

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты

Өндірістік инженерия
кафедрасы

Тоқтоған Берік Мақсатұлы

«Аддитивті технологияларға арналған металл ұнтақтарды плазмалық
сфероидизациялау»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071200 – Машина жасау

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты

Өндірістік инженерия

кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

PhD д-ф, қауым. профессоры

_____Арымбеков Б.С.

«_____» _____ 2020 ж.

Дипломдық жобаға

ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

Тақырыбы: «Аддитивті технологияларға арналған металл ұнтақтарды
плазмалық сфероидизациялау»

5B071200 – Машинажасау

Орындаған

Тоқтоған Б.М.

Ғылыми жетекші,

_____Базарбай Б.Б.

«_____» _____ 2020 ж.

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты

«Өндірістік инженерия»
кафедрасы

5B071200 – Машинажасау

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі

PhD д-ф, қауым. профессоры

_____Арымбеков Б.С.

«___»_____ 2020 ж.

**Дипломдық жоба орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Тоқтоған Берік Максатұлы

Тақырыбы «Аддитивті технологияларға арналған металл ұнтақтарды
плазмалық сфероидизациялау»

Университет ректорының «___» _____ 2020 ж. №____-б бұйрығымен
бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «___»_____2020 ж.

Дипломдық жобаның бастапқы берістері

Дипломдық жобада қарастырылатын мәселелер тізімі

- а) Стандартты металл ұнтақтарды сфероидизациялау бойынша тәжірибе жүргізу;*
- б) Ұнтақтардың микрофотографиясын алу;*
- в) Зерттелетін ұнтақтарды дисперсиялық талдау;*
- г) Плазмамен өңдегеннен кейін бастапқы ұнтақтар мен ұнтақтарды химиялық талдау;*

Дипломдық жобаны дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәліметтер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Кіріспе. Аддитивті технологияға шолу		
Аддитивті технологиялар үшін металл ұнтақтарын талдау		
ПМС-1, НБП-2 маркалы стандартты металл ұнтақтары және ti-Nb жүйесінің ұнтақтарды зерттеу		
ПНК-50" маркалы электродугалық плазмотронды зерттеу		

Дипломдық жоба бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жобаға қойған қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер, аты, әкесінің аты, тегі (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Норма бақылау			

Ғылыми жетекші _____ Базарбай Б.Б.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы _____ Тоқтоған Б.М.

Күні «__» _____ 2020 ж.

АНДАТПА

Дипломдық жұмысты жазу барысында металл ұнтақтары, ПМС-1, НБП-2 және жүйенің ұнтақтары сфероидизация бойынша эксперименттер жүргізілді. Тұрақты ток электродугалы плазмотронында плазма ағынымен, "ПНК-50" тұрақты ток электродугалы плазмотронында талдау жүргізілді; бастапқы металл ұнтақтар мен ұнтақтардың формасына плазмамен өңдеуден кейін quanta 200 3D растрлық электронды микроскоптың көмегімен талдау жүргізілді; зерттелетін ұнтақтарға дисперсиялық талдау жүргізілді; бастапқы металл ұнтақтар мен сфероидизацияланған плазмамен ұнтақтарға химиялық талдау жүргізілді

АННОТАЦИЯ

При написании дипломной работы проведены эксперименты по сфероидизации металлических порошков, порошков ПМС-1, НБ-2 и систем. Проведен анализ на электродуговом плазмотроне постоянного тока с потоком плазмы, электродуговом плазмотроне постоянного тока "ПНК-50"; проведен анализ формы первичных металлических порошков и порошков с помощью растрового электронного микроскопа quanta 200 3D После обработки плазмой; проведен дисперсионный анализ исследуемых порошков; проведен химический анализ исходных металлических порошков и порошков со сфероидизированной плазмой.

ANNOTATION

When writing the thesis, experiments were conducted on spheroidization of metal powders, powders of PMS-1, NB-2 and systems. Analysis was performed on a DC electric arc plasma torch with plasma flow, DC electric arc plasma torch "PNK-50"; analysis of the shape of primary metal powders and powders using a quanta 200 3D scanning electron microscope After plasma treatment; dispersion analysis of the powders under study; chemical analysis of the initial metal powders and powders with spheroidized plasma.

Мазмұны

Кіріспе	7
1 Әдебиетке шолу	8
1.1. Аддитивті технологияларға шолу	8
1.2 Аддитивті өндірісте пайдаланылатын 3d металл материалдарға шолу және олардың қолданысы	13
1.3 Үйкеліс тораптарындағы жүктеу заңдары	19
2 Зерттеу нысаны мен әдісі	23
2.1 Конструкциялық материалдарды өсіру технологиясының сипаттамасы, сыналатын үлгілерді дайындау кезінде пайдаланылуы	23
2.2 Зерттелетін материалдар	28
2.3 Аддитивті алынған материалдардың кеуектілігін зерттеу	29
2.4 Динамикалық сынақтармен жұмыс істеу әдістемесі	31
2.5 Жүктеудің динамикалық режимдерін зерттеу	35
2.6 АТК үлгілерін сынау	36
Қорытынды	38
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	39

Кіріспе

Толық негізі бар аддитивті технологиялар жиырма бірінші ғасырдың технологияларына жатады. Олар өнімнің әр түрлі түрлерін жасау үшін энергетикалық шығындарды төмендетуде үлкен әлеуетке ие. Олардың өнеркәсіптік өндірісте пайдалану дәрежесі мемлекеттің индустриялық және инновациялық дамуының дұрыс индикаторы болып табылады [1, 2].

Осы кезеңде үш өлшемді баспаның жетекші әдістерінің бірі аддитивті технологиялар болып табылады. Ресейде Дайын бөлшектерді басу үшін лазерді қолданатын машиналар құрастырады. Олар тек полимерлік бұйымдарды өндіру үшін ғана емес, сонымен қатар бұйымдарды металдармен басып шығару үшін де жарамды, бұл өнеркәсіптің осы саласындағы басым бағыттардың бірі болып табылады [3, 4].

Металдан жасалған сапалы бұйымдарды басып шығару және конструкцияланатын қондырғылардың толыққанды жұмыс істеуі үшін шығын материалы - бөлшектердің сфералық формасымен металл ұнтағы қажет [5].

Қазіргі уақытта ресейлік тұтынушылар импорттық жоғары сапалы металл ұнтақтарын жеткізуге тәуелді, бұл түпкі өнімнің бағасына айтарлықтай әсер етеді. Аталған проблеманы негізге ала отырып, бөлшектердің сфералық формасы бар мамандандырылған металл ұнтақтарын өндірудің өзіндік әдісін әзірлеу қажет. Соның арқасында плазмалық өңдеуді қолдану туралы шешім қабылданды, ол тольколегкок балқитын емес, баяу балқитын стандартты металл ұнтақтарын сфероидтандыруға мүмкіндік береді.

Ресейдегі зерттеулердің жағдайы бастапқы кезеңде:

1. АО "ГИРЕДМЕТ" - 10-50 мкм 40% титан ұнтақтарының сфералық формасын алу (зертханалық қондырғы, плазма форманы жетілдіру ретінде) - зерттеулер;
2. АО "ВНИИХТ" - 70-100 мкм тот баспайтын болаттан жасалған ұнтақтарды кесу (зертханалық қондырғы, сымды бүрку және ұнтақты өңдеу) - зерттеулер;
3. "НОРМИН" ЖШҚ-50-70 мкм плазмалық атомизациясындағы титан корытпаларының ұнтақтарын өндіру (тәжірибелік қондырғы) - зерттеу;
4. УрФУ-күмістен, мыстан және титаннан (зертханалық қондырғылар) сымдарды шашырату арқылы металл ұнтақтарды алу - зерттеулер;
5. ПНИПУ - титаннан (зертханалық қондырғы) - зерттеу;
6. Титаннан (зертханалық қондырғы) - зерттеу;

Бұл жұмыстың мақсаты аддитивті технологиялар үшін металл ұнтақтарды плазмамен сфероидизациялау әдістемесін әзірлеу болып табылады.

Зерттеу нысаны плазмалық өңдеу арқылы сфероидизирленген стандартты металл ұнтақтары болып табылады.

Зерттеу пәні-аддитивті лазерлік технологиялармен бұйымдарды өндіру үшін сфероидизирленген металл ұнтақтарын алу және қолдану.

Ғылыми жаңалық-плазмалық өңдеу жеңіл балқитын ғана емес, сонымен қатар ауыр балқитын металдарды сфероидтандыруға мүмкіндік береді.

Әзірленген әдістеме тез балқитын металдардан ғана емес, сонымен қатар баяу балқитын металдардан де бөлшектердің сфералық формасымен металл ұнтақтарын өндіруге мүмкіндік береді, осылайша ұқсас әмбебап технологияны енгізу шетелдік өндірушіні Ресей нарығында аддитивті технологияларға арналған мамандандырылған металл ұнтақтарын алмастыруға мүмкіндік береді.

Эксперименттер нәтижелері бойынша плазмалық өңдеу арқылы аддитивті технологиялар үшін металл ұнтағының формасын оңтайландыру әдістемесі ұсынылды.

Зерттеу нәтижелері бірнеше ғылыми конференциялар мен жобалар байқауларында баяндамалар ретінде ұсынылды:

1. IV Халықаралық ғылыми-практикалық конференция "машина жасаудың өзекті мәселелері", 2017 жылғы 29 наурыз;

2. "GenerationS" Бүкілресейлік стартап-акселератордың финалында атқарылған жұмыс туралы есеп, қаңтар 2017 ЖЫЛ, Красноярск;

3. "Машина жасаудағы Экономика прогрессивті технологиялары" студенттер мен оқушы жастарға арналған VIII бүкілресейлік ғылыми-практикалық конференция, 6-8 сәуір 2017 ж.;

4. 2017 жылдың мамыр айында Кемерово "аддитивті технологиялар үшін плазмалық өңдеу көмегімен металл ұнтағының формаларын оңтайландыру процесін зерттеу" жобасы бойынша атқарылған жұмыстар туралы баяндамамен есеп.

РҒА СБ ИТПМ қызметкері Виктор Иванович Кузьминге ұнтақтарды плазмалық сфероидизациялау және "ПНК-50" қондырғысын ұсынуда баға жетпес көмек көрсеткені үшін алғыс білдіргім келеді. Жұмыстың авторы ИФПМ қызметкері РҒА, Химич Маргарита Андреевнаға Ti-Nb жүйесінің ұнтағын талдау нәтижелерін зерттеуге көмек көрсеткені үшін алғыс білдіреді.

1. Әдебиетке шолу

Қазіргі уақытта Ресейде көптеген зерттеу институттары аддитивті технологиялардың көмегімен бөлшектерді өндіру бойынша міндеттерді шешумен айналысты. Бұйымдарды өндірудің мұндай әдісі уақытты едәуір қысқартады, жұмсалатын материалдың санын төмендетеді, сол арқылы күрделі бейінді бөлшектерді дайындауға жалпы құнын төмендетеді. Аддитивті технологиялар өндірістік процестің икемділігі түрінде үлкен артықшылығы бар. Мысалы, біз өнімнің номиналды көлемін ұлғайту немесе азайту жағына өзгерту қажет. Сонымен қатар, технологиялық үрдісті толық өзгертуге тура келеді, ал аддитивті технологиялар бұл проблеманы басқару жүйесінде модель өлшемін өзгертіп, қажетті параметрлерді қойып шешуге мүмкіндік береді[6-10].

Аддитивті технологиялар бірнеше кезеңде өтетін өте күрделі процесс болып табылады. Алдын ала біз соңғы өнімнің қандай технологиялық параметрлері мен қасиеттеріне ие болу керектігін анықтауымыз керек. Осы мәліметтерге сүйене отырып, металл ұнтағын өндіретін лайықты құрам қорытпасын дайындайды. Содан кейін өнімді сапалы құру процесін қамтамасыз ету үшін алынған ұнтаққа Дайындық операцияларын жүргізеді. Келесі кезең металл ұнтағын қабаттап жағу және оның бөлшектерін бір-бірімен, берілген траекториямен, ортада жентектеу болады инертті газбен толтырылған Осылайша шығуда біз одан әрі қолдануға дайын өнімді аламыз [11-15].



1-сурет. Аддитивті өндіріс кезеңдері

Аддитивті өндіріс саласында зерттеулер жүргізе отырып, ғалымдар металдан жасалған дайын бұйымды алудың барлық қажетті факторларын ескере алатын түрлі әдістемелерді әзірлей бастады. Мұндай түрдегі ең тиімді технологиялардың бірі аддитивті лазерлік технологиялар болып табылады.

Бұл жерде ең тиімді және белсенді дамып келе жатқан селективті лазерлі қорытпаның технологиясын атап өтуге болады [16-21].

Бұйымды құру процесі алдын ала инертті газбен толтырылатын герметикалық камерада өтеді. Содан кейін жұмыс платформасына металл ұнтағының жұқа қабатын жағады, ол пышақпен немесе роликпен тегістейді, қондырғының конструкциясына байланысты. Содан кейін металл бөлшектер бір-бірімен лазермен компьютер берген траектория бойынша пісіріледі. Одан әрі жұмыс үстелі берілген биіктікке түсіріледі, ұнтақтың келесі қабаты жағылады және цикл бұйым толық тұрғызылғанға дейін қайталанады [22-24].

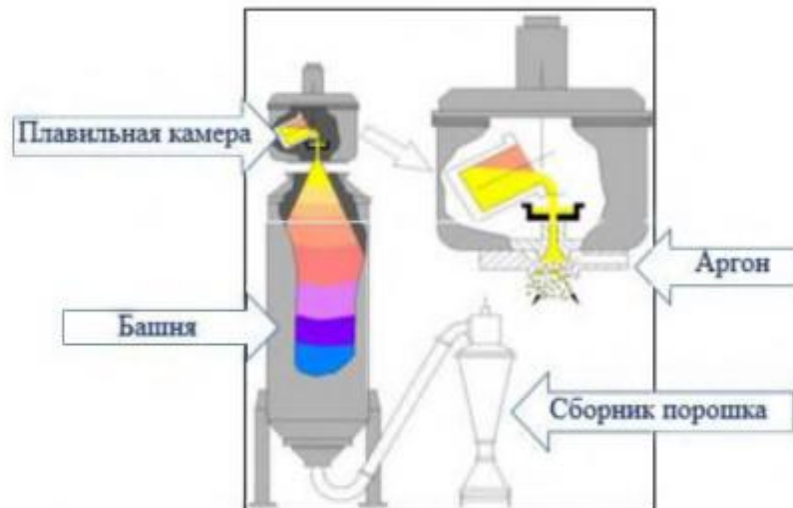
Жабдықтың күрделілігіне қарамастан, бұйымдарды аддитивті лазерлік технологиялармен дайындау үшін қондырғылар пайдалану өте оңай, ал сәйкесінше өндірісте өте тиімді.

Ресей инженерлері осындай қондырғылар құрастыруда. Бірақ мұндай қондырғылардың толыққанды жұмыс істеуі үшін арнайы металл ұнтақ қажет. Ресейде жоқ немесе оны пайдалану үшін талаптарды қанағаттандырмайды. Соның арқасында шығыс материалдары, үш өлшемді басып шығару үшін шетелдік өндірушілерден сатып алынады. Өз кезегінде, шетел ұнтағын сатып алу өте қымбат болады, бұл дайын өнімнің соңғы құнына айтарлықтай әсер етеді [25-28].

Жоғары баға сфералық болуы тиіс ұнтақтың металл бөлшектерінің пішініне қойылатын ерекше талаптарға негізделген. Металл ұнтағының сферикалық бөлшектері жұмыс қабаты түрінде жақсы жағылады, берілген көлемге жинақы салынады және бөлшектерді бір-бірімен жентектеу бойынша лазердің жұмысын жеңілдетеді [29-31].

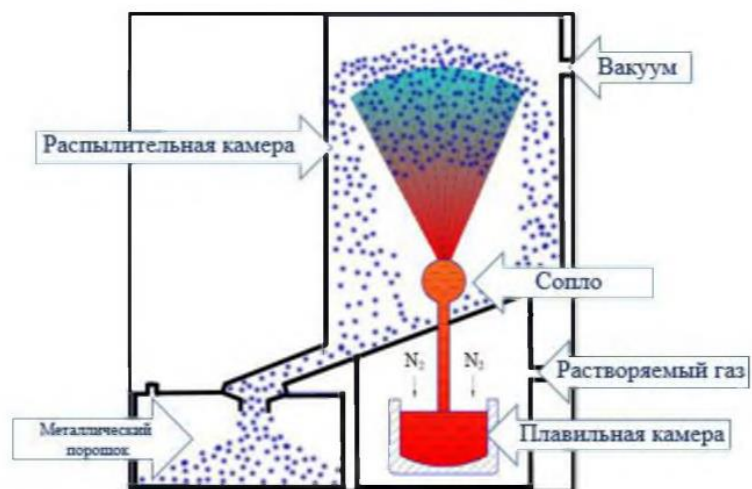
Арнайы металл ұнтақ газ, вакуум және центрден тепкіш атомизация сияқты бірнеше классикалық әдістермен өндіріледі. Атомдау арнайы қондырғыларда - атомайзерлерде жүргізіледі.

Газды атомдау процесі арнайы қондырғыда жүргізіледі, онда металл инертті газбен толтырылатын балқыту камерасында балқытылады. Металл толығымен балқыған соң, оны жоғары қысыммен бүріккіш арқылы құяды. Бүріккенде инертті газ ағынымен сұйық металл ағыны бұзылады. Ұшудың фазасы кезінде металл бөлшектері, беттік керілу күштерінің әсерінен сфералық формаға ие болады [32-36].



2-сурет. Газды атомдау процесі

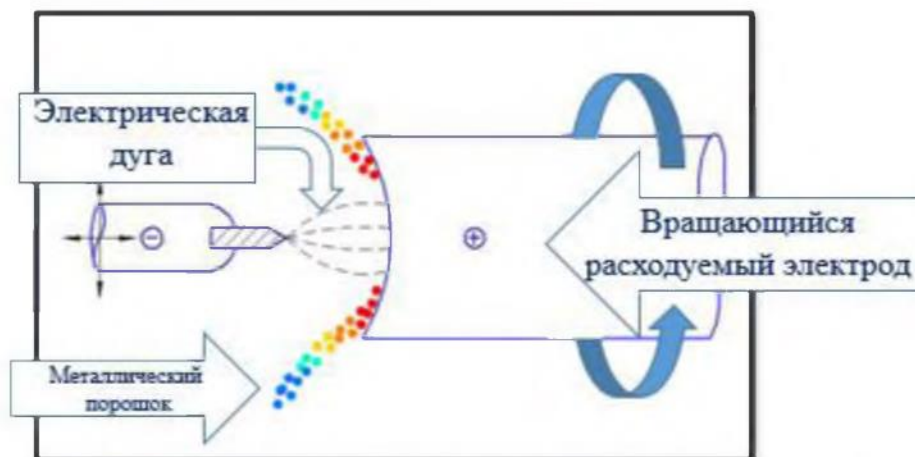
Вакуумдық атомдау балқыту және бүріккіш камераны пайдалана отырып жүзеге асырылады. Балқыту камерасында металл балқытылады және газдың артық қысымы (азот, гелий немесе сутегі) пайда болады, ол біртіндеп балқытуда ериді. Содан кейін бүріккіш камерада вакуум атмосферасы құрылады. Қысымның әртүрлілігінің әсерінен металл бүріккіш камераға шығатын арнайы шүмектен өтіп, жоғары қарай жылжиды. Қысымның күрт өзгеруі металда ерітілген газды ра-қорытпаның тамшылары бетіне шығаруға мәжбүрлейді, оларды шашыратып және сфералық пішін береді[38-42].



3-сурет. Вакуумдық атомдау процесі

Ортадан тепкіш атомда металл бөлшектердің сфералық түрін алу үшін екі электрод қолданылады. Электродтардың бірі - вольфрам, оны екінші шығындалатын ұнтаққа қарсы қатты бекітеді. Электродтар арасындағы жұмыс барысында Шығыс электродын балқытатын электр доғасы пайда болады. Бұл ретте, балқытылған металл, ортадан тепкіш күштің әсерінен ұсақ тамшылар

түрінде шашырайды. Ұшу кезінде бөлшектер балқытылған металды алады сферическую нысаны [44-46].



4-сурет. Ортадан тепкіш атомдау процесі

Аддитивті технологиялармен бұйымдарды өндіруге арналған шикізат процестің маңызды бөлігі болып табылатындықтан, көптеген ұйымдар мен зерттеу институттары классикалық әдістердің алдында артықшылықтары бар өз әдістерін әзірлейді [48].

ЖАҚ «СПЕЦХИММОНТАЖ» [49] патентінде баяу балқитын ұнтақ материалдарын плазмалық өңдеу әдісі сипатталған. Әдіс ұнтақтарды өңдеу жүргізілетін плазмалық ағынның Жоғары температуралы аймағына материалды енгізумен байланысты.

Жұмыс тақырыбы бойынша патенттердің бірінде [50] құбырдағы баяу балқитын қосылыстардың сфероидизация тәсілі сипатталған. Құбыр Жоғары кернеу астында және вакуумдық камераның ішінде орналасады. Құбырда инертті атмосфера құрылады. Ұнтақты қыздырылған құбыр арқылы өткізеді. Бөлшектер өту барысында ерітіледі және сфералық пішінге ие болады.

Индастриз Огайо Компаниясы, Инк. (АҚШ), бу фазасынан ұнтақ бөлшектерінің физикалық тұндыру тәсілін әзірледі. Бу фазасындағы бөлшектері бар камераға иондық сұйықтық енгізіледі. Камерадағы Температура төмендейді және бөлшектер ионды сұйықтыққа түсіп, сфералық форманы алады.

АҚ "СХК" әзірлемесі [52], магний плазмохимиялық реактордың осіне бұрышта орналасқан үш плазматронмен өңдеу әдісін сипаттайды. Металл ұнтақ, эжекторлық типті шнек қоректендіргішінің көмегімен плазмамен өңдеу аймағына беріледі. Жоғары температураның әсерінен бөлшектердің беті еріп, барлық геометриялық кемшіліктерді тегістейді.

Қытайдың солтүстік-батыс политехникалық университеті лазермен ұнтақтарды сфероидизациялау әдісін әзірлейді. Ұнтақ бар камераны инертті газбен толтырады. Содан кейін ұнтақ бөлшектеріне лазерлік сәулелену әсер

етеді. Сәулеленудің әсерінен бөлшектер балқиды және сфералық пішінге ие болады.

Компания Н. С. Starck GmbH ұсынды өзгертуге тәсілі сфероидизация бөлшектердің плазмалық ағынымен [54]. Өңдеу алдында ұнтақ ұсақтап, фрикциялық диірменде араластырады. Осылайша суспензия алынады. Суспензияны жоғары жиілікті плазма ағынына тасымалдайтын газбен енгізеді. Плазма ағымында ұнтақ бөлшектері вьютсфериялық формаға ие болады

Овчинников А. В. және т.б. жұмыста сфералық титан ұнтақтарын гидрирлеу және дегидрлеу әдісімен алу әдісін ұсынады. Ұнтақтар алынған гидрированием бар нысаны, жақын сфералық [56]. Дегидрирлеу қоспалардан ұнтақ тазартады [57, 58]. Бірқатар технологиялық операциялар ұнтақ бөлшектерінің формасын жақсартады. Алынған материал аддитивті технологиялар үшін балама шикізат ретінде пайдаланылуы мүмкін [59, 60].

Кашапова Р.Н. және т. б. мақалаларында [61] өндіру үшін ұнтақ бөлшек сфералық нысаны газ технологиясын пайдалануды ұсынады [62-64], сұйық электродтары бар разрядты экспериментальной орнату. Жұмыс деп артуымен процесс температурасы бөлшектердің өнімділігі мен өлшемі артады ұнтақ. Алынған ұнтақ бөлшектердің сфералық нысаны бар және селективті лазерлік қорытуға арналған қондырғыларда қолданылады.

ФГУП ВИАМ ФГУП қызметкерлері өз жұмысында ЭП648-ВИ металл ұнтағын өндіру үшін әзірленген HERMIGA 10/100 VI қондырғысын пайдаланады. Балқытылған металл жылытылатын керамикалық түтікше арқылы жоғары қысыммен шашырайды. Алынған ұнтақ сфералық нысаны және 10-200 мкм бөлшектер өлшемі бар.

Н. Н. Струков мақаласында сфералық ұнтақтарды алу үшін шыбық материалын плазмамен тозандату ұсынылады. Плазмалық ағыс сұйық металдың тамшысын жасай отырып, шыбықтың қыртысын балқытады. Тамшы шыбықтың бетінен үзіледі және ұшуда сфералық пішін алады.

Мақаласында Григорьева А. В. және т. б. [67] зерттелмеген плазмалы сфероидизация ұнтақ қорытпалар, Nb-Si [68, 69]. Процестің жоғары температурасы ұнтақ бөлшектерінің сфероидизациясына ғана емес, зиянды қоспаларды булауға да мүмкіндік береді. Процестің негізгі параметрлерін бақылау (ұнтақты беру жылдамдығы, ұнтақ қозғалысының траекториясы, плазма түзетін газдың шығыны, плазма ағынының қуаты) берілген құрамы мен нысаны бар ұнтақ алуға мүмкіндік береді. [70-73].

Шетелде ұқсас технология қолданылады, бірақ Tekna ' s Inductively Coupled Plasma (ICP) компаниясымен ағынға қойылған. Dr Maher Boulos мақаласында осы компания қызметінің негізгі бағыттары және аддитивті технологиялар үшін ұнтақ өндіру процестерінің сипаттамасы ашылады. Олар сондай-ақ дұрыс емес геометриялық формадағы ұнтақтарды плазма ағынымен өңдеуді пайдаланады. Нақты мысалда процесс R.Vert және т. б. мақаласында қарастырылған [75], онда плазмалық ағындағы сфероидизация кезінде титан негізіндегі қорытпалармен болатын процестер егжей-тегжейлі зерттелген.

Сондай-ақ, ұнтақтарды плазмалық өңдеумен корей ғалымдары айналысады, олар өз зерттеулерінде титан негізіндегі қорытпалардан жасалған

ұнтақтарды қарастырады [76]. Қорытпалар гидрирлеу және дегидрлеу әдісімен алынды, содан кейін плазмалық ағында пысықталды. Бөлшектер сфералық пішін алды және аддитивті технологиялар үшін Шығыс шикізатына қойылатын талаптарға толық сәйкес келеді.

С. Дитрих және т.б. мақаласында аддитивті технологияларға арналған ұнтақтар өндірудің әртүрлі тәсілдері сипатталады. Өнеркәсіптік ұнтақты өндіруге арналған қондырғылар мен зертханалық қондырғылар егжей-тегжейлі қарастырылған. Авторлар сапалы ұнтақтарды алудың ең тиімді әдісі ретінде плазмалық сфероидизацияны бөледі. Аддитивті технологиялар үшін ұнтақ материалдарының сапасына байланысты проблемалар сипатталған. Плазмамен ұнтақтарды сфероидизациялауға арналған қондырғы тұжырымдамасы ұсынылған.

Маджид Энтезарян өз жұмысында [78] плазмалық көмегімен композиттік материалдардан ұнтақтар алу бүрку. Бұл әдіс Композит жасау үшін қолданылды $Al-TiAl_3$, үш плазмалық жүйеге ұнтақтарды инъекциялау арқылы. Плазмалық тозанданумен алынған ұнтақтардың микроқұрылымдары, дәстүрлі алынған ұнтақ композиттермен салыстырылды әдістермен жүргізіледі. Микроқұрылым өңдеу тәсіліне қатты байланысты. Дәстүрлі әдістермен алынған композиттер инелі құрылымы, плазмалық сфероидизация ұнтақ сферикалық пішінді берді және берілген өлшем. Зерттеу барысында, бұл ұнтақ бөлшектерінің диаметрі температуралық режим айтарлықтай әсер етеді плазмалық ағыс. Сондай-ақ, эксперименттер жоғары температура біртекті құрылымды береді, ал төменгі өңдеу температурасында, ұнтақ бөлшектері өзара реакцияға түседі.

Зерттеулерге П. Цантризода және т. б. [79], алу үшін жұқа сферикалық ұнтақтар плазмалық тозандану процесі әзірленді. Әдеттегі жоғары қысымды форсункалардан айырмашылығы, авторлар пайдаланады бүріккіш газды жеделдету үшін арнайы әзірленген торап. Металл сым процессінде плазма ағысына беріледі және шашырайды, сфералық форманың бөлшектерін қалыптастыра отырып. Бұл әдіс өндіруге мүмкіндік береді орташа реакцияға қабілетті металдардан жасалған сфералық ұнтақтар бөлшектер өлшемі 40 мкм.

Т. Лах және т. б. ғылыми жұмыста металл оксидтерінің бөлшектері [80] дұрыс емес түрдегі ұнтақтар плазмамен шашыранды. Нәтижесінде тар таралу диапазоны бар сфералық форманың бөлшектері алынды. Бүрку әртүрлі ортада жүргізілді, атап айтқанда: ауа, су және сұйық азот. Бөлшек мөлшерін сандық анықтау үшін, әртүрлі рентген дифракциясының әдістері қолданылды. Анықталды, салқындату жылдамдығының артуымен, мөлшері артады нанозерен бөлшектерде. Электронды микроскопия жаңа композиттік ұнтақтарды плазмалық өңдеуден кейінгі фазалар.

Қытай ғалымдары плазмалық параметрлердің әсерін зерттеді және бөлшектерінің өлшеміне сфероидизация ұнтақтарды [81]. Молибден ұнтақтары өңделді, дұрыс емес. Эксперимент барысында ұнтақ жылдамдығы оңтайландырылды, газ ағынының жылдамдығы. Ұнтақ морфологиясын зерттеді электрондық микроскопия. Фазалық құрамы талданды рентгендік дифракция әдісімен. Ұнтақ бөлшектерінің орташа мөлшері болды плазмамен

өңдеу процесінде азайған, ал ұнтақ тығыздығы өсті. Сонымен қатар, өңделген ұнтақ жоғары тазалықпен ерекшеленеді. Зерттеу нәтижелері плазмалық сфероидизация әдісінің перспективтілігін дәлелдейді.

Ю. Ченфанның жұмысында [82] сфероидизация әдісі ретінде баяу балқитын металдар плазмалық сфероидизация берілген. Ұнтақтарда W және W-Ta композиті, тиімділігі эксперименталды тексерілді әдісін. Өңдеу нәтижесінде ұнтақ тығыздығы мен ағымдылығы артты. Дұрыс емес аз мөлшерде сфералық пішін алынды бөлшектердің.

Бағалы металдарды сфероидизациялау бойынша бірқатар эксперименттер жүргізді Tekna Plasma Systems Inc компаниясының ғалымдар тобы. [83]. Өйткені аддитивті технологиялар күрделі пішінді бұйымдарды шығаруға мүмкіндік береді, олар зергерлер үшін үлкен қызығушылық бар. Сондықтан авторлар болды шешім қабылдау, салаларды алудың баламалы әдісін ұсыну бағалы металдардан жасалған ұнтақтар. Бұл әдіс плазмалық болды сфероидизация. Pt, Rh, Ir ұнтақтары және олардың қорытпалары өңделді. Зерттелген өңделген металл ұнтақтарының морфологиясы, тығыздығы және ағымдылығы. Алынған ұнтақтар жоғары жиілікпен және ақаулардың жоқтығымен ерекшеленеді бөлшектер құрылымында.

Жапон ғалымдары алу әдістеріне салыстырмалы талдау жасады күмістен жасалған сфералық ұнтақтар [84]. Әдістер ретінде таңдалды су атомизациясының технологиясы және плазмалық өңдеу. Күміс ұнтақ 80 МПа қысымы мен жылдамдығы бар суды бүрку арқылы алды сканерлейтін электрондық микроскопияны талдау көрсетті, күмістің жиналған бөлшектері біріктірілген және әртүрлі морфология: сфералық, сфероидалдық және тұрақты емес. Плазмалық өңдеу сфералық формадағы бөлшектердің көлемін едәуір арттырды. Рентгендік фотоэлектронды спектроскопия мазмұны күміс бөлшектеріндегі оттегі 500 ppm-ден 45 ppm-ге дейін азайды. Термомеханикалық талдау күміс ұнтақтың шөгуін көрсетті плазмалық өңдеу есебінен азайтылған. Нәтижесінде анықталды күміс ұнтағының бөлшектерінің сипаттамасы айтарлықтай өзгерді плазмалық өңдеу.

Қытай ғалымдары [85] сондай-ақ сфероидизация ретінде ұнтақты плазмамен өңдеуді қолданды. Сфералық қорытпа ұнтағы nb-Ti негізінде плазмалық сфероидизация және механикалық легирлеу. Нәтижелер ерімегендерді көрсетеді легирлеуші элементтер біртекті фазаның қорытпасымен жетеді. сфероидизация. Бөлшектер өлшемі 20-110 мкм диапазонында орналасқан. Кезінде мөлшерін азайту бөлшектердің жүреді көшу мелкозернистой құрылымы. Сфероидтандырылған ұнтақтың беті оксидтер қабатымен жабылады, негізінен TiO₂ және Nb₂O₅-тен тұрады. Агломераттың пайда болу ықтималдығы және бөлшектердің коалесценциясы плазма температурасының ұлғаюымен, вакуумдағы өңдеу поралар санын төмендетеді және олардың біртекті болуына ықпал етеді бөліктер көлемінде бөлу.

Плазмалық өңдеудің ұнтақ бөлшектеріне әсері болды Dr бабында жарияланды. С. Jin және т. б. [86]. Сфералық Молибден ұнтақ геометриялық плазмалық өңдеу көмегімен алынды дұрыс емес бөлшектер. Газ-тасығыш

ағыны жылдамдығының әсері және Молибден ұнтағын беру жылдамдығы, соңғы өнімдердің пішіні мен мөлшеріне. Зерттеу барысында плазма тек сфероидизацияланған ғана емес ұнтақ, бірақ қоспалардан тазартады, бөлшектердің мөлшерін азайтады, оларды арттырады тығыздығы.

Жоғарыда аталған зерттеулер көпшілігі көрінеді сапалы сфералық өндіріс саласында жұмыс істейтін ғалымдар аддитивті технологиялар үшін ұнтақ плазмалық таңдауға бейім сфероидизация. Бұл дәстүрлі атомдау әдістері металл ұнтағының бірқатар кемшіліктері бар. Оларға қатысты: процестің жоғары құны, дайындау мүмкіндігінің болмауы қиын балқитын материалдарды таңдау спектрін шектейді және тиісінше аддитивті технологияларды қолдану аясын тарылтады өнеркәсіпте. Сондай-ақ кемшіліктерге уақытты жатқызуға болады. әрбір нақты материал үшін жабдықты қайта салу сегіз сағаттан астам уақыт алады [87].

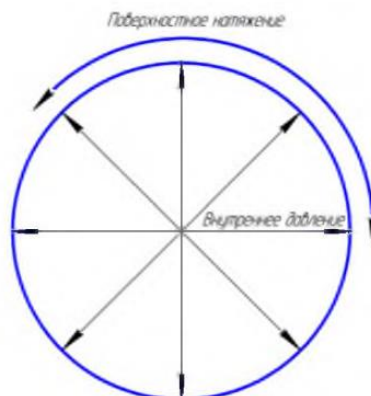
Бұл кемшіліктер плазмалық өңдеу әдісімен шектеледі стандартты металл ұнтақтары, бөлшектер формасымен сфералық [88].

Плазмада синтезделген ұнтақ жіктеледі мынадай: 1 - ден 100 нм-Ультрадисперсті; 100 нм-ден 100 НМ-ге дейін 10 мкм - жұқа дисперсті; 10 - нан 200 мкм-ге дейін-орташа дисперсті; 200-ден 1000 мкм - грубодисперсные [89, 90].

Өңдеу процесі жалпы түрде келесідей көрінеді. Стандартты металл ұнтақ, арналмаған, бар аддитивті өндіріс қондырғыларында пайдалану геометриялық кемшіліктер плазма ағынына орналастырылады. Оплавляясь бөлшектер ұнтақ, беттік тартылу күші әсер етеді сферическую нысаны [91].

Бірінші кезекте бөлшек түрі өз шарттары мен режимдеріне байланысты плазмалық өңдеу процесі, өңделетін ұнтақтың физикохимиялық қасиеттері да маңызды рөл атқарады. Егер металл сұйық болса күй үлкен беттік керілуі бар, онда оның астында бөлшектер әсерімен сфералық пішінді алады. Жаман жағдайда немесе егер металдың беті төмен болса созылу, бөлшектер уақыт бұрын кристалдануы мүмкін беттік керілу оларға сфералық пішін береді. Нәтижесінде ұнтақтың бөлшектері дұрыс емес, әртүрлі пішінді болуы мүмкін.

Сфера орталықтан, барлық бағытта, бетіне қарай келетін ішкі қысымға ие, ал беткі керілу металл молекулаларын сфералық жағдайда байланыстырады (5-сурет). Бөлшектер сферада қалыптасады, бұл нысан беттік керілудің ең төменгі деңгейін, яғни осындай нысанды сатып алуға жұмсалатын ең төменгі энергия шығынын талап етеді [93].



Сурет 5- металдың сфералық бөлшектерінің схемасы

Егер металдың балқытылған сфералық бөлшектерін кессе, сол және оң жартысы тең болатындай етіп, Лаплас теңдеуін қолдануға болады:

$$F = P \cdot \frac{R}{2} \quad (1)$$

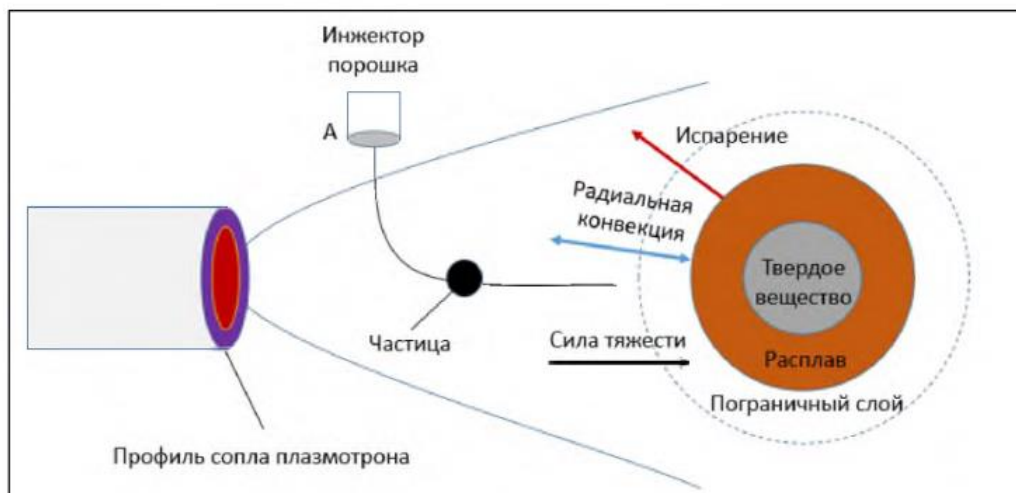
Бұл жерде F - беттік керілу, Н/м;

P - ішкі қысым, Па;

R - бөлшектің радиусы, м.

Бұл формула сфералық форманы сатып алу үшін ең аз беттік керілу қажет екенін көрсетеді.

Плазма ағысындағы әрбір бөлшектер айтарлықтай жылу жүктемелерін сынайды, бірақ өңдеу жылдамдығы өте жоғары болғандықтан, бөлшектер соңына дейін балқуға үлгермейді (19-сурет), әсіресе баяу балқитын металдардан жасалған 100 мкм жоғары мөлшердегі бөлшектерге қолданылады [94]. Плазмалық өңдеу үшін мұндай фракцияның ұнтағы қолайлы, бұл ұнтақ бөлшектерінің инжектор қабырғаларына жабысуын болдырмауға мүмкіндік береді.



Сурет 6 - плазма ағысында қозғалатын дискретті бөлшектің сызбалық бейнесі оны қыздыру [95]

Плазмалық ағыстағы бөлшектердің қызуы сфералық денелер үшін жылу өткізгіштік теңдеумен сипатталады.

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 \lambda \frac{\partial T}{\partial r}), \quad (2)$$

$$0 < r < R, t_A < t < t_L,$$

$$H = \rho \int_{T_0}^T c dT + \rho \chi_m. \quad (3)$$

Бұл жерде $H(T)$ – энтальпия, кДж;

T – температура, К;

R – бөлшектің радиусы, м;

t – бөлшектің қызу уақыты, с;

t_A – А нүктесіндегі уақыт (сурет 6), с;

t_L – L осьтік қашықтықтағы уақыт, с;

λ – жылу өткізгіштік, Вт/(м·К);

c – жылу сыйымдылығы, Дж/(кг·К);

ρ – тығыздық, кг/м³,

χ_m – балқудың жасырын жылуы

Шекаралық шарттар:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=0} = 0, \quad (4)$$

$$\lambda_p \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=R} = q - \chi_v g_v, \quad (5)$$

$$q = \alpha(T_g - T(R)) + \xi \sigma_0 (T_g^4 - T(R)^4), \quad (6)$$

бұл жерде q - жылу ағыны газдан бөлшекке, Вт/м²;

α - бөлшектер мен плазмалық ағыс арасындағы конвективті жылудың алмасу коэффициенті;

ξ - сәуле шығару қабілетінің коэффициенті арқылы радиациялық жылу алмасу, Вт/м²;

T_g - бөлшектер орналасқан жердегі газ температурасы, К;

$T(R)$ - бөлшектер бетінің температурасы, К;

χ_v - булану жылуы, Дж/кг;

$g_v(T)$ - буланудың меншікті беттік массалық шығыны, кг/с;

σ - Стефан-Больцман тұрақтысы.

Бөлшектер қызған кезде плазма ағысында металл беттен буланады, бұл ретте бөлшектердің радиусы өзгеруі мүмкін. Бұл тұрақты өзгертін радиусты әрбір нақты уақыт сәтінде массаның тепе-теңдігі арқылы есептеуге болады:

$$\frac{dm}{dt} = g_v S,$$

Бұл жерде m – бөлшектің салмағы, $m = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$, кг;

S - бөлшек бетінің аймағы, $S = 4\pi R^2$, м².

Плазмалық ағысқа металл бөлшектері түскен кезде қозғалыстың әртүрлі траекториясын және жылдамдық мәнін алады.

Бөлшектер жылдамдығы мен траекторияны Ньютон екінші заңын плазмалық ағында ұшу кезінде бөлшектердің бетіне әсер ететін кедергі күші Аэродинамикасына теңдей отырып алуға болады. Бұл мақсат үшін бөлек Алынған бөлшектердің жылдамдығы бөлшектер орталығының координатасынан уақыт бойынша туынды ретінде анықталады. Бұл тендеу келесідей жазылады:

$$\frac{d(m\vec{v})}{dt} = \vec{F},$$

$$\vec{F} = C_d S_m \frac{\rho_g (\vec{u} - \vec{v}) |\vec{u} - \vec{v}|}{2} + m\vec{g}, \quad (8)$$

бұл жерде v – бөлшектің жылдамдығы, м/с;

u - шашыраңқы бөлшектермен өзара әрекеттесуді ескеретін еркін ағынның жергілікті жылдамдығы, м/с;

F - аэродинамикалық күштің векторы;

C_d - сфералық бөлшектердің тасымалдау коэффициенті;

S_m - бөлшектердің көлденең қимасының ауданы, $S_m = \pi R^2$, м²,

ρ_g - қоршаған газдың тығыздығы, кг-м³;

g - гравитациялық жеделдету, м/с².

Конвективті жылу алмасу және сфералық бөлшектер үшін аэродинамикалық кедергі коэффициенті былайша сипатталады:

$$\alpha = Nu \frac{\lambda_g}{2R}, \quad (9)$$

$$\begin{cases} 24 Re, & Re \leq 0.2 \\ 24 Re^{-1} + 3.6 Re^{-0.317}, & 0.2 < Re \leq 4.0 \\ 24 Re^{-1} + 4 Re^{-0.333}, & 4.0 < Re \end{cases} \quad (10)$$

$$Nu = 2 \frac{\lambda_g}{\lambda} + 0.5 Re^{0.5} Pr^{0.4} \left(\frac{\rho_g \left|_{r \gg R} \eta_g \right|_{r \gg R}}{\rho_g \left|_{r=R} \eta_g \right|_{r=R}} \right)^{0.2}, \quad (11)$$

$$Re = 2R \rho_g |\vec{u} - \vec{v}| / \eta_g, \quad (12)$$

$$Pr = C_g \eta_g / \lambda_g, \quad (13)$$

Бұл жерде Nu – Нуссель саны;

Re – Рейнольдс саны;

Pr - Прандтль саны;

η - плазмалық ағыстың динамикалық тұтқырлығы, Па/с;

λ_g - бөлшектер бетінің температурасы кезінде есептелген бөлшектердің орналасу нүктесіндегі плазмалық ағыстың жылу өткізгіштігі, Вт/(м·К);

ρ_g - бөлшектер бетінің температурасы кезінде есептелген бөлшектердің орналасу нүктесіндегі плазмалық ағыстың тығыздығы, кг/м³;

η_g - бөлшектер бетінің температурасы кезінде есептелген бөлшектердің орналасу нүктесіндегі плазмалық ағыстың динамикалық тұтқырлығы, Па/с;

C_g - бөлшектер бетінің температурасы кезінде есептелген бөлшектердің орналасу нүктесіндегі плазмалық ағыстың жылу сыйымдылығы, кДж/кг·К.

Плазмалық ағысқа бүрілетін бөлшектер тездетіледі және газбен қызады. Сонымен қатар ағыс инжектирленген бөлшектердің әсерінен баяулайды және салқындатылады [95]. Ескеру үшін бұл нәтиже, жүзеге асырылуда әдісі «екі жақты байланыс» деп қол жеткізіледі үйлесімі импульс энергиясын бар сұйықтық ағынының және уравнениями энергия бөлшектер көмегімен элементтерді S_V және S_H . Осы элементтерді қамтиды импульс жоғалту энергиясы үшін жеделдету және қыздыру бөлшектер толқынында плазмалық ағынының ретінде анықталады:

$$S_V = \frac{1}{\delta V} \sum_{k=1}^b \bar{F}_k S_k, \quad (14)$$

$$S_H = \frac{1}{\delta V} \sum_{k=1}^b q_k S_k, \quad (15)$$

$$n_t = \frac{3}{4\pi R_0^3} \frac{G_M}{\rho}, \quad (16)$$

Бұл жерде S_V , S_H - плазмалық ағыс жылуының жергілікті мәні және плазмалық ағынның бөлшектермен өзара әрекеттесуі есебінен механикалық импульстің жоғалуы, К;

b - берілген уақыт кезіндегі бөлшектер саны, дана;

δV - плазмалық ағыстың көлемі, м³;

n_t - инжектор бүріккішінің диаметріне біртекті бөлінген бөлшектер санының тұтас бөлігі, дана;

G_M – бөлшектің беріс жылдамдығы, м/с.

Плазмалық ағынды жүктеу кезінде бөлшектердің бастапқы жағдайы $S_V = 0$, $S_H = 0$, $G_M = 0$ ретінде анықталады.

Жоғарыда көрсетілген теңдеулер бөлшектің жылдамдығын есептеуге мүмкіндік береді, оның траекториясын, бөліктегі температураның радиалды таралу кинетикасын және булану кезіндегі жаппай шығындар. Барлық осы параметрлер материалдың құрамына, бастапқы температураға және бөлшектердің диаметріне байланысты, олардың берілу жылдамдығы және плазмалық ағысқа бөлшектер енгізу шарттары [96].

Сфералық пішін сатып алу, ұнтақ қасиеттерін береді, аддитивті өндіріс үшін қажетті.

Оларға "тұрақтамауды" жақсарту жатады. Бұл сфероидизация ұнтақтың біртекті сусымалылығын қамтамасыз етеді, бұл өнімнің құрылыс аймағына

оның берілу жылдамдығын дәл бақылауға мүмкіндік береді. Үйінді тығыздығы артады, әрбір жеке бөлшектің ішкі қуыстары мен жарықтары жойылады, бұл олардың жалпы қаттылығын арттырады. Плазмамен өңделген бөлшектердің макроскопиялық беті тегіс болады, соның есебінен олар агломерацияланбайды және газбен тасымалдау кезінде ластанбайды. Ұнтақ тазалығы, сондай-ақ зиянды қоспалардың көпшілігін буландыратын жоғары плазма температурасының арқасында артады [97].

Бөлшектердің сфералық формасының қалыптасу процесіне көптеген факторлар әсер етеді. Нәтижесінде, біз аддитивті технологиялар үшін, кез келген металдардан, берілген қасиеттері бар сфералық ұнтақтарды шығара алатын технологияны аламыз, бұл оған белгілі дәстүрлі сфероидизация технологиялары алдында артықшылық береді [98].

2 Зерттеу объектісі мен әдістері

Аддитивті технологиялар инновациялық әдіс болып табылады күрделі формадағы бұйымдарды дайындау. Әдіс бөлшектердің сфералық формасы бар металл ұнтақ болып табылатын шығыс материалына өте талап етіледі. Сферикалық пішін материалға біркелкі бөртпе береді, ұнтақты құрылым аймағына бақыланатын беру үшін, үйінді тығыздығын арттырады және бір-бірімен бөлшектерді жентектеу бойынша лазердің жұмысын жеңілдетеді [99].

Ұнтақ бөлшектерінің сфералық түрін алудың ең тиімді әдісі плазмалық өңдеу болып табылады. Ол сфералық ұнтақтарды алудың дәстүрлі әдістері алдында бірқатар артықшылықтары бар. Плазмалық сфероидизация оңай балқитын металл ұнтақтарын ғана емес, кез келген қиын балқитын ұнтақтарды өңдеуге мүмкіндік береді. Өңделетін материалды ауыстыру және жабдықты қайта баптау атомдаудың дәстүрлі әдістерінен айырмашылығы, мұндай процесс сегіз сағаттық шектен асуы мүмкін бір жұп сағат ішінде жүргізіледі. Сондай-ақ плазмалық сфероидизация, жоғары температуралардың арқасында, өңдеу кезінде зиянды қоспаларды толығымен буландырады, бұл дәстүрлі әдістерге қол жетімді емес [100].

Осылайша плазмалық өңдеу аддитивті лазерлік технологиялармен дайын бұйымдарды алудың өндірістік тізбегіндегі маңызды буын болып табылады (7-сурет).



7-сурет. Стандартты металл ұнтақтардың плазмалық сфероидизациясын пайдалана отырып, аддитивті технологиялармен күрделі бейінді бұйымдарды алудың технологиялық схемасы

Жалпы түрдегі өңдеу процесі мынадай түрде көрінеді, геометриялық кемшіліктері бар аддитивті өндіріске арналған қондырғыларда пайдалануға арналмаған стандартты металл ұнтақ плазма ағынына орналастырылады, онда балқыта отырып, ұнтақ бөлшектері, беттік керілу күштерінің әсеріне, сфералық пішінге ие болады.

Бірінші кезекте бөлшектер нысаны плазмалық өңдеу процесінің шарттары мен режимдеріне байланысты, өңделетін ұнтақтың физикалық-химиялық қасиеттері де маңызды рөл атқарады. Егер металдың сұйық күйінде үлкен беттік керілуі болса, оның әсерінен бөлшектер сфералық форс алады. Егер металдың төмен беттік керілуі болса, бөлшектер беттік керілу оларға сфералық пішін бергеннен ерте кристалдануы мүмкін, онда ұнтақ бөлшектері дұрыс емес пішін болуы мүмкін [101].

Металл ұнтағының сфероидизациясының таңдалған әдісінің тиімділігін толық тексеру үшін плазмалық сфероидизация жеңіл балқитын, сондай-ақ қиын балқитын металл ұнтақтарын аддитивті технологияларда пайдалану үшін қолайлы емес геометриялық формамен алуға шешім қабылданды (1,2,3-кесте).

1-кесте - Бастапқы металл ұнтағының химиялық құрамы, маркасы
Плазмалық сфероидизацияға арналған ПМС-1

Марка	Химиялық құрамы, %						
	Cu	Fe	As	Pb	Sb	O	N
ПМС-1	86.3	0.018	0.003	0.05	0.005	0.2	12.7

2-кесте. Бастапқы металл ұнтағының химиялық құрамы, маркасы
Плазмалық сфероидизацияға арналған НБП-2

Марка	Химиялық құрамы, %						
	Nb	Ta	Ti	W	O	N	Fe
НБП-2	81.7	0.1	0.001	0.005	0.005	0.2	0.003

3-кесте. Бастапқы металл ұнтағының, жүйенің химиялық құрамы

Плазмалық сфероидизация үшін арналған Ti-Nb

Ұнтақ	Химиялық құрамы, %				
	Ti	Nb	N	Ta	O
Ti-Nb	39.5	36.2	22.1	1.4	-

Эксперимент жүргізу үшін РҒА жо ИТПМ-да әзірленген "ПНК-50" маркалы секциялы электродугалы тұрақты ток плазмотроны қолданылды (21-сурет).

Плазмотронның номиналды қуаты-50 кВт, металл ұнтақтарды өңдеу өнімділігі - 30 кг/сағатқа дейін, керамикалық - 10 кг/сағатқа дейін. Плазмотрон соплының кесіндісіндегі ауа немесе азот плазмасы ағынының орташа массалық температурасы - 7000 К дейін, аргон плазмасы - 11000 К дейін, бұл оңай балқитын емес, сонымен қатар баяу балқитын металдар мен керамиканы өңдеуге мүмкіндік береді.

Плазмотрон газодинамикалық фокуспен ұнтақты сақиналы енгізу түйінімен жинақталған. Сақиналы енгізу торабы термиялық плазма ағынындағы ұнтақты біркелкі, үлестірілген енгізуді қамтамасыз етеді, бұл ұнтақтарды өңдеу өнімділігі мен тиімділігін арттырады.



8-сурет. «ПНК-50» маркалы секциялы электродугалық қосындысы бар тұрақты токтың электродугалық плазмотронының сыртқы түрі

Плазмалық өңдеу нәтижелері бойынша химиялық талдау жүргізу және ұнтақтың гранулометриялық құрамын зерттеу қажет. Бұл мақсаттар үшін QUANTA 200 3D электронды және тоғыстырылған шоғыры бар жүйе қолданылады (9-сурет).



9-сурет. QUANTA 200 3D электронды шоғыры бар Жүйенің сыртқы түрі [103]

QUANTA 200 3D электронды микроскопында электрондардың көзі термоэмиссиялық вольфрамды катод болып табылады. Электрондар шоғырының тогы 0,5 пА-0,5 МККЕ дейінгі диапазонда өзгереді және Keithley 6485 пикоамперметрмен тәуелсіз өлшенуі мүмкін.

Микроскоп екі сатылы сору жүйесі бар. Микроскоптың вакуумдық жүйесі үш режимге ие: жоғары вакуум, төмен вакуум және табиғи орта.

Микроскопта вольфрам мен платина шөгуге арналған металл органикалық инжекторлар, сондай-ақ материалды жедел өңдеуге арналған ХеF2 Инжекторы бар.

QUANTA 200 3D Raith ELPHY Quantum литографиялық жүйесімен жабдықталған. [103].

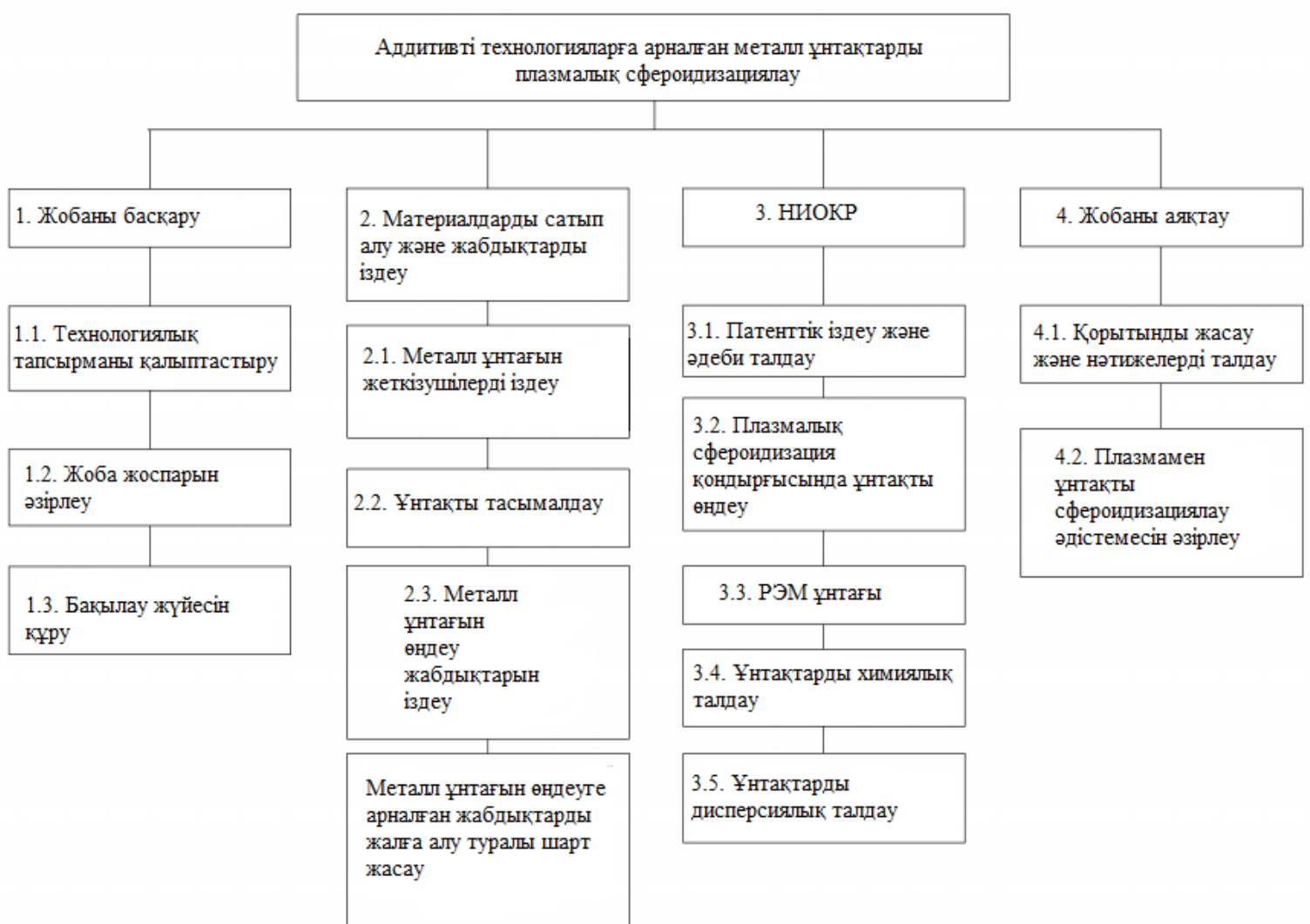
5 Қаржылық менеджмент, ресурс тиімділігі және ресурсты үнемдеу

Жұмыстың иерархиялық құрылымы — (ИСР) - ірілендірілген жұмыс құрылымын нақтылау. АЖЖ құру процесінде құрылымдалады және анықталады барлық жобаның мазмұны.

ИСР маңыздылығы міндет ауқымының өсуімен артады. Бола отырып, бір жоба жетістігінің негізгі факторларынан жұмыстың иерархиялық құрылымы:

1. жобаның міндетін қалай шешетінімізді егжей-тегжейлі түсіну;
2. ресурстарды, құнын, тәуекелдерін, сапасын, кестелерін;
3. қатысушылар арасында жауапкершілікті нақты бөлу өзара іс-қимылды ұйымдастыру;
4. жұмыстардың орындалуын және өзгерістерді бақылауды ұйымдастыру;
5. іс - шараларды және тұтастай алғанда барлық міндетті орындау туралы есеп;
6. жобаның ұйымдық құрылымының жетілуі.

Құрылымның маңызды элементі жұмыс пакеттері болып табылады, орындау процесінде операциялар тізімін білдіретін жоғары тұрған тапсырманың нәтижесіне қол жеткізіледі[115].



46-сурет. Жобаның иерархиялық құрылымы

5.1.2 жобаның бақылау оқиғалары

Осы бөлімнің шеңберінде жобаның негізгі оқиғаларын анықтау, осы күнгі жағдай бойынша алынуы тиіс олардың күндері мен нәтижелерін анықтау. Бұл ақпаратты 22-кестеге енгізу қажет.

22-кесте. Жобаның бақылау оқиғалары.

№ п/п	Бақылау оқиғасы	Мерзімдер	Нәтижесі (растайтын құжат)
1	Жоба жоспарын әзірлеу	07.10.2016	Күнтізбелік жоспар
2	Металл ұнтағын тасымалдау	03.04.2017	Сатып алынған ұнтақтарға шығындар сметасы
3	Плазмалық сфероидизация қондырғысында ұнтақты өңдеу	17.10.2017	Плазмалық сфероидизация бойынша орындалған жұмыстар туралы есеп
4	Өңделген ұнтақтардың РЭМ	10.11.2017	ӨЭМ, өңделген ұнтақтарды химиялық және дисперсиялық талдау нәтижелерінің есебі
	Өңделген ұнтақтарды химиялық талдау	08.12.2017	Ұнтақтарды химиялық талдау нәтижелерінің есебі
	Өңделген ұнтақтарды дисперсиялық талдау	22.12.2017	Нәтижелері және ұнтақтарды дисперсиялық талдау есебі
5	Плазмамен ұнтақты сфероидизациялау әдістемесін әзірлеу	28.04.2018	ҒЗЖ бойынша қорытынды есеп

5.1.3 Жобаның күнтізбелік жоспары

Жоспарлау шеңберінде күнтізбелік жоспар құру қажет- ШЖК сәйкес тақырып бойынша ғылыми жобаның кестесі. Деректер үшін күнтізбелік жоспар-кестені қалыптастыру желілік кестеден алынған, 23-кестеде көрсетілген.

Кесте кезең ішінде айларға бөлінген кесте түрінде құрылады ғылыми жобаны орындау уақыты. Бұл ретте кестедегі жұмыс орындаушыларға байланысты әр түрлі штриховкамен белгілеу, қандай да бір жұмысқа жауапты адамдар [115].

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл жұмысты орындау барысында металл ұнтақтары, ПМС-1, Н6П-2 және жүйенің ұнтақтары сфероидизация бойынша эксперименттер жүргізілді. Тұрақты ток электродугалы плазмотронында плазма ағынымен, "ПНК-50" тұрақты ток электродугалы плазмотронында талдау жүргізілді; бастапқы металл ұнтақтар мен ұнтақтардың формасына плазмамен өңдеуден кейін quanta 200 3D растрлық электронды микроскоптың көмегімен талдау жүргізілді; зерттелетін ұнтақтарға дисперсиялық талдау жүргізілді; бастапқы металл ұнтақтар мен сфероидизацияланған плазмамен ұнтақтарға химиялық талдау жүргізілді

Зерттеу нәтижесінде бөлшектердің сфералық формасы бар металл ұнтақтар алынды; ұнтақтың дисперсиялық құрамының графиктері салынды; зерттелетін ұнтақтардың химиялық талдауы бойынша нәтижелері бар кестелер жасалды; аддитивті технологиялар үшін стандартты металл ұнтақтардың сфероидизациясының балама әдістемесі ұсынылды.

Қолдану саласы: металл ұнтақтарды сфероидтандырудың ұсынылған әдісі аддитивті технологиялар үшін Шығыс шикізаты өндірісінде қолданылуы мүмкін.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. ГОСТ 12.1.003-83 Шу.
2. ГОСТИСО 10816-1-97. Діріл.
3. СанПиН 2.2.4.548-96 өндірістік үй-жайлардың микроклиматына қойылатын гигиеналық талаптар.
4. ГОСТ 12.1.005-88 жұмыс аймағының ауасына қойылатын жалпы санитарлық-гигиеналық талаптар.
5. ГОСТ 12.4.123-83 ССБТ. Инфрақызыл сәулеленуден ұжымдық қорғау құралдары.
6. МЕМСТ Р 51070-97 электр және магнит өрістерінің кернеулігін өлшеуіштер.
7. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электр қауіпсіздігі.
8. ГОСТ 17.2.3.02-78 Атмосфера.
9. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ, өрт қауіпсіздігі.
10. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Жарылыс қауіпсіздігі.
11. ГОСТ. 12.3.039-85 металдарды плазмалық өңдеу.
12. ПОТ РО 14000-001-98 машина жасау кәсіпорындары мен ұйымдарында еңбекті қорғау ережелері.