

## АНДАТПА

8D07202 – «Металлургия» мамандығы бойынша PhD докторанты Александр Владимирович Ревуцкийдің «Техникалық берилийдің сапасын арттыру және ұнтақ металлургиясы процестерін жетілдіру бойынша зерттеу» тақырыбындағы диссертациялық жұмысына

**Тақырыптың өзектілігі.** Берилий қазіргі заманғы өнеркәсіптің ғылымды қажетсінетін бірқатар салаларында — ядролық реакторлардағы нейтрон шағылыстырғыштардан бастап навигацияның гироскопиялық жүйелері мен металлооптикаға дейін қолданылатын бірегей материал болып табылады. Әлемдік берилий нарығының көлемі 350 тоннаға бағаланады және 2029 жылға қарай 465 тоннаға дейін өседі деп болжануда. Алдын ала мәліметтер бойынша, қазақстандық өндірістің үлесі әлемдік өндірістің шамамен 25%-ын құрайды. Алайда қазіргі уақытта қазақстандық берилий номенклатурасының 99,5%-ы қосылған құны төмен өнімдерді — лигатуралар мен ыстықтай престелген (ЫП) дайындамалар түріндегі жартылай фабрикаттарды өндіруге бағытталған.

Қазақстанның металлургия саласы үшін стратегиялық маңызы зор әлеует — шикізаттық жартылай фабрикаттарды экспорттаудан жоғары технологиялық өнім шығаруға көшу болып табылады. Қолданыстағы вакуумдық ыстықтай престоудің (ВЫП) өнеркәсіптік технологиясы тек құрылымдық қасиеттердің базалық деңгейін қамтамасыз етеді, сонымен қатар қасиеттердің тұрақсыздығымен (сәйкессіздіктер деңгейі 15–20%-ға жетеді) және айқын анизотропиямен сипатталады. Жоғары технологиялық өнімдер нарығына шығу үшін арнайы сипаттамалары сапалық жағынан жаңа деңгейдегі, атап айтқанда серпімділіктің жоғары дәлдікті шегіне (СДШ) және соның салдары ретінде өлшемдік тұрақтылыққа ие берилий сорттары қажет.

Берилийдің пайдалану сипаттамаларын арттыру гексагональды кристалдық торының ерекшеліктеріне байланысты оның табиғи морттығымен қиындай түседі. Бөлшектерді қарапайым ұсақтау арқылы беріктендірудің дәстүрлі әдісі өз шегіне жетті: тотығуға бейімділігінің жоғары болуына және қоспалардың сөзсіз көбеюіне байланысты ұнтақ бөлшектерінің мөлшерін одан әрі кішірейту мүмкін емес. Осы жағдайда берилийдің қасиеттерін жақсартудың өзге тәсілдерін, мысалы, түйіршік шекараларының құрылымын басқаруды іздестіру қажеттілігі туындайды. Бұл тәсілде берилий оксиді (BeO) зиянды қоспа ретінде емес, бұйымның беріктігі мен тұрақтылығын айтарлықтай арттыруға қабілетті құнды арматуралаушы компонент ретінде көрінеді.

Ғылыми әдебиеттерде арматуралаушы фазаның түзілу механизмі мен «қоспалық құрам — шоғырландыру параметрлері — арнайы қасиеттер»

жүйесіндегі сандық тәуелділіктердің негізделмеуі аспаптық мақсаттағы берилийдің тұрақты өнеркәсіптік технологиясын жасауға мүмкіндік бермейді. Осылайша, қажетті қасиеттерге қол жеткізу үшін берилий ұнтақтарын қысыммен ыстықтай тығыздау технологиясын басқару ерекшеліктерін зерттеу — шешімі Қазақстан Республикасының экономикасын да, ғылыми әлеуетін де дамыту үшін маңызды болып табылатын өзекті ғылыми-техникалық міндет.

**Диссертациялық жұмыстың мақсаты.** Ұнтақ металлургиясы әдістерімен алынатын күйдірілген (пісірілген) берилийдің сапасын басқарудың жаңа ғылыми қағидаттарын әзірлеу және соның негізінде берилий ұнтақтарын қысыммен ыстықтай тығыздау технологияларын жетілдіру.

**Қойылған мақсатқа қол жеткізу үшін келесі негізгі міндеттерді шешу қажет:**

1. Өнеркәсіптік ыстықтай престелген берилийдің беріктік қасиеттерін арттыру бойынша зерттеулер жүргізу;
2. Ыстықтай престелген берилий құрылымында беріктендіруші оксидтік фазаның түзілуіне қоспалардың әсер ету механизмін зерттеу;
3. Ыстықтай изостатикалық престоуге қатысты берилийдің беріктік қасиеттерін басқарудың сандық заңдылықтарын әзірлеу;
4. Әзірленген техникалық шешімдердің экономикалық тиімділігін бағалау.

**Зерттеу нысаны.** Өртүрлі фракциялардағы (-30-дан 180 мкм-ге дейін) техникалық берилийдің өнеркәсіптік ұнтақтары және «ҮМЗ» АҚ жағдайында вакуумдық ыстықтай және ыстықтай изостатикалық престоу әдістерімен алынған жинақы (компактілі) дайындамалар.

**Зерттеу пәні.** Жинақы берилий құрылымының қалыптасу заңдылықтары, түйіршік шекараларындағы оксидтік фазалардың девитрификациялану (шынысыздану) механизмдері және қысыммен термиялық шоғырландыру кезіндегі берилийді беріктендіру процестері.

**Зерттеу әдістері.** Жұмыста заманауи талдау әдістерінің кешені қолданылды: индуктивті байланысқан плазмасы бар масс-спектрометрия, газдық талдау, фотоседиментациялық талдау, азоттың төмен температуралы адсорбциясы әдісі (БЭТ). Микроталдауы бар растрлық электронды микроскопияны, жарықтандырғыш (өтпелі) электронды микроскопияны (реплика әдісі) және оптикалық металлографияны қолдану арқылы құрылымдық микроскопиялық зерттеулер жүргізілді. Механикалық сынақтар жүргізілді. Деректерді статистикалық өңдеу корреляциялық және регрессиялық талдауларды қолдану арқылы орындалды.

**Жұмыстың ғылыми жаңалығы:**

1. Алғаш рет берилийден жасалған өнеркәсіптік өнім сапасын статистикалық зерттеу нәтижесінде бастапқы шикізат сипаттамалары мен процестің технологиялық регламентін ескеретін алынатын материалдың механикалық қасиеттерін басқарудың математикалық моделі әзірленді.

2. Алғаш рет күйдірілген берилийде арматуралаушы фазаның түзілу механизмі BeO аморфты беткі қабықшасының девитрификациялануының (шынысыздануының) басқарылатын процесінің нәтижесі ретінде теориялық тұрғыдан негізделіп, эксперименттік түрде расталды. Бұл фазаның морфологиясы мен беріктендіру әсері кристалдану сипатына (гомогенді немесе гетерогенді) байланысты екені анықталды.

3. Түйіршік шекараларының қалыптасуындағы қоспа факторының рөлі — Si/Al қоспаларының қатынасы алғаш рет эксперименттік түрде анықталды.  $Si/Al < 0,5$  кезінде беріктендіруші моновөлшектердің (120–150 нм) түзілуімен гомогенді кристалдану механизмі жүзеге асатыны, ал  $Si/Al \geq 1,0$  кезінде оксидтің кеуек кластерлерге коагуляциялануына және шекаралардың беріксізденуіне әкелетін гетерогенді механизм жүретіні дәлелденді.

4. Алғаш рет шартты аққыштық шегі мен серпімділіктің жоғары дәлдікті шегінің ыстықтай изостатикалық престеу параметрлеріне сандық тәуелділіктері анықталды. Алынған аналитикалық өрнектер Холл-Петчтің белгілі формуласының одан әрі дамуын білдіреді және тек түйіршік мөлшерін ғана емес, сонымен бірге беріктендіруші оксидтік бөлшектердің де мөлшерін ескеруге мүмкіндік береді.

### **Жұмыстың практикалық маңыздылығы:**

1. Ыстықтай престелген берилийдің сапасын тұрақтандыруды және өнімнің ақауын азайтуды қамтамасыз ететін ыстықтай престеудің икемді технологиялық регламенті әзірленді.

2. Берилийдің «аспаптық» сорттарын өндіруді ұйымдастыру есебінен шығарылатын өнім номенклатурасын кеңейтудің ғылыми-техникалық негіздері әзірленді.

3. Өндірістік шығындарды азайтумен және қосылған құны жоғары өнім шығару арқылы пайданың өсуіне технологиялық негіздерді қамтамасыз етумен көрініс табатын зерттеу нәтижелерін енгізудің экономикалық тиімділігі негізделді.

**Жұмыс нәтижелерін сынақтан өткізу (апробация).** Диссертацияның негізгі нәтижелері Қ.И. Сәтбаевтың 120 жылдығына арналған «Қазақстанның жер қойнауы – ел тұрақтылығы мен өркендеуінің негізі» халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясында (Өскемен қ.), «Материалдар мен наноматериалдардың деформациясы мен қирауы» VIII халықаралық конференциясында (Мәскеу қ.), Жаңа материалдар және химия өнеркәсібі бойынша VI халықаралық конференцияда (Сямэнь қ., Қытай) баяндалып, талқыланды.

**Жарияланымдар.** Диссертация тақырыбы бойынша 7 баспа жұмысы жарық көрді, оның ішінде: 2 мақала Scopus және Web of Science деректер қорларына кіретін журналдарда; 5 мақала ҚР ҒЖБМ Ғылым және жоғары білім саласында сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған журналда; 1 мақала РФ Ғылым және жоғары білім министрлігінің ЖАК рецензиялайтын журналында жарияланды.

**Диссертацияның құрылымы мен көлемі.** Жұмыс кіріспеден, алты бөлімнен, қорытындыдан және пайдаланылған дереккөздер тізімінен тұрады. Диссертация 95 бетте баяндалған, 52 сурет пен 15 кестені қамтиды. Әдебиеттер тізімі 87 атауды қамтиды.