

**6D071000 – Материалтану және жаңа материалдардың технологиясы
мамандығы бойынша философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесін
ізденудегі диссертацияға
АҢДАТПА**

ВОЛОКИТИН АНДРЕЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ

**Теңканалды сатылы матрицада престелген және келесі сымдалған
металдық материалдарда ультраұсақтүйіршікті құрылымның түзілуін
және қасиеттерін зерттеу**

Тақырыбының өзектілігі. Қазақстан Республикасының экономикасының алдында тұрған жоспарларын іске асыру үшін негізгі салаларды бірегей физикалық, механикалық және басқа пайдалану қасиеттері бар жоғары сапалы металл өнімдерімен қамтамасыз ету қажет. Жиі осы себептерді шешуі жоғары энергия шығындарымен байланысты. Энергия мен шикізатты үнемді пайдалану жағдайында энергия және ресурстық үнемдеу әдістерінің мәселесі бізмезгілде жоғары беріктігі мен икемділікті біріктіретін қасиеттері бар материалдарды алу, өнімді өңдеу кезінде ең аз уақытты жұмсауға мүмкіндік беретін қарапайым және қымбат емес құрылғыларды пайдалану жағдайында үлкен практикалық мәні болады.

Соңғы кезде бірегей қасиеттермен игеретін ультраұсақтүйіршікті құрылымы бар материалдарға жиірек назар аударады. Бұл қазіргі жетілдіру перспективасын ашады және принципті жаңа конструкциялық материалдарды жасап құруға, себебі ультраұсақтүйіршікті құрылымы бар материалдар беріктік және пластикалық қасиеттердің оңтайлы тіркестерді қамтамасыз етеді. Айта кететін оң нәтижесі қымбат легирлеуші элементтер есебінен емес, тек қана құрылымның өзгерісінен жетілдіріледі. Бұл көп техника-экономикалық көрсеткіштерді жетілдіруге алып келтіреді және өндірістің төмен материал сыйымдылығын және энергиялық сыйымдылығын қамтамасыз етеді.

Материалдарды өңдеудің жаңа әдістерін жасаудың ғылыми негізі металдар мен қорытпалардың құрамы, құрылымы мен қасиеттері арасындағы байланыстарды зерттеу, сондай-ақ әртүрлі сыртқы әсерлер, соның ішінде деформацияланатын металдар мен қорытпалардағы фазалық және құрылымдық қайта құру механизмдерін тәжірибелік және теориялық талдау.

Созу және салқында таптау сияқты дәстүрлі деформациялық технологиялар, сонымен қатар құрылымды ұнтақтаумен бірге жүреді. Дегенмен, жалпы алғанда, субқұрылымы созу немесе таптау бағыты бойынша ұзартылған түйіршіктері бар ұялы сипатқа ие, сондай-ақ аз бұрыштық шекаралардың жоғары үлесін қамтиды. Екінші жағынан, қарқынды пластикалық деформация (ҚПД) арқылы алынған материал түйіршікті құрылымды, салыстырмалы түрде кішігірім дәндермен, жоғары бұрғылау бұрыштарымен сипатталады. Бұл факт қайта кристалдану динамикасына, демек термиялық тұрақтылыққа да қолайлы әсер етеді.

Сонымен қатар, ҚПД жиі төмен температура кезінде (қоршаған орта), бұл оны тартымды етеді. Сонымен бірге, олардың бір микроннан аз және ерекше шекаралары бар ультраұсақ түйіршікті және нанокұрылымды күйлері (2-3 есе) техникалық таза металдардың беріктігін және 1,5-2 есе асатын қорытпалардың жеткілікті деңгейде жоғары төзімділік артуы мүмкін екендігі белгілі. Металдарды ультраұсақ түйіршікті құрылымен өндірудің ең белгілі тәсілі - бұл ТКБП әдісі, ол көп циклді өңдеу жағдайында өнеркәсіптік мақсаттарда пайдалану үшін маңызды болып табылатын металдарды жоғары технологиямен пайдалану арқылы ультраұсақ түйіршікті құрылымды қамтамасыз етеді. Машинажасау және медицина салаларында ҚПД әдістерін қолданудың кейбір нәтижелері белгілі болғанымен, бұл энергия ресурстарының құнын 20-30%-ға дейін төмендетуге мүмкіндік берді, бірақ олар белгілі еңбекке және энергия шығының әдістердің көпшілігін алу үшін кеңінен қолданылмады, алынатын өнімнің геометриялық өлшемдерге шектеу қойып, олардың өнімділігін айтарлықтай төмендетеді.

Металдық дайындамаларды сапалы өңдеудің әдістерінің бірі ұзын сымдарды созуы болады. Созу процесі геометриялық дұрыс өнімді ереже түрде аз қималы тегіс және таза бетпен алуға бағытталған. Процестің нәтижесі сымның диаметрін төмендету және оның ұзындықтарын ұзартуы болып келеді. Барлық адамгершілік қызметтерінің саласында қолданылатын әртүрлі сым кескіндері және басқа сым өнімдерін өндіру үшін актуалды болады. Қайта өңдеуде қазіргі технологияда илемді бұйымды сымға созудың жиынтық сығуы жеткілікті үлкен (99,2% дейін), қосымша аралықтық қыздыру өңдеулердің өткізулері талап етеді. Сондықтан қазіргі технологияларда әбден жетілдіруде металдың беріктік және пластикалық қасиеттерін аралықтық қыздыруды өңдеусіз жоғарылату, сымның қажетті соңғы сипаттамаларын сақтаумен актуалды болады. Соңғы жиырма бес жылдарда ультраұсақ түйіршіктер және нанокристалдық материалдарды жоғарылатылған физико-механикалық қасиеттермен алуға шоғырланған зерттеулер белсенді дамып жатыр, демек жаңа ұрпақтардың келешекті конструкциялық және функционалдық материалдары болады. Осы сәтке дейін барлық ғылыми мектептер Ресейде сияқты, солайда шекара елдерде де бұл бағытта ғылымды белсенді дамытады. Сондай авторларды санап шығуға жеткілікті, олар В.М.Сегал, В.В. Рыбин қызм., Левит В.И. қызм., Р.З. Валиев қызм., Р.Р. Мулюков қызм., А.М. Глезер қызм., С.В. Добаткин қызм., В.Н. Чувильдеев қызм., В.Н. Варюхин қызм., Э.В. Козлов, Н. Конева, А.Виноградов, T.G. Langdon, M. Furukawa, M. Nemoto, Z Horita және басқалары, онда өткізілген зерттеулер масштабы түсінікті болады. Дегенмен, ұзын көлемді нанокұрылымдық материалдарды алудың сұрағы актуалды болып қалады.

Осы жұмыстың өзектілігі мемлекеттік бюджеттен қаржыландыратын әр түрлі деңгейдің мемлекеттік бағдарламалармен осы тақырыптар талап етіліп расталып жатыр.

Тақырыптың жаңалығы. Металдар мен қорытпалардың түйіршікті құрылымына әсер етуді, классикалық созумен біріктірілген кезде тең-

каналды сатылы бұрыштық матрицада, дамитын қарқынды пластикалық деформацияларды зерттеуді, яғни ығысу және тартып созу схемаларын іске асыруға мүмкіндік береді. Жаңа технологиямен өңделген металдан жасалған материалдардағы көлемді ультраұсақ түйіршікті құрылымды қалыптастыру, неғұрлым ультраұсақ түйіршікті құрылымды металды алудың бұрыннан белгілі әдістеріне қарағанда тиімдірек болады. Бұл жоғары технологиялық және операциялық қасиеттері бар сымдар өндірудің жаңа тиімді технологиясын жасауға мүмкіндік береді.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты металдық материалдардың ультраұсақтүйіршікті құрылымын және қасиеттерін құрастыруға престоу-созудың пластикалық деформациясының жаңа сыйыстырылған процестің ықпалын зерттеу.

Зерттеу есептері:

1. Илемділіктің жеткілікті параметрлерінде жоғарғы (жақсартылған) сипаттамаларымен әр түрлі металдардан сымды алу үшін қатар қолданылатын «престоу-созу» процестің оңтайлы технологиясын зерттеу.

2. «Престоу-созу» процестің үзіліссіз шарттың модельдеу және теориялық дәлелдеу.

3. Жаңа қатар қолданылатын «престоу-созу» процестің соңғы-элементтік үлгіні компьютерлік модельдеу әдістерімен зерттеу және сымның пішінің өзгерісі және процестің тұрақтылығына қосарланудың параметрлерінің әсерін зерттеу.

4. Ультраұсақтүйіршікті құрылымын құрастыру мүмкіндігін анықтау мақсатымен деформациялау процесінен алынған үлгінің кернеулік-деформациялау күйін талдау.

5. Қатар қолданылатын «престоу-созу» процесті В - I/550 М созу станда жүзеге асыру мүмкіндігін бағалау.

6. Микроқұрылым құрастырушы ұсату есебінен жоғарылатылған механикалық қасиеттерін алуын қамтамасыз ететін қатар қолданылатын «престоу-созу» процестің тиімділігін бағалау.

Зерттеу пәні. Деформацияланатын металда ультраұсақтүйіршікті құрылымын құрастыруға арналған қатар қолданылатын «престоу-созу» процесі.

Зерттеу нысаны. Біріктірілген «престоу-созу» әдісімен алынған Ст.3 маркалы болат, А0 маркалы алюминий және М1 маркалы мыс сымдарының микроқұрылымы.

Зерттеудің әдіснамалық негізі. Диссертациялық жұмысты орындалуында пайдаланылатын зерттеу мен талдауының негізгі әдістерінің біріне жататын:

- DEFORM-3D бағдарламалық жинақта модельдеу көмегімен кернеулік-деформациялық күйдің есебі;

- Jeol фирмасының JEM-2100 жарық түсіретін микроскопында деформацияланған үлгілерінің микроқұрылымның электронды-микроскопиялық зерттеу;

- РЭМ Philips XL-30 катодты өріс көмегімен EBSD талдау;

- арнайы қосымшалармен жабдықталған LEICA DM IRM HC микроскопында сымның микроқаттылығын анықтау;

- Instron 5982 құралында үлгінің бір өстік созылуын сынау.

Зерттеулер мемлекеттік метрологиялық тексерістен өткен аспаптар мен өлшеу құралдарының көмегімен жүргізілді.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы:

1. Пластикалық қорын сақтаумен сымның беріктік қасиеттерінің кешенің жоғарылатуын қамтамасыз ететін, қарқынды пластикалық деформацияны және классикалық сым созу әдістерін үйлестіретін «престеу-созу» процесті деформацияның жаңа сыйыстырылған технологиясы зерттеп жасалды.

2. Бір деформация ауқымында бірнеше операцияларды үйлестіру кезінде пайда болған күрделі жүктеуде кернеулі-деформациялық жағдайының өзгерістің заңдылығы орнатылды.

3. «Престеу-созу» процесінде деформациялау шартына байланысты Ст.3 маркалы болат, А0 маркалы алюминий және М1 маркалы мыстын ультраұсақтүйіршікті құрылымның және механикалық қасиеттерінің қалыптастыру заңдылықтары анықталынды.

4. Қатар қолданылатын «престеу-созу» процесінің жоғары механикалық қасиеттерін және біркелкі УҰТ құрылымын алуды қамтамасыз ететін Ст.3 маркалы болат, А0 маркалы алюминий және М1 маркалы мыстың деформация режимдері анықталды.

5. «Престеу-созу» деформациялаудың жаңа бірлескен технологиясын қолдануы механикалық қасиеттерінің кешенің жоғарлатудың дәстүрлі сымдаумен салыстырғанда қамтамасыз етуге тәжірибе түрде дәлелденген. Атап айтқанда, Ст.3 маркалы болаттан сымды өңдеу кезінде уақытша үзілу кедергісі 360 МПа арттады, шартты ағу шегі - 460 МПа-ға, үзілуден кейін салыстырмалы тарылуы 8%-ға төмендейді, бірақ төмен түсуі, классикалық сым созу сияқты сонша маңызды емес болады.

Жұмыстың практикалық құндылығы әзірленген біріктірілген «престеу-созу» технологиясы жоғары сапалы сымды ультраұсақтүйіршікті құрылымымен және жоғары механикалық қасиеттерімен алуға мүмкіндік береді, ал бұл, өз кезегінде қымбат легирленген болат маркаларын қарапайым конструкциялық маркасына ауыстыруға мүмкіндік беру ерекшелігі. Практикалық құндылығы "Алматы ауыр машинажасау зауыты" АҚ жағдайында ғылыми-зерттеу жұмысының нәтижелерін тәжірибелік-өнеркәсіптік тексеруді өткізу туралы актісімен расталады. «Престеу-созу» бірлескен технологиясында Ст3 маркалы болат, А0 маркалы алюминий және М1 маркалы мыстың ультраұсақтүйіршікті құрылымымен ұзынша сымды алуға мүмкіндігін пайдалануға көрсетілген. Ұсынылған технологиясы біртекті ультраұсақтүйіршікті құрылымы бар ақаусыз көлемді дайындамалар және материалдардың әр түрлі беріктігі, икемділік және функционалдық қасиеттерінің үйлесімен алуға мүмкіндік береді. Тәжірибелік деректердің нәтижелері Қарағанды мемлекеттік индустриялық университеті оқу процесіне енгізілген және бакалаврлар, магистранттар даярлауға және

«Металдарды қысыммен өңдеу» кафедрасында дәрістер оқуға пайдаланылады.

Қорғауға шығарылатын негізгі жағдайлар және жұмыс нәтижелері:

1. Біріктірілген «престеу-созу» технологиясы, сымды жоғары беріктікпен және пайдалану қасиеттерімен алуға мүмкіндік беретін, жүзеге асыру үшін деформацияланатын түйіні және пішінге келтіретін аспаптың құрылысы.

2. Сымның ультраұсақтүйіршікті құрылымын және жоғары механикалық қасиеттерін қалыптастыруды қамтамасыз ететін «престеу-созу» процесінде Ст3 маркалы болат, А0 маркалы алюминий және М1 маркалы мыстың деформациялау режимдері.

3. ТКБП (РКУП) және дәстүрлі сым созу технологияларын біріктіру нәтижелері. Жаңа технологиясы құрылымды ұсақ, біртекті, теңесті түйіршікті үлкен бұрыштық шекараларымен қалыптастыруға мүмкіндік береді. Осы нәтижелерге қол жеткізуге теңканалды матрицада болатын ығысу деформацияларды қолдануға мүмкіндік берді, яғни қалыптастырылған стандартты әдістерінен ерекшеленетін материал құрылымын қалыптастыруға келтірілген.

4. «Престеу-созу» процесінде Ст3 маркалы болатта, А0 маркалы алюминийде және М1 маркалы мыста ультраұсақтүйіршікті құрылымын қалыптасу заңдылықтары стандарттар талаптарын қанағаттандыратын пластикалық және тұтқырлық деңгейінде сақтай отырып, механикалық қасиеттерінің беріктік сипаттамаларын біршама арттыруға мүмкіндік береді.

5. Біріктірілген «престеу-созу» әдісімен деформациялауға ұшыраған, көлемдік металл материалдарда ультраұсақтүйіршікті құрылымын қалыптастыру механизмі.

Ғылыми зерттеуші бағдарламалармен диссертациялық жұмыстың байланысы.

1 2012-2014 жылдары «Ғылыми зерттеулердің гранттық қаржыландыру» бағдарламасы бойынша алюминий және мыс сымның жоғары механикалық қасиеттері және ультраұсақтүйіршікті құрылымын алу мақсатымен біріктірілген «престеу-созу» әдісімен деформациялауды әзірлеу және зерттеу.

Диссертанттың жеке салымы. Диссертант тікелей белсене талқылауға және қою міндеттері мен нәтижелерін талдау, ұйымдастыру және теориялық және эксперименттік зерттеулерді өткізу, сым созатын құралдың практикалық конструкциясын дайындауға қатысты. Диссертацияға қосылған барлық тәжірибелік нәтижелері, немесе өз диссертантпен алынған, немесе оның тікелей қатысуымен.

Жұмысты апробациялау. Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері мен тезистері келесі халықаралық ғылыми-техникалық конференцияларда ұсынылды және талқыланды: XVIII International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy, material engineering, production engineering and physics» (Czestochowa, Poland, 2017);

Халықаралық Сәтпаев оқулары «Шахмардан Есеновтың ғылыми мұрасы» (Алматы, Қазақстан, 2017); «Қазақстанның үшінші жаңғыртылуы - жаңа ұғымдар мен заманауи шешімдер» IX Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясы (Теміртау, Қазақстан, 2017); XIX International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy and material engineering and production engineering and physics» (Czestochowa, Poland, 2018); International conference on recent advances in metallurgy for sustainable development (Vadodara, India, 2018); The International Scientific Congress «Machines. Technologies. Materials» (Sofia, Bulgaria, 2018).

Жарияланым. Диссертациялық зерттеудің материалдары бойынша 19 жұмыс жарияланды, оның ішінде 4 мақала нөлдік емес импакт-факторы бар (Scopus, Web of Science) журналдарында, ғылыми қызметтердің негізгі нәтижелерін жариялауға Қазақстан Республикасының білім және ғылым министрлігінің Білім және ғылым саласындағы бақылау комитетінің ұсынылған ғылыми басылымдарында 4 мақала, конференция материалдарында 6 мақала және конференцияларда баяндамалардың тезистер жинақтары, патентке өтініш берілді (сарапшылардың оң нәтижесі берілді).

Диссертацияның құрылымы мен көлемі: Диссертация машиналық мәтіннің 129 бетінде ұсынылды, оның ішінде 81 сурет және 10 кесте. Мазмұны, тағайындалу мен қысқартулардың тізімінен, кіріспеден, бес бөлімнен, қорытындыдан, 131 әдебиетті қамтитын дереккөздердің тізімінен тұрады.