

АБИШКЕНОВ МАКСАТ ЖАРЫЛГАСЫНОВИЧТИҢ
6D074000 – «Наноматериалдар және нанотехнологиялар» мамандығы бойынша
философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ұсынылған
«ЖОҒАРЫ ФИЗИКАЛЫҚ-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРГЕ ИЕ ҰЗЫН
ӨЛШЕМДІ НАНОҚҰРЫЛЫМДАНҒАН ДАЙЫНДАМАЛАРДЫ АЛУ
ТӘСІЛІН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ»
тақырыбындағы диссертациялық жұмысының
АҢДАТПАСЫ

Диссертациялық жұмыстың мақсаты неғұрлым тиімді сығылу және ығысу деформациялары түрлерін бір үрдісте тіркестіре немесе біріктіре отырып өңделетін металл дайындаманың көлемінде оңтайлы кернеулік-деформациялық күй қалыптастыратын, қасиеттерін жақсартатын, жеткілікті өлшемдердегі көлемді наноқұрылымданған металл материалдар (КНММ) алуға мүмкіндік беретін, сондай-ақ қолданыстағы өндіріске енгізіле алатын тәсілдерді, оларды іске асыратын деформациялаушы құралдар мен құрылғыларды әзірлеу және зерттеу болып табылады.

Зерттеу міндеттері

Диссертациялық жұмыстың мақсатына сәйкес келесі зерттеу міндеттері қойылды және шешілді:

– Қарқынды пластикалық деформация (ҚПД) әдістерімен КНММ алудың тәсілдерін, олардың артықшылықтарын, кемшіліктерін, концепцияларын, оңтайлы кернеу және деформация режимдерін, өндіріске енгізу потенциалын анықтау үшін қолжетімді ғылыми-техникалық ақпараттарға, мәселенің қазіргі жағдайына аналитикалық шолу жасау;

– аналитикалық шолу қорытындылары негізінде кернеулік-деформациялық күй тұрғысынан оңтайлы деформация түрлерін бір үрдісте тіркестіре немесе біріктіре отырып өңдеуді іске асыра алатын, жеткілікті өлшемдердегі КНММ алуға мүмкіндік беретін, сондай-ақ қолданыстағы өндіріске енгізіле алатын тәсілдердің концепцияларын ұсыну және теориялық, есептік-аналитикалық, компьютерлендірілген әдістерді қолданып тәсілдердің геометриялық, кернеулік-деформациялық, технологиялық параметрлерінің оңтайлылығына баға беру арқылы ғылыми-теориялық негіздеу;

– ғылыми-теориялық негіздеу нәтижелері негізінде өндірісте қолдану потенциалы неғұрлым жоғары әрі деформация түрлерін тіркестендіре алатын тәсілдерді таңдап, өңдеу температурасы, материалы, кристалдық торы, деформациялану механизмдері, түйіршік өлшемдері, құрамы бойынша әртүрлі бастапқы шарттарда тәжірибелер сериясын жүргізу және тәжірибеден кейін алынған үлгілердің микроқұрылымдарының, физикалық-механикалық қасиеттерінің өзгерісін анықтау арқылы тәсілдерді ғылыми-тәжірибелік негіздеу;

– өндіріске енгізу үшін ұсыныстарды әзірлеу мақсатында жұмыс аясында алынған барлық теориялық-тәжірибелік ғылыми нәтижелерді ескере отырып тәсілдерді жекелеген критерийлер бойынша қорытынды бағалау.

Зерттеу әдістері

Диссертациялық жұмыста қойылған міндеттерді шешу барысында тәсілдерді ғылыми-теориялық және ғылыми-тәжірибелік негіздеу үшін келесі ғылыми-зерттеу әдістері қолданылды:

– кернеулі күйді зерттеу үшін сырғу сызықтары немесе характеристикалық қисықтар әдісі;

– пластикалық ағыс жағдайында орын ауыстырулар мен деформация компоненттерін анықтау үшін Эйлер–Лагранж талдауына немесе Лагранж талдауына негізделген вариациялық әдіс;

– кернеулі-деформациялық күйді, энергиялық-күштік параметрлерді зерттеу үшін шекті элементтер әдісі (DEFORM-3D бағдарламасы көмегімен);

– қысыммен өңдеу кезінде күштер мен энергия шығынын есептеу үшін тепе-теңдіктің жуықталған дифференциалдық теңдеулері мен пластикалық шартының теңдеулерін бірге шешу әдісі;

– бастапқы құрылымды талдау үшін жарық микроскопиясы (ЖМ) әдісі (Axiovert 200MMAT жарық микроскобы көмегімен);

– дислокациялық, түйіршікті жұқа микроқұрылымдарды талдау үшін трансмиссиялық электронды микроскопия (ТЭМ) әдісі (JEOL JEM-1400Plus трансмиссиялық электронды микроскобы көмегімен);

– микроқұрылымдық талдау үшін сканерлеуші электронды микроскопия (СЭМ) әдісі (Tescan VEGA 3 LMH сканерлеуші электронды микроскобы көмегімен);

– құрылымдық элементтердің кристалдық бағдарлануын анықтау үшін электронның кері шашыраған дифракциясы (EBSD) әдісі (Oxford Instruments NordlysMax EBSD детекторы, AZtecHKL бағдарламалық жүйесі, HKL Channel-5 Tango бағдарламалық қамтамасыздандыруы көмегімен);

– дифракциялық шыңдарды, олардың өзгерісін және деректер негізінде Уильямсон–Холл әдісімен дислокациялар тығыздығын бағалау үшін рентгендік дифрактометрия (XRD) әдісі (X'Pert PRO MPD рентгендік дифрактометрі, Crystallography Open Database (COD) ашық кристаллографиялық деректер базасы, X'Pert HighScore және Match! бағдарламалары көмегімен);

– үлгілердің фазалық құрамын анықтау үшін энергиялық-дисперсиялық спектроскопия (EDS) әдісі (Oxford Instruments X-MAX80 детекторы көмегімен);

– беріктік-пластикалық сипаттамаларын анықтау үшін ASTM E8, ASTM E9 бойынша металл материалдарды созылуға және сығылуға сынаудың стандартты әдістері (Instron 5982 үзу машинасы, WDW-200 әмбебап сынау машинасы көмегімен);

– үлгілердің қаттылығын бағалау үшін МемСТ Р ИСО 6507-1-2007 сәйкес Виккерс бойынша қаттылықты өлшеу әдісі (Wolpert DigiTestor 930 қаттылық өлшеуші көмегімен);

– үлгілердің меншікті электр өткізгіштігінің және электр өткізгіштігі бойынша Видеман–Франц заңының негізінде жылу өткізгіштігінің өзгерісін анықтау үшін МемСТ 27333-87 сәйкес құйынтоқты бұзбай бақылау әдісі (ВЭ-

27НЦ құйынтоқты электр өткізгіштікті өлшеуіші көмегімен).

Қорғауға ұсынылатын негізгі ережелер (дәлелденген ғылыми гипотезалар және жаңа білім болып табылатын басқа да тұжырымдар)

– деформацияларды біріктіруге негізделген тәсілдер металл материалда кернеулік-деформациялық күйді оңтайландырады және оны сырғу сызықтарының өрісі, кернеулер мен деформациялардың таралу сипаты мен гистограммалары, жылдамдықтар годографы дәлелдейді;

– деформацияларды біріктіруге негізделген тәсілдер КНММ алуға мүмкіндік береді және оны ТЭМ және СЭМ микрографтары, EBSD карталар, XRD дифрактограммалар, EDS спектрлер, $d_{орт}$ таралу гистограммалары дәлелдейді;

– деформацияларды біріктіруге негізделген тәсілдермен алынған металл материалдарда физикалық-механикалық қасиеттер кешені жоғары болады және оны жүктеме-созылу, жүктеме-қысқару диаграммалары, механикалық қасиеттер өзгерісінің эмпирикалық моделімен бірге σ – ε диаграммалары, қасиеттер мәндерін МемСТ-тегі мәндермен салыстыру гистограммалары, Виккерс бойынша қаттылық, меншікті электр өткізгіштік, жылу өткізгіштік мәндері дәлелдейді.

Зерттеудің негізгі нәтижелерінің сипаттамасы

Теориялық және эксперименттік зерттеулер нәтижесінде:

– арнайы созу/соғу/экструзия тәсілінде кернеулік-деформациялық күйдің, технологиялықтың оңтайлылығын қамтамасыз ететін ығысу белдеуінің диаметрі d мен ұзындығы z қатынасының, α ығысу бұрышының оңтайлы мәндері ($d/z \approx 1,5 \div 2,0$; $\alpha \approx 20^\circ$) анықталды;

– α негізгі ығысу бұрышына аз шамалы қосарлы $\gamma \sim 2 \div 10^\circ$ ығысу бұрышын беру арқылы деформация режимін қатаңдатуға болатындығы анықталды, бірақ басқа үрдіспен немесе қарсы қысыммен біріктірілмей тек арнайы соғу режимінде барынша қатаң деформация орын алатыны, ал арнайы экструзияда барынша қатаң деформация орын алу үшін өңдеу қарсы қысыммен іске асырылуы қажеттігі, тең арналы матрицаны қолданып арнайы соғуда $\alpha + \gamma$ қосарлы ығысуына қарамастан көлденең қима бастапқы шамадан кішірейіп кететіндігі, иілу схемасы орын алып деформация мүлдем немесе өте нашар қатаңдайтындығы анықталды;

– ромб-квадрат калибрлер жүйесін қолданып қарапайым ығысумен илемдеу үрдісінде ромб калибр көлденең қимасында деформациялардың нүктелік инверсия заңдылығымен таралуына байланысты келесі квадрат калибрде де сығылу деформациясынан бөлек $\gamma \sim 15 \div 20^\circ$ шамадағы қосымша ығысу орын алатыны анықталды;

– ыстықтай илемделген Ст5пс үлгілерін СЭМ талдау барысында сығылу және ығысу деформацияларының әсерінен перлит колонияларындағы цементит ламеллаларының соқтығысу шекараларымен бағдарлана орналасатындағы және дәстүрлі үрдіспен салыстырғанда $44,7 \div 150$ нм аралығындағы ламеллярлық фрагменттер түзілетіндігі анықталды;

– илемделген Э110 үлгілерін ТЭМ-ВФ режимінде зерттеу барысында ығысу микрожолақтарының түзілгендігі және таңбасы ауысатын ығысу мен биіктік бағытындағы сығылу нәтижесінде ығысу микрожолақтарының соқтығысуы орын алатындығы, сондай-ақ микрожолақтардың ұзындығына шамамен перпендикуляр бағыттарда дислокациялық қабырғалар түріндегі түзілімдердің қалыптасып, микрожолақтарды фрагментациялайтындығы анықталды;

– қарсы қысымсыз және қарсы қысыммен өңделген сәйкесінше Ст5пс және АД31Т1 үлгілерін ТЭМ-ВФ режимінде зерттеу барысында қарсы қысымсыз режимде деформация қатаңдығы нашарлайтыны салдарынан Ст5пс үлгісінде ұзын құрылымдардың орын алғандығы, таза түйіршікті құрылымдардың нашар дамидыны, ал криорежимде қарсы қысыммен өңделген АД31Т1 үлгілерінде Ст5пс салыстырғанда таза түйіршікті, теңесті құрылым жақсы қалыптасатыны анықталды.

Алынған нәтижелердің жаңалығы мен маңыздылығын негіздеу

КНММ алу тәсілдері үшін алынған теориялық нәтижелер, атап айтқанда кернеулі-деформациялық күйдің таралу сипаттары, ығысу бұрыштарының және басқа да геометриялық, технологиялық параметрлердің мәндері тәсілдердің концепциясын оңтайландыру және микромеханикалық параметрлерін алдын-ала болжау тұрғысында маңызды болып табылады. Тәжірибелік нәтижелер және тәжірибелерді орындау барысында анықталған ерекшеліктер, кемшіліктер, артықшылықтар тәсілдердің өндірістік потенциалын критерийлік бағамдауға және қолданыстағы өндіріс жағдайына енгізу үшін ұсыныстар әзірлеуге мүмкіндік береді. Тәсілдерді қолданыстағы металдарды қысыммен өңдеу цехтарында физикалық-механикалық қасиеттерінің кешені жоғары металл өнімдерін өндіру үшін енгізуге болады.

Ғылыми даму бағыттарына немесе мемлекеттік бағдарламаларға сәйкестігі

Диссертациялық жұмыстың тақырыбы Қазақстан Республикасының Үкіметі жанындағы Ұлттық ғылыми кеңестің «Табиғи ресурстарды, оның ішінде су ресурстарын ұтымды пайдалану, геология, қайта өңдеу, жаңа материалдар мен технологиялар, қауіпсіз бұйымдар мен конструкциялар» басым бағытына сәйкес келеді. Бұл басым бағыттағы 2022-2024 жылдарға арналған «Жас ғалым» жобасы бойынша жас ғалымдардың зерттеулерін гранттық қаржыландыру шеңберінде АР14972831 – «Металл карбидтерімен және кремний өндірісінің қалдықтарымен армиленген тәжірибелік алюминий матрицалық композиттердің құрылымы мен қасиеттерін зерттеу» тақырыбындағы жобасы аясында да зерттеулердің бір бөлігі орындалды.

Докторанттың әрбір жарияланымды дайындауға қосқан үлесінің сипаттамасы

Автордың өзімен немесе тікелей қатысуымен жұмыстың зерттеу міндеттері қойылды, ғылыми-теориялық және ғылыми-тәжірибелік зерттеулер

жоспарланды, дайындалды және іске асырылды, алынған нәтижелер талқыланды, түсіндірілді және жалпыланды, баспа жұмыстары жазылды, әзірленді және тапсырылды. Жұмыс шеңберіндегі жарияланымдардың басым көпшілігінде ізденуші бірінші автор немесе автор-корреспондент болып табылады.

Диссертациялық жұмыс тақырыбы бойынша 25 (жиырма бес) ғылыми жұмыс жарияланды, оның ішінде: Web of Science (Clarivate Analytics) базасының Science Citation Index Expanded және Scopus (Elsevier) базасының CiteScore бойынша индекстелетін, диссертация тақырыбының ғылыми бағыты бойынша рецензияланатын ғылыми басылымдарда 10 (он) мақала, ҚР ҒЖБМ ҒЖБСБҚ ұсынған ғылыми басылымдарда 3 (үш) мақала, республикалық ғылыми басылымда 1 (бір) мақала, халықаралық және республикалық ғылыми-практикалық конференциялар жинақтарында 8 (сегіз) баяндама, ҚР пайдалы модельге 3 (үш) патент.