

**Кәкімжанов Дәуір Нұржанұлының 8D05301 – «Техникалық физика»  
білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін  
алуға ұсынылған «Импульсті-плазмалық өндеудің детонациялық  
жабындардың құрылымы мен қасиеттеріне әсері» диссертациялық  
жұмысының**

**АҢДАТПАСЫ**

**Жұмыстың жалпы сипаттамасы.** Диссертация импульсті-плазмалық өндеудің  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$  және  $\text{Fe-CrB}_2\text{-TiB}_2$  детонациялық жабындарының құрылымы мен қасиеттеріне әсерін зерттеуге арналған. Импульсті плазмалық өндеуден кейін жабындардың фазалық құрамы, құрылымы, қаттылығы, кедір-бұдырлығы, адгезиялық беріктігі, тозуға төзімділігі, трибологиялық және коррозиялық қасиеттерінің өзгерістері қарастырылды. Өндеу режиміне тәуелді жабындардың құрылымы мен қасиеттері арасындағы өзара байланыс анықталды. Соның нәтижесінде импульсті-плазмалық өндеу арқылы  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$  және  $\text{Fe-CrB}_2\text{-TiB}_2$  детонациялық жабындарының беткі қабатын модификациялаудың оңтайлы технологиялық режимі әзірленді. Импульсті-плазмалық өндеудің әсерінен  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$  және  $\text{Fe-TiB}_2\text{-CrB}_2$  детонациялық жабындарының микроқұрылымы өзгеріп, кеуектілігі мен беттік кедір-бұдырлығының төмендеуі есебінен олардың қаттылығы, тозуға төзімділігі және коррозияға төзімділігі артатыны анықталды.

**Зерттеу өзектілігі.** Машина жасау, металлургия, энергетика, тау-кен және мұнай-газ салаларын дамытудың қазіргі жағдайында қарқынды тозу жағдайында жұмыс істейтін машиналардың бөлшектерінің эксплуатациялық қасиеттерін арттыру міндетінің өзектілігі артуда. Көп жағдайда машина бөлшектерінің бұзылуы беткі қабатынан басталады, өйткені беткі қабат алдымен сыртқы механикалық, жылу және химиялық факторлардың әсерін қабылдайды. Осыған байланысты жоғары функционалдық сипаттамалары бар жабындарды қалыптастыруды қамтамасыз ететін технологияларды әзірлеу және жетілдіру қазіргі заманғы беттік өндеудің басым бағыттарының бірі болып табылады.

Бөлшектердің пайдалану қасиеттерін арттырудың тиімді әдістерінің ішінде жабындарды алудың детонациялық бүрку әдісі ерекше орын алады. Карбидті және боридті жүйелерге негізделген детонациялық жабындар ерекше қызығушылық тудырады. Атап айтқанда,  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$  және  $\text{Fe-CrB}_2\text{-TiB}_2$  жабындары ауыр жүктеме жағдайында жұмыс істейтін болат бөлшектердің беттерін қорғауда жоғарғы тиімділігі мен қорғауыш қасиеттері үшін ерекшеленеді.  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$  жүйесі негізіндегі жабындар жоғары қаттылық, ыстыққа төзімділік, коррозияға және тозуға төзімділік қасиеттерінің оңтайлы үйлесуі нәтижесінде кеңінен қолданыс тапқан. Өз кезегінде,  $\text{Fe-CrB}_2\text{-TiB}_2$  негізіндегі боридті жабындар жоғары қаттылықты пен абразивті тозуға жоғары төзімділікті қамтамасыз ететін перспективалы композициялық материалдар ретінде айтарлықтай қызығушылық тудырады. Алайда, детонациялық бүркудің артықшылықтарына қарамастан, алынған жабындар

көбінесе белгілі бір құрылымдық гетерогенділікпен, кеуектіліктің пен микро ақаулардың болуымен сипатталады.

Осыған байланысты маңызды ғылыми және практикалық міндет-олардың құрылымын жақсартуға және пайдалану сипаттамаларын арттыруға бағытталған детонациялық жабындарды кейіннен өзгертудің тиімді әдістерін әзірлеу. Осы саладағы ең перспективалы бағыттардың бірі шоғырланған энергия ағындарының әсеріне негізделген аралас өңдеу әдістері болып табылады. Оларға беткі қабаттардың құрылымдық-фазалық күйін мақсатты түрде өзгертуге мүмкіндік беретін лазерлік, катодты сәулелік, импульсті-плазмалық және басқа өңдеу түрлері жатады. Жергілікті жоғары энергетикалық әсердің арқасында жабынның тығыздалуы, кеуектіліктің төмендеуі, ақаулардың ішінара балқуы, фазалардың қайта бөлінуі және неғұрлым жетілдірілген құрылымның қалыптасуы қамтамасыз етіледі. Мұндай әдістердің ішінде импульсті-плазмалық өңдеу ерекше орын алады. Оның мәні материалдың бетіне қысқа мерзімді жоғары энергиялы плазмалық импульстармен әсер ету болып табылады, бұл беткі қабаттың жылдам қызуы мен қарқынды салқындатылуын тудырады. Сонымен қатар, өңдеу барысында жабын құрылымында фазалық түрленулер, легирлеуші элементтердің қайта бөлінуі, құрылым морфологиясының өзгеруі, кеуектіліктің азаюы, микроақаулардың жойылуы және беріктендірілген беткі қабаттың қалыптасуы сияқты ауқымды физика-химиялық процестер жүруі мүмкін. Осы ерекшеліктердің арқасында импульстік-плазмалық өңдеу детонациялық жабындардың қаттылығын, тозуға төзімділігін, коррозияға төзімділігін және жалпы беріктігін арттырудың тиімді әдістерінің бірі ретінде қарастырылады.

Соған қарамастан, импульстік-плазмалық өңдеудің карбидті және боридті жүйелер негізіндегі детонациялық жабындардың құрылымы мен қасиеттеріне әсер етудің көптеген аспектілері әлі де толық анықталмаған. Атап айтқанда, импульстік-плазмалық өңдеуден кейін құрылымдық өзгерістердің ерекшеліктерін мен  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ -NiCr және Fe-CrB<sub>2</sub>-TiB<sub>2</sub> жабындарының қасиеттерін өзгерісін тереңірек түсіну қажет. Бұл мәселелердің жеткілікті деңгейде зерттелмеуі өңдеу режимдерін ғылыми негізде оңтайландыруға кедергі келтіріп, әртүрлі машина бөлшектерін беріктендіру үшін осы технологияны іс жүзінде қолдануын шектейді.

Осылайша, импульсті-плазмалық өңдеудің  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ -NiCr және Fe-CrB<sub>2</sub>-TiB<sub>2</sub> детонациялық жабындардың құрылымына, фазалық құрамына және қасиеттеріне әсерін зерттеу карбидті және боридті жабындарды модификациялау процестері туралы теориялық түсініктерді дамыту үшін де, бөлшектердің пайдалану сенімділігін арттыру үшін тиімді технологиялық шешімдерді әзірлеу үшін де маңызды болып табылатын өзекті ғылыми міндет болып табылады.

**Жұмыстың мақсаты:**  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ -NiCr және Fe-CrB<sub>2</sub>-TiB<sub>2</sub> детонациялық жабындардың құрылымдық-фазалық күйі мен физика-механикалық қасиеттеріне импульсті-плазмалық өңдеудің әсер ету заңдылықтарын анықтау.

Жұмыста қойылған мақсатқа жету үшін келесі **міндеттерді** шешу қажет:

–  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$  және  $\text{Fe-CrB}_2\text{-TiB}_2$  детонациялық жабындарының импульсті-плазмалық өңдеу режимдерінің құрылымдық-фазалық күйіне, беткі морфологиясына және ақаулылық деңгейіне әсерін зерттеу;

–  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$  және  $\text{Fe-CrB}_2\text{-TiB}_2$  жабындарының физика-механикалық қасиеттерінің импульсті-плазмалық өңдеу режимдеріне байланысты өзгеру ерекшеліктерін анықтау;

–  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$  және  $\text{Fe-CrB}_2\text{-TiB}_2$  жабындарының трибологиялық және коррозиялық сипаттамаларына импульсті-плазмалық өңдеудің әсерін бағалау;

– Импульсті-плазмалық өңдеу кезінде  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$  және  $\text{Fe-CrB}_2\text{-TiB}_2$  детонациялық жабындарының беріктенуінің негізгі механизмдерін анықтау.

**Зерттеу нысаны:**  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ ,  $\text{Fe-CrB}_2\text{-TiB}_2$  детонациялық жабындары.

**Зерттеу пәні:**  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ ,  $\text{Fe-CrB}_2\text{-TiB}_2$  детонациялық жабындарының құрылымы мен қасиеттеріне импульсті-плазмалық өңдеудің әсері.

**Зерттеу әдістері.**  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ ,  $\text{Fe-CrB}_2\text{-TiB}_2$  детонациялық жабындардың құрылымдық-фазалық күйлерін зерттеу үшін келесі әдістер қолданылды: рентгендік фазалық талдау, сканерлеуші электронды микроскопия, трансмиссиялық электронды микроскопия, профилометрия. Жабындардың қасиеттерін зерттеу үшін келесі әдістер қолданды: қаттылықты анықтаудың наноиндентрлеу әдісі; "шар-диск" және "ілгерінді-кейінді" схемасы бойынша трибологиялық сынақ; MEMST 23.208-79 сәйкес «айналмалы ролик - тегіс бет» схемасы бойынша абразивті тозуға сынақ; жабындардың адгезия беріктігін анықтаудың скретч-тест әдісі; ASTM E2109 стандартына сәйкес кеуектілікті анықтау әдісі; коррозияға төзімділікті зерттеудің электрохимиялық әдісі.

Жұмысты орындау барысында келесі ғылыми-зерттеу орталықтарының ресурстары мен жабдықтары пайдаланылды: Дәулет Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің "Қорғаныш және функционалдық жабындар" ғылыми орталығы мен "VERITAS" артықшылық орталығы, ЖШС "PlasmaScience" ғылыми-өндірістік компаниясы, Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университетінің "Беттік инженерия және трибология" ғылыми-зерттеу орталығының, Вроцлав ғылым және технологиялар университеті (Вроцлав қ., Польша) мен Украина Ұлттық ғылым академиясы Е. О. Патон атындағы Электрмен дәнекерлеу институты (Киев қ., Украина).

**Зерттеу жұмысының ғылыми жаңалығы:**

– алғаш рет импульсті плазмалық өңдеудің  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$  және  $\text{Fe-CrB}_2\text{-TiB}_2$  детонациялық жабындардың құрылымдық-фазалық күйіне, физика-механикалық және трибологиялық қасиеттеріне әсері зерттелді;

– детонациялық бүрку және импульсті-плазмалық өңдеуге негізделген тозуға төзімді  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$  және  $\text{Fe-CrB}_2\text{-TiB}_2$  жабындарын алудың аралас әдісі әзірленді.

### **Қорғауға ұсынылатын негізгі қағидалар:**

1)  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$  және  $\text{Fe-CrB}_2\text{-TiB}_2$  жабындарының физика-механикалық қасиеттерін жақсартатын детонациялық бүрку мен импульсті-плазмалық өңдеуді үйлестіретін жабын алудың аралас әдісі әзірленді.

2) Импульсті-плазмалық өңдеуден кейін  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$  және  $\text{Fe-CrB}_2\text{-TiB}_2$  детонациялық жабындарының тозу қарқындылығы мен үйкеліс коэффициенті азаяды және контактілік бүлінуге төзімділігі артады.

3) Импульсті-плазмалық өңдеудің әсерінен  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$  және  $\text{Fe-CrB}_2\text{-TiB}_2$  жабындарының құрылымдық түрленуінің ерекшеліктері мен олардың беріктенуінің негізгі механизмдері анықталды.

**Жұмыстың негізгі нәтижелері.** Импульсті-плазмалық өңдеу детонациялық жабындардың құрылымдық-фазалық күйіне, беткі морфологиясына және ақаулылық деңгейіне елеулі әсер ететіні анықталды. Импульсті-плазмалық өңдеу жабындардың физика-механикалық сипаттамаларын жақсартатыны көрсетілді. Импульсті-плазмалық өңдеуден кейін жабындардың трибологиялық және коррозиялық қасиеттеріне оң әсер ететіні анықталды. Импульсті-плазмалық өңдеуден кейін үйкеліс коэффициенті төмендеп, тозу тереңдігі мен тозу көлемі азайды, сондай-ақ абразивті және соққылы-абразивті тозуға төзімділік артты. Импульсті-плазмалық өңдеуден кейін жабын қасиеттерінің жақсаруы беткі қабатта жүретін құрылымдық, фазалық және ақаулық өзгерістердің жиынтығымен байланысты екені анықталды.

**Жұмыстың практикалық маңыздылығы.** Жұмыстың практикалық маңыздылығы импульсті-плазмалық өңдеуді қолдану арқылы  $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$  және  $\text{Fe-CrB}_2\text{-TiB}_2$  детонациялық жабындардың қасиеттерін арттырудың ғылыми негізделген тәсілі әзірленді. Алынған нәтижелер жабынның кеуектілігін төмендетуді, қаттылық пен қорғаныс қабаттарының тозуға төзімділігін арттыруды қамтамасыз ететін ұтымды технологиялық өңдеу режимін ұсынуға мүмкіндік береді. Әзірленген технология қаттылықты, тозуға мен коррозияға төзімділікті кешенді түрде арттыру талап етілетін энергетикалық, металлургиялық және тау-кен жабдықтарының бөлшектерін нығайту үшін практикалық қызығушылық тудырады.

**Жұмыстың ғылыми-зерттеу жобаларымен байланысы.** Диссертация ғылым дамуының "Озық өндіріс, цифрлық және ғарыштық технологиялар" басым бағытына сәйкес ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті қаржыландыратын BR24992854 "Шығыс Қазақстан облысының тау-кен металлургия саласының тұрақты дамуын қамтамасыз ету үшін бәсекеге қабілетті ғылыми негізделген технологияларды әзірлеу және іске асыру" (2024-2026 жж) бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру шеңберіндегі бағдарлама негізінде орындалды.

**Автордың жеке үлесі.** Автордың жеке үлесі эксперименттерді жасау, зерттеу, алынған нәтижелерді талдау және диссертация тақырыбы бойынша ғылыми мақалалар жазу. Міндеттер қою, диссертациялық жұмыстың негізгі тұжырымдары ғылыми кеңесшілермен бірлесіп жүргізілді.

**Нәтижелердің негізділігі мен сенімділік дәрежесі.** Нәтижелердің негізділігі мен сенімділік дәрежесі құрылымдық, элементтік және фазалық

құрамды кешенді талдау, сондай-ақ беттік профильді зерттеу, механикалық және трибологиялық сынақтар жүргізу кезінде стандартталған зерттеу әдістерін қолдану, эксперименттік деректердің үлкен көлемін талдау және олардың қайталануын тексеру нәтижелердің ғылыми тұрғыдан дәлелді әрі сенімді болуына мүмкіндік береді.

**Ғылыми еңбектердің апробациясы.** Диссертацияның негізгі нәтижелері келесі халықаралық ғылыми конференцияларда баяндалды және талқыланды: 2022 жылғы күзгі трибология мектебінің XL конференциясы (Польша, 2022 жыл); "Қатты дене физикасы" XV халықаралық ғылыми конференциясы (Астана қ., Қазақстан, 8-10 желтоқсан 2022 жыл); 2023 IEEE 13th International Conference on Nanomaterials: Applications & Properties (NAP-2023) (Словакия, 10-15 қыркүйек 2023 ж.); 2024 IEEE 14th International Conference on Nanomaterials: Applications & Properties (NAP-2024) (Рига қ., Латвия, қыркүйек 2024 ж.); "Materials Science and Composite Engineering" халықаралық конференциясы (Ыстамбул қ., Түркия, 25-26 желтоқсан 2025 ж.).

**Жарияланымдар.** Диссертация тақырыбы бойынша 9 жұмыс жарияланды, оның ішінде Web of Science және Scopus дерекқорларында индекстелетін ғылыми басылымдарда 3 мақала, Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Білім және ғылым саласындағы сапаны қамтамасыз ету Комитеті ұсынған журналдарда 2 мақала, республикалық және халықаралық конференциялар материалдарында 3 жұмыс және ҚР өнертабысына 1 патент.

**Диссертацияның құрылымы мен көлемі.** Диссертациялық жұмыс кіріспеден, төрт тараудан, қорытындыдан, 150 пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және 1 қосымшадан тұрады. Диссертацияның жалпы көлемі 116 бет, оның ішінде 60 сурет және 8 кесте.