеді.

Жұмысты апробациялау. Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері 5 халықаралық конференцияда баяндалып, талқыланды: 1) 6th

International Thermal Spraying and Hardfacing Conference (ITSHC), 22-23 қыркүйек 2022 ж., Вроцлав қ., Польша; 2) 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), 22-24 қыркүйек 2021 ж., Краков қ., Польша (онлайн); 3) The International Conference "Advanced materials manufacturing and research: new technologies and techniques "(AMM&R-2021 online), 19 ақпан 2021 ж., Өскемен қ., Қазақстан; 4) 7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE), 14-26 қыркүйек. 2020 ж., Томск қ., Ресей; VI халықаралық ғылыми-техникалық конференциясы «Қазақстанның инновациялық дамуына жас ғалымдардың шығармашылығы», 9-10 сәуір 2020 ж., ШҚМТУ, Өскемен қ., Қазақстан.

Жарияланымдар. Диссертациялық жұмыс тақырыбы бойынша барлығы **17** жұмыс жарияланған, оның ішінде: **5** комитет ұсынатын басылымдарда; **5** Scopus базасында индекстелетін және Web of Science Core Collection, Clarivate Analytics ақпараттық компаниясының деректерінде 25% - дан төмен емес пайызы бар және (немесе) нөлдік емес импакт-факторы бар халықаралық рецензияланатын журналдарда, **6** халықаралық конференциялардың еңбектерінде (оның ішінде 3 мақала Scopus-та индекстелген) және ҚР пайдалы моделіне **1** патент.

Диссертацияның практикалық маңызы: тозған бетінің микроплазмалық жабыны бар шек ұсатқыш тақтасының қызмет ету мерзімінің ұлғаюын растайтын АН-35 (ГОСТ 21448-75) композициялық қорытпа ұнтағынан жасалған роботтандырылған микроплазмалық бүрку (сандық эксперимент нәтижесінде ұсынылған режим бойынша) жолымен қалпына келтірілген және қатайтылған өнеркәсіптік бұйымға (ұсатқыш тақтаға) өндірістік сынақ жүргізілді (Өндірістік сынақ актісі "ЖК Абакумов С.А.", 01.10.2020 №1).

Тәжірибеге енгізу үшін ұсынылады: №2020/0547.2 өтінім бойынша «Цирконий жабындарын роботтандырылған микроплазмалық бүрку тәсілі» пайдалы моделіне № 5576 патент. Басымдық күні 20.11.2020.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі: диссертация кіріспеден, әрбір бөлім бойынша қорытындылары бар 4 негізгі бөлімнен, қорытындыдан, 143 атаудан тұратын пайдаланылған дереккөздер тізімінен, 2 қосымшадан тұрады. Диссертацияның негізгі мазмұны компьютерлік мәтіннің 115 бетінде көрсетілген, оған 42 сурет, 19 кесте кіреді.