

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау
институты

Өнеркәсіптік инженерия кафедрасы

Құмарбек Н.Е.

3D баспаның технологиялық процесі үшін металл ұнтақтарын алу әдістерін
зерттеу

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071200 – «Машина жасау» мамандығы

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау
институты

Өнеркәсіптік инженерия кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Өнеркәсіптік инженерия
кафедра меңгерушісі

PhD д-ф, ассоц. проф.

_____Арымбеков Б.С.

«__» _____ 2020ж

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «3D баспаның технологиялық процесі үшін металл ұнтақтарын
алу әдістерін зерттеу»

5B071200 – «Машина жасау» мамандығы

Орындаған

Құмарбек Н.Е.

Ғылыми жетекші

Ассоц. проф.

_____Исаметова М.Е.

«__» _____ 2020ж.

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау
институты

Өнеркәсіптік инженерия кафедрасы

БЕКІТЕМІН

Өнеркәсіптік инженерия
кафедра меңгерушісі

PhD д-ф, ассоц. проф.

_____Арымбеков Б.С.

«__» _____ 2020ж.

Дипломдық жұмысты даярлауға

ТАПСЫРМА

Білім алушы: *Құмарбек Нұрғали Ерболұлы*

Тақырыбы: *3D баспаның технологиялық процесі үшін металл ұнтақтарын
алу әдістерін зерттеу*

Университет Ректорының 2018 жылғы «06» қараша №1252-б бұйрығымен
бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі 2020 жылғы «18» мамыр

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері: *3D баспа технологиялар үшін
металл ұнтақтарын алу әдістерін талдау*

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі

- a) Кіріспе
- b) Негізгі бөлім
- c) Зерттеу бөлігі
- d) Жұмыстың қортындысы

Ұсынылатын негізгі әдебиет 7 атаудан тұрады

Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге, кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Кіріспе		
Негізгі бөлім		
Зерттеу бөлімі		
Жұмыстың қорытындысы		

Дипломдық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жобаға қойған қолтаңбалары

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

Ғылыми жетекші

_____Исаметова М.Е.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы

_____Құмарбек Н.Е.

Күні

«__»_____2020ж.

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ.....	9
1. Аддитивті машинларға арналған металл ұнтақтардың материалы және оларға қойылатын талаптар	11
2. 3D баспа технологиялар үшін металл ұнтақтарын алу әдістерін талдау..	15
2.1. Газ атомизация.....	15
2.2 Плазмамен алу технологиясы.....	16
2.3 Су атомизация.....	19
3. Бөлшектерді аддитивті технологиялар әдісімен дайындау тәсілдері.....	22
4. Балқыманы тозаңдату арқылы ұнтақтарды алудың технологиялық режимдерін есептеу.....	25
ҚОРЫТЫНДЫ.....	29
ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР.....	30
Приложения А.....	31

АҢДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста 3D баспаның технологиялық процесі үшін металл ұнтақтарын алу әдістері туралы сипаттама берілген. Мұнда газ, центрден тепкіш және вакуумды атомизация әдістері арқылы металл ұнатқтарын алуға болады, бұл кез келген ұнтақтардан сфералық формалы ұнтақты алуға мүмкіндік береді. Аддитивті технология арқылы металл ұнтақтары арқылы үш өлшемді материалдарды жасауға және соның арқасында көптеген жерде қолайлы болып келеді. Қазіргі кездегі өндіріс бойынша қарасақ, аддитивті технология көптеген салаларда үлкен сұранысқа ие. Ол талап етілетін бұйымдар мен бөлшектерді өзінің өлшемімен жасауға мүмкіндік береді.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе дается описание методов получения металлических порошков для технологического процесса 3D печати. Здесь можно получить металлические порошки методом газовой, центробежной и вакуумной атомизации, что позволяет получать порошки сферической формы из любых порошков. Благодаря аддитивной технологии можно создавать трехмерные материалы с помощью металлических порошков и, благодаря этому, идеально подходят во многих местах. В настоящее время по производству аддитивные технологии пользуются большим спросом во многих отраслях. Он позволяет сделать требуемые изделия и детали своими размерами.

ANNOTATION

This thesis describes methods for obtaining metal powders for the 3D printing process. Here you can get metal flour metals by gas, centrifugal and vacuum atomization, which allows you to get spherical powders from any powders. Thanks to additive technology, it is possible to create three-dimensional materials using metal powders and, thanks to this, they are ideal in many places. Currently, additive technologies are in high demand in many industries. It allows you to make the required products and parts their own sizes.

КІРІСПЕ

Заманауи өндіріс жаңа материалдарды, ақпараттық технологиялар мен технологиялық процестерді автоматтандыруға негізделген алдыңғы қатарлы технологияларға кеңірек сүйенеді. Бұл салаларға, ең алдымен, әуе және кеме жасау, қозғалтқыштар мен аэроғарыш өнеркәсібі, медициналық, электронды және әскери бұйымдар өндірісі жатады. Осындай өндірістерге арналған бұйымдар мен бөлшектерді өндіруде қазіргі кезде әлемдік өнеркәсіптік нарықта кеңінен қолданылатын аддитивті технологияларуікен сұранысқа ие. Бұл қабатты басып шығарумен үш өлшемді компьютерлік модельді қолдана отырып күрделі бұйымдар жасауға мүмкіндік береді және оған дайын өнімге қажетті материалдың нақты мөлшерін жұмсайды.

Аддитивті технологиялардың артықшылығына өндіру жылдамдығы, күрделі геометрия және осы бұйымдардың еркін дизайны, сонымен қатар үш өлшемді үлгіні әлемнің кез келген нүктесіне тез ауыстыру және қажетті бөлшектерді тез шығару мүмкіндігі, мысалы, күрделі нысанды «дала» жағдайда жөндеу кезінде. Нарықты талдау көрсеткендей, 2015 жылдың қорытындысы бойынша аддитивті технологияларды дамыту көшбасшылығы АҚШ, Жапония, Германия, Қытай болып табылады, ал РФ үлесі ерең 1-ден асып түсті

Аддитивті технологиялар үшін металл ұнтақтарын өндірудің жалпы қабылданған әдістері - атомизаторларда газды тозаңдыру, центрден тепкіш атомизация және вакуумды атомизация.

Атомизаторлар - бұл үлкен көлемді жабдықтар, сондықтан оларды қолдану ірі кәсіпорындар үшін жүздеген және мыңдаған килограмдық ұнтақтарды өндіруде тиімді болып табылады. Шағын кәсіпорындар үшін бұл жабдық қымбаттығына, жұмысының күрделілігіне, материалдың бір маркасынан екіншісіне ауысу кезіндегі түзетудегі қиындықтарға байланысты аз қолданылады.

Центрден тепкіш немесе вакуумды атомизация қондырғылары үлкен энергияны қажет етеді және оларды пайдалану қиын. Оларды қолдану ыстыққа төзімді ұнтақтарды өндіруде үнемді болады.

2012 жылы АҚШ Янгстоунда (Youngstown, Ohio) nationaladditivemanufacturinginnovationinstitute (NAMII) ашылды – машиналық парк түрлі аддитивті агрегаттарды, соның ішінде металдан жасалған бөлшектерді синтездей алатын технологиялық бағыттағы 15 институттардың бірі. Саланың әлемдік көшбасшысы-американдық 3D-Systems компаниясы тіпті материалдармен және аддитивті технологиялармен жұмыс істеу үшін кадрларды даярлау бойынша өз университетіне ие.

Америкалық Boeing компаниясы жыл сайын аддитивті білім негізінде он әскери және коммерциялық ұшақтар үшін жүздеген атаулардың 20 мыңнан астам бөлшектерін жасап шығарады.



Сурет - 1. Аддитивті технологиялардың әлемдік нарығын талдау, 2015 жыл.

Аддитивті өндіріс зерттеу жобалары мен өнеркәсіптік қолдану үшін жоғары пайдаланылатын жүйе болғандықтан, машиналардың мүмкіндіктері мен өнімділігін оңтайландыру үшін әзірлемелер жасалатын болады. Зерттеменің негізгі тақырыптарының бірі жүйеде қолданылатын ұнтақ материалының сапасы мен сипаттамаларына негізделген. АМ жүйесі бүгінгі күні Бастапқы материал ұнтақтың, морфология мен химияның мөлшері бойынша өте қатаң талаптарға сәйкес болуын талап етеді. Бұл АМ үшін қолайлы ұнтақтың құны ТЧ өнеркәсібі үшін стандартты ұнтақтың бағасынан әлдеқайда жоғары. АМ үшін ұнтақтың жоғары құны коммерцияландыруға кедергі келтіреді және медициналық және аэроғарыштық салалар сияқты жоғары құны бар нарықтарда өнеркәсіптік әзірлемелерді шектейді. Аддитивті өндіріс көмегімен жасалған бөлшектердің тұтастығына сенімділік жүйе өндірушілердің өздері анықтайтын ұнтақ сипаттамаларына негізделген. Бұл сипаттамалар өндірушілер арасында сәл ерекшеленеді; алайда жоғары тығыздықты бөлшектерді жасауды талап ететін екі ең маңызды бөлігі бар, олар бөлшектердің сапасы мен сфералық мөлшері.

Жұмыс мақсаты: 3D баспаның технологиялық процесі үшін металл ұнтақтарын алу әдістерін зерттеу.

1. Аддитивті машинларға арналған металл ұнтақтардың материалы және қойылатын талаптар

Ұнтақтар-бөлшектерге тән мөлшері бар сусымалы материалдар 1,0 мм-ге дейін-шартты түрде бөлшектер мөлшері бойынша жіктеледі (d шартты диаметрі бойынша), оларды $d < 0,001$ мкм нанодисперсті, ультрадисперсті $d = 0,01-0,1$ мкм, жоғары дисперсті $d = 0,1-10$ мкм, ұсақ $d = 10-40$ мкм, орташа $d = 40-250$ мкм және ірі – $d = 250-1000$ мкм деп бөледі.

Қазіргі уақытта АМ-технологияларда қолданылатын металл ұнтақты композицияларға қойылатын жалпы талаптар жоқ. Әртүрлі машиналарда әртүрлі фракциялы ұнтақтар қолданылады. Ұнтақты сипаттайтын параметрлердің бірі, бөлшектердің орташа диаметрі d_{50} . Мысалы, $d_{50} = 40$ мкм, ұнтақ бөлшектерінің 50% 40 мкм аз немесе тең бөлшектер өлшемі бар екендігін көрсетеді. Мысалы, Phenix Systems машиналарында $d_{50} = 10$ мкм ұнтақ, ал Conzept Laser машиналары үшін ұнтақ дисперсиясы $d_{50} = 26,9$ мкм ұнтақ бар екендігін көрсетеді.

Ұнтақтарды өндірудегі елеулі кемшілік АМ-технологияларға арналған материалдарға стандарттар жоқ және дәстүрлі технологиялармен алынған материалдардың қасиеттерін бағалау әдістері бұйымды жасаудың қабаттас принципі кезінде сөзсіз анизотропияның болуына байланысты аддитивті технологияларға қолданылмайды.

АМ машиналары үшін ұнтақтарға жалпы талап-бөлшектердің сфералық нысаны. Сфералық пішін бөлшектердің белгілі бір көлемге жинақы қалауын, сондай-ақ материалды беру жүйелерінде ең аз қарсылығы бар ұнтақты композицияның "ағымдылығын" қамтамасыз етеді.

Алюминий және титан сияқты пироморфты материалдармен жұмыс істейтін машиналар өртке қарсы жүйемен және жану туралы ескерту жүйесімен жабдықталуы тиіс. Ұсақ дисперсті ұнтақтармен жұмыс істеу кезінде (әсіресе $d_{50} < 10$ кезінде) қауіпсіздік техникасы ережелерін сақтау қажет. Бұл d_{50} шамасы аз болған сайын, соғұрлым құру қадамы аз болуы мүмкін, бөлшектің ұсақ элементтері анағұрлым рельефті пысықталуы мүмкін және тегіс бетті салынған бөлшектен алуға болады. Энергияның көп берілуіне байланысты балку процесі өте қарқынды болады және балқыманың шашырауы орын алудың әсерінен металдың (құрылыс материалының) бөлігі құрылыс аймағынан ұшып шығады. Егер ұнтақ бөлшектерінің тым аз мөлшері болса, онда құрастыру барысында жеңіл бөлшектер балқыманың аймағынан ұшады, бұл бөлшектердің жоғары кедір-бұдырлығына және микроқыздырлығына әкеледі. Жұмыс камерасының ішінде балқымадан ұшып шығатын бөлшектердің салынып жатқан қабаттың бетінің балқытылған

учаскелеріне түсуінің алдын алу үшін, ұшып шығатын бөлшектерді бағытталған желмен сыртқа шығарады.

Ұнтақты материалдарды алу мәселесі АҒ-технологияларды дамыту үшін ғана емес, сонымен қатар ұнтақты металлургияның мақсаттары үшін де өзекті. Металл ұнтақты әуе құрылысы, энергетика, әскери және ғарыштық техника, кеме жасау, аспап жасау сияқты жоғары технологиялық салаларда қолданылады. Соңғы жылдары көлемді наноматериалдарға айтарлықтай қызығушылық байқалып отыр, бұл олардың құрылымдық және функционалдық қасиеттері ірі түйіршікті аналогтардың қасиеттерінен айтарлықтай айырмашылығы бар, осыған байланысты наноұнтақты материалдар аддитивті технологиялардың мақсаттары үшін тиімді пайдаланылуы мүмкін.

Қазіргі заманғы аддитивті технологиялар жиырма сыналған және пайдалануға дайын материалдарды, оның ішінде – аспаптық, тот баспайтын, ыстыққа төзімді қорытпаларды, алюминий және титан қорытпаларын, медициналық кобальт-хром және титанды пайдалануды көздейді.

Металдар өте көп болғандықтан және олардың әрқайсысы белгілі бір қасиеттерге ие болғандықтан, бір металды технологиялық есептерге сүйене отырып ауыстыруға болады. Мысалы, егер технологиялық тізбекте титан қорытпасын іске қосу қажет болса, онда технолог нақты өнімді өндіру үшін қажетті қасиеттеріне қарап титан қорытпаларының біреуін таңдай алады.

Тот баспайтын қорытпалар: 17-4PH, AISI 410, AISI 304L, AISI 316L, AISI 904L

Бұл санатқа құрамында хром бар (кемінде 12%) күрделі легіріленген болат кіреді. Хром оксиді металл бетінде коррозияға төзімді пленка түзеді, ол механикалық зақымдардың немесе химиялық ортаның әсерінен бұзылуы мүмкін, бірақ оттегімен реакцияның нәтижесінде қалпына келтіріледі. Тот баспайтын қорытпалар гидравликалық престердің клапандарын, крекинг-қондырғылардың арматурасын, серіппелерді, агрессивті ортада жұмыс істейтін дәнекерлеу аппаратурасын және жоғары температурада (+550...800°C) пайдаланылатын бұйымдарды өндіру кезінде қолданылады.

Аспаптық қорытпалар: 1.2343, 1.2367, 1.2709

Құрал-саймандық қорытпалардың негізгі мақсаты-түрлі құрал-саймандарды (кесетін, өлшейтін, штамптық және т.б.), ірі сериялы өндірісте конструкциялық болат пен түсті қорытпаларды ыстықтай деформациялауда пресс-қалыптарға қойындыларды жасау. Бұл қорытпалар кем дегенде 0,7% көміртекті құрайды және жоғары қаттылыққа, тозуға төзімділікке, тұтқырлыққа, жылу өткізгіштікке және қыздырғыштыққа ие.

Никельді қорытпалар: Inconel 625, Inconel 718

Никель басқа да көптеген металдарды еріту қабілетіне ие және пластикалықты сақтайды. Мысалы, хроммен басқа қорытпалар қосылғанда олар авиациялық қозғалтқыштарда кеңінен қолданылады, олардың ішінен жұмыс және шүмекті қалақтар, турбиналар роторының дискілері, жану камерасының бөлшектері және т. б. дайындайды.

Титан қорытпалары: Ti6Al4V, Ti6Al7Nb

Ti6Al4V-жоғары механикалық қасиеттері бар титан қорытпасы. Ең берік және қатты титан қорытпасы болып саналады, өңдеу өте жоғары күрделілігімен ерекшеленеді. Тығыздығы 4500 кг / м³ және 900 МПа астам үзілуге беріктігі бар. Ti6Al4V қорытпасы аэроғарыштық өнеркәсіп, автомобиль жасау және кеме жасау сияқты салаларда бұйымдардың салмағын азайту тұрғысынан артықшылықтарды ұсынады. Бұл металдар, атап айтқанда, пресс-қалыптарға қойындыларды, турбиналық қалақтарды, жану камераларын, сондай-ақ жоғары температураларда (+1100°С дейін) жұмыс істеуге арналған бұйымдарды дайындау кезінде қолданылады.

Аддитивті технология үшін металл ұнтақтарының ерекшеліктері

Металдармен 3D-басып шығару технологиясының маңызды артықшылықтарының бірі-кез келген қорытпадан бұйым жасау мүмкіндігі.

3D баспасының негізгі артықшылықтары:

- құюға қарағанда 1,5 есе тығыздықтың жоғары көрсетуі;
- геометриялық күрделі объектілерді және басқа қайталанбас формаларды жасау мүмкіндігі;
- стандартты және арнайы металл қорытпалардың кең таңдауы;

Аддитивті қондырғыларға арналған Металл астық мөлшері 4-тен 80 микронға дейінгі ұсақ дисперсті сфералық түйіршіктер түрінде шығарылады. Бұл көрсеткіш аддитивті қондырғыда өсірілетін объектінің қалыңдығын анықтайды. Ұнтақты жасау кезінде астықтың мөлшері мен құрамы беріледі, өйткені ірі және ұсақ дәндердің белгілі бір пайыздық арақатынасын сақтау қажет. Осылайша, Холл аспабының (калибрленген тесігі бар шұңқыр) көмегімен тексерілетін металдың ағымдылығы анықталады. Егер дәннің тым ұсақ фракциясы болса, металл құйғыш арқылы ағып кетпейді және тиісінше, құрылыс үстеліне нашар беріледі, ал бұл алынған қабаттардың біркелкілігіне және өсірілетін өнімнің сапасына тікелей әсер етеді.

Әртүрлі металдарға әртүрлі термоөңдеу қажет, кейде ол үшін арнайы жылытылатын платформалар қолданылады. Құрылыс процесінде, металды балқытуда, үлкен мөлшерде жылу өндіріледі, оны азайту керек.

Металдың ішкі құрылымы – ұсақ түйіршікті. Егер алдағы уақытта біз бөлшекті нығыздайтын болсақ, яғни оған физикалық әсер ететін болсақ, ұсақ түйіршікті қысу үлкен түйіршіктерге қарағанда қиынырақ екенін білеміз. 3D-принтерде басылған бұйымдардың тығыздығы прокатқа қарағанда 10-15% - ға төмен, бірақ құю металдарына қарағанда шамамен 50% - ға жоғары болады.

2. 3D баспа технологиялар үшін металл ұнтақтарын өндірудің қазіргі заманғы әдістерін талдау

Ұнтақтарды алудың өнеркәсіпте Физика-химиялық және физика-механикалық болып 2-ге бөлінеді. Айтылған жолмен алынған ұнтақтар бір-бірінен фазалық құраммен, формасымен, микроқұрылымымен, физика-химиялық қасиеттерімен ерекшеленеді.

Физика - механикалық әдіс материалды кесумен, балға және басқа да диірмендерде ұсақтағыштарда қолдана отырып түйіршіктеу болып табылады. Бұл әдіспен үлкен материалдарды ұсақтауға көбіне қолданады, бірақ ұсақталған ұнтақтардың формасы дұрыс болмайды және оны қолдану мүмкіндігі аддитивті технологиясында үлкен қиындықтар туғызады.

Физикалық-химиялық әдісі тотығу арқылы және газдармен қалпына келтіру, балқыған немесе судың электролизі, булану және конденсация әдісі жатады.

Физикалық-химиялық әдісінің артықшылығы-жоғары таза ұнтақтарды алу мүмкіндігі ал кемшілігі-процестің төмен өнімділігіне және электр энергиясының үлкен шығынына байланысты ұнтақтардың бағасы жоғары болуы.

Талап етілетін сипаттамалары мен сапасы бар металл ұнтақтарды алу үшін және ұнтақтан дайындалатын металл компоненттердің талап етілетін қасиеттеріне байланысты ұнтақ өндіру әдісін таңдау өзгеше болуы мүмкін.

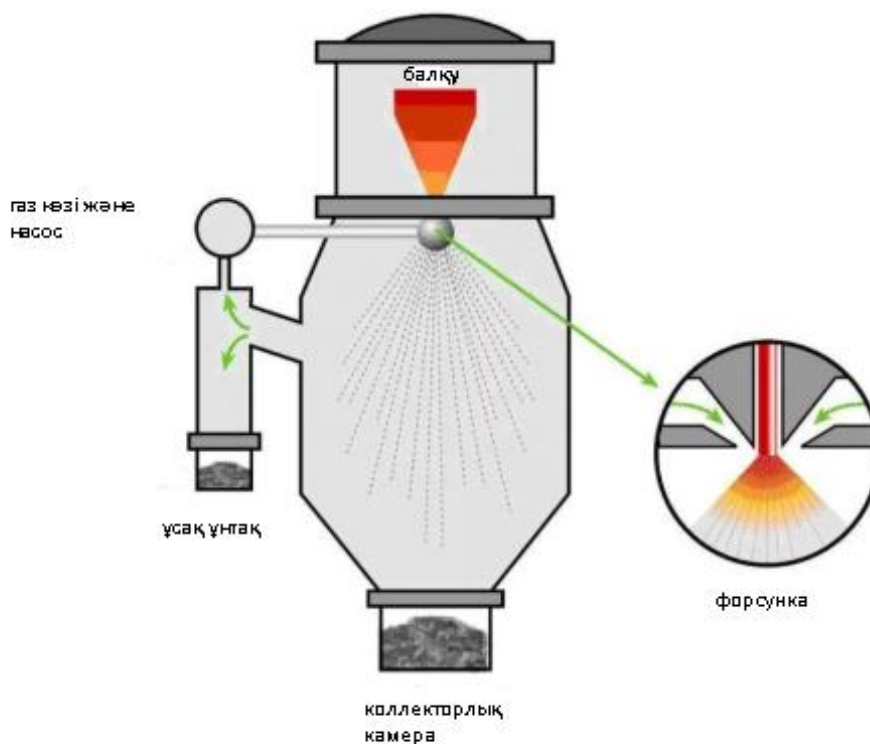
Металл ұнтақтары бірнеше жолмен алынуы мүмкін, олардың кейбіреулері қатты қалпына келтіру, ұсақтау, электролиз, химиялық процестер мен тозаңдану. Дегенмен, ол 3D-басып шығару қолайлы геометриялық ұнтақтарды өндіреді, практикалық түрде шашырату АМ үшін металл ұнтақтарын алудың ең жақсы әдісі болып саналды.

Атомизация үш түрлі әдістің көмегімен және онымен шектелмей, жүзеге асырылуы мүмкін: судың тозаңдануы, газдың тозаңдануы және плазманың тозаңдануы.

2.1 Газ атомизациясы

Металл ұнтағын алудың ең көп таралған жолы. Қарапайым шикізат ауа немесе инертті газ қабатының астында немесе вакуум астында балқиды. Содан кейін камера жоғары жылдамдықты ауа, N, He немесе Ar-газ ағатын балқытпа тура бағытталып соққы жасайды және оны бұзады. Ұнтақ негізінен сфералық, кейбір асимметриялық бөлшектермен және спутниктермен формаланған. Жылу мөлшері 5 кг-нан 3000 кг-ға дейін өзгереді және 20-150

мкм шегінде шығу жалпы көлемнің 10-нан 50% - ға дейін ауытқиды. Негізінен Ni, Co және Fe қорытпалары үшін, сондай-ақ Ti және Al қорытпалары үшін қолданылады.



Сурет-2. Газ атомизациясының жұмыс істеу принципі.

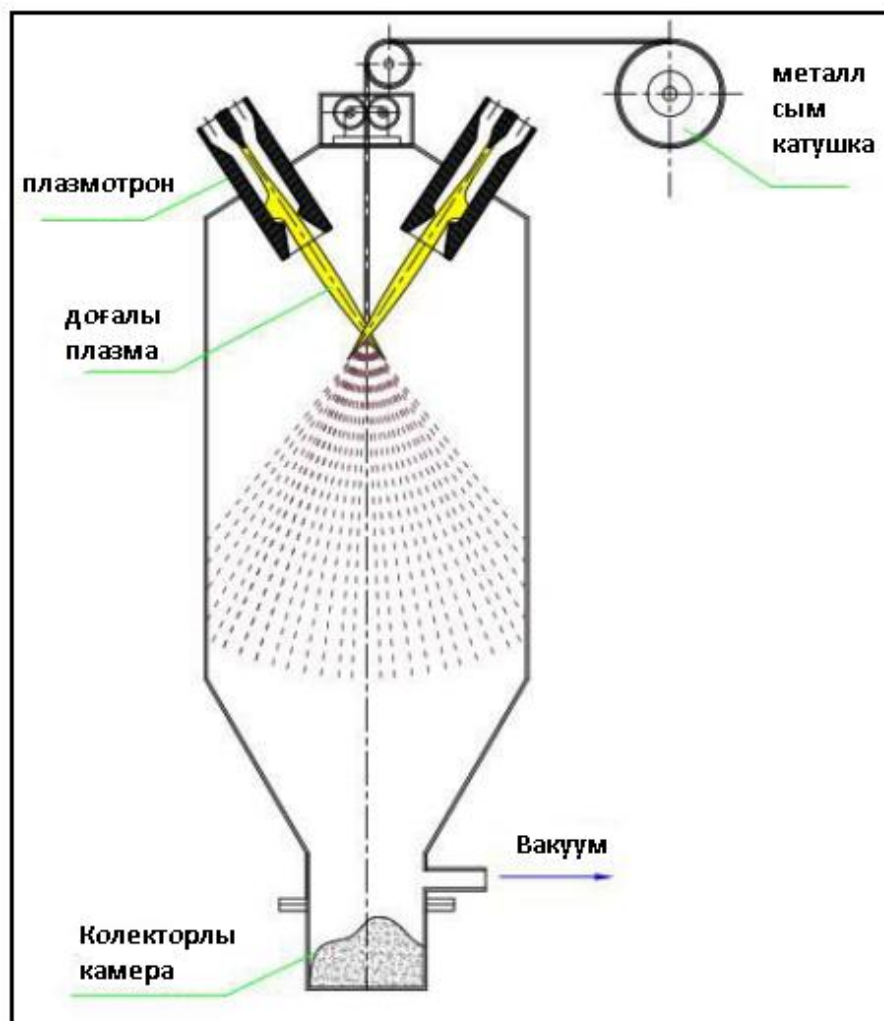
2.2 Плазмамен алу технологиясы

Плазмалық технология металл ұнтақтарын алу процесінде ішінара қолданылады. Плазмалық технология арқылы металл ұнтақтарын дайындау плазмалық тозаңдату ретінде белгілі. Плазмалық бүрку кеңінен әзірленген, нәтижесінде ұнтақты дәндердің әр түрлі өлшемдерінде жоғары титан ұнтағы пайда болды. Титан ұнтағының әртүрлі мөлшерін өте жұқа (-25 мкм) бастап өрескел (+125 мкм) дейін өндіруге қабілетті плазманың тозаңдауы болып табылады.

Дөңгелек металл ұнтақтары жақсы ағымдылық қасиеттеріне ие және жоғары тығыздықты өндіруге қабілетті. Ұнтақтар жақсы ағымдылық жағдайында ұнтақтарды өндіру процестері төмен шығынмен ұнтақтарға қарағанда аз мөлшерде қоспалардың қажеттілігін білдіреді. Жоғары тығыздық жағдайында бұл ұнтақ, егер ол тығыздау сатысында ыстық

изостатикалық қысым (HIPing) сияқты пісіру процесінде пайдаланылса, ең аз болады

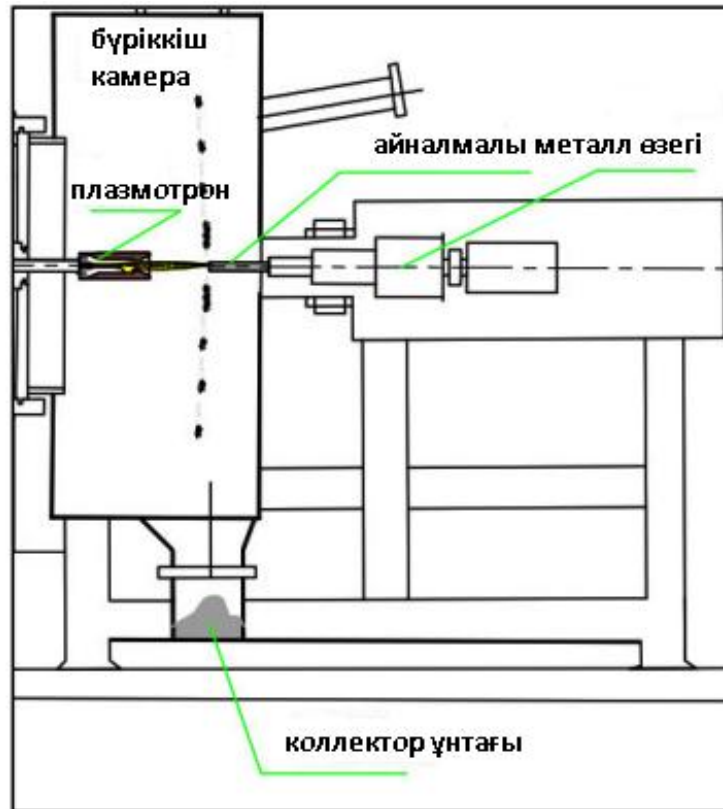
Сур. 4 материалды беру ретінде титан сымымен үш плазмалық доғаны пайдалана отырып плазмалық тозаңдату процесінің схемасы көрсетілген. Плазмалық доға балқытылған титанды сымды ерітетін және тарататын жоғары молекулалық жылу көзі ретінде қолданылады, нәтижесінде дөңгелек пішінді өте жоғары тазалығы бар титан ұнтағы пайда болады



Сурет-3. Плазманың тозаңдану процесін схемалық ұсыну. Ті ұнтағын алу әдісі.

Плазмалық айналмалы электродты атомизация

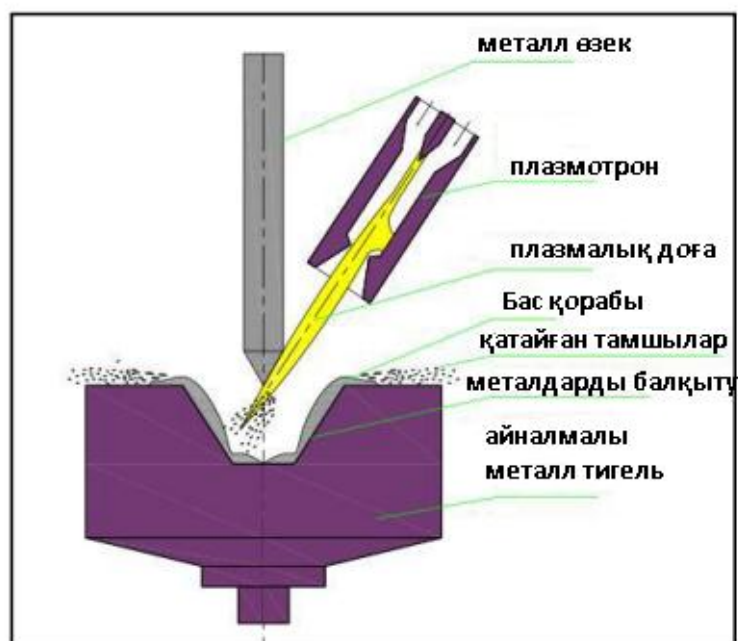
Металл тозаңдаудың басқа да қолдануларына арналған плазмалық технология-плазманың айналмалы электродының тозаңдану процесі. Мұнда өзекті қоректік материал айналуының жоғары жылдамдығымен айналатын, аргонды немесе азотты плазмалық доға өзектің ұшын балқыта отырып, балқытылған металл өзектің жоғары ортадан тепкіш күші салдарынан металл дәніне лақтырылады.



Сурет-4. Плазмалық айналу атомизацияның схемалық қондырғысы

Плазмалық орталықтан тепкіш атомизациясы

Металл ұнтақтарды басқа да қолдануға арналған плазмалық технология-суретте көрсетілген плазмалық ортадан тепкіш тозаңдату. Центрден тепкіш тозаңдату плазмасын қолдану бастапқы материалды еріту процесі ғана емес, сонымен қатар кристалдау сатысында ұнтақтың дөңгелек нысанын жақсартатын ортадан тепкіш күш жасау үшін айналымын контейнерді пайдаланады



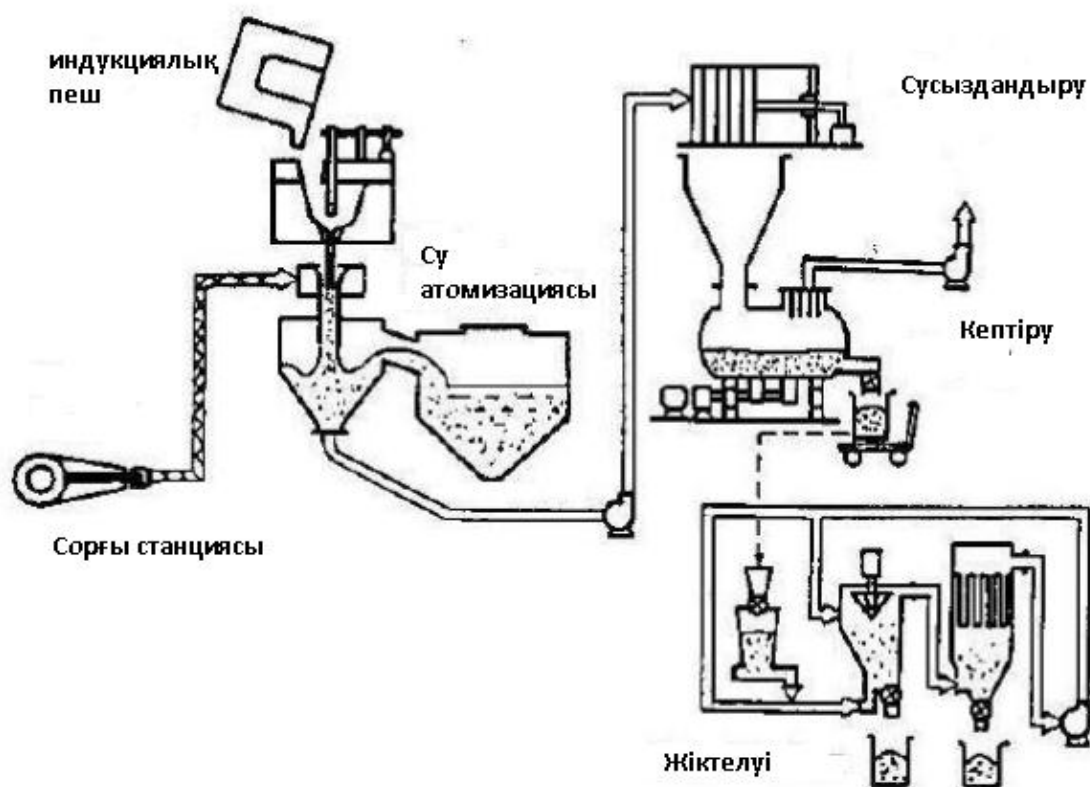
Сурет-5. Плазманың ортадан тепкіш тозаңдану схемасы

2.3 Су атомизациясы

Жоғары қысымдағы суды бүрку темір ұнтақтары, тот баспайтын болат және аз қоспаланған металдар үшін бөлшектердің мөлшерлері бойынша жұқа таралуына қол жеткізу үшін өміршең және қымбат емес процесс болып шықты. Экономикалық артықшылықтар мен алдын ала заңдастыру мүмкіндігі бәсекелес технологиялармен салыстырғанда қалаулы артықшылықтарды қамтамасыз етеді. Ұнтақтың сипаттамаларымен, яғни бөлшектердің дұрыс емес формасымен, төмен бұрылу тығыздығымен, тотыққан беттермен байланысты алдыңғы кемшіліктер шашыраған газ ұнтағының қасиеттерін дәл ойнату үшін нақтыланды. Даму бойынша ішкі күш-жігер қорытпалардың күрделі композицияларына, балқытудың жетілдірілген әдістеріне және суды тозаңдату әдістерін одан әрі дамытуға бағытталды. Бұл жұмыста бөлшектердің қажетті сипаттамаларына қол жеткізуге көмектесетін технологиялық процесті басқарудың пайдалы басшылық принциптері анықталды. Өзара байланысты айнымалыларды түсіну біздің табысты күш-жігеріміздің кілті болды.

Сумен тозаңданған ұнтақтың өндірістік жолын талдау кезінде шикізаттан бастау өте маңызды. Біріншіден, суды бүрку үшін арналған тот баспайтын болат балқыту рәсімі, тот баспайтын болат құю және соғу процестерінен қатты ерекшеленеді. Шикізат индукциялық пеште ерігенше, аз ғана тазарту болуы мүмкін және кейбір элементтер жойылуы кетуі мүмкін.

Бұл бастапқы шикізат көміртегі, төменгі көміртекті шикізат қажеттілігін жеңілдететін соңғы өнімде қалады дегенді білдіреді. Дәл сол сияқты өндіріс процесінде марганец жойылмайды, бұл шикізатқа қолайлы мазмұнға қойылатын ең жоғары талаптарға сәйкес болуы тиіс. Шикізаттағы марганец мөлшерін бақылау судың ыдырауы процесінде пайда болатын тотығу әсерлерін азайту үшін маңызды. Бұл екі шектеуші фактор судың шашыраған ұнтағын алу үшін, шикізаттың қандай түрі мен көлемін пайдалануға рұқсат етілетініне әсер етеді.



Сурет-6. Су атомизация процесінің сызбасы.

Судың шашырауын газдың тозаңдануынан ажырататын екінші фактор- бұл бөлшектердің нәтиже беретін түрі. Сумен шашыраған ұнтақ газ шашыраған ұнтақтармен салыстырғанда өте тұрақсыз. Бұл негізінен салқындату мен сфероидизацияның салыстырмалы жылдамдығымен байланысты. Сумен шашыраған ұнтақтар жиі емес, себебі салқындату жылдамдығы газ шашыраған ұнтақтан 10-100 есе көп. Судың тозаңдануынан өнімнің нысаны форсункалардағы су ағысының қысымына және балқытуға ағыстың көлбеу бұрышына байланысты өзгеруі мүмкін. Бұл параметрлердің өзгеруі бүрку процесінің шығуына және ұнтақтың жалпы түріне айтарлықтай әсер етуі мүмкін.

Өндіріс процесі	Материал	Бөлшектер ауқымы	Артықшылықтары	Кемшіліктері
Су атомизациясы	AISI316L	44-106µm	Жоғары өндірістік көрсеткіштер, бөлшектер көлемінің үлкен ауқымы, құйма түріндегі ингредиенттер	Суды жоюдың қосымша процесі, бөлшектердің дұрыс емес нысаны, бөлшектердің мөлшері бойынша кең таралуы бар
Газ атомизациясы	Ti балқымасы	0 -250µm	Құймалардағы реакциялық қасиеттерге ие, бөлшектердің үлкен ауқымына, сферикалық бөлшектерге ие қоспаланған металдардың әр түрлі типтері үшін қолданылуы мүмкін	Бөлшектердің көлемі бойынша кең таралуы
Плазма атомизациясы	Ti балқымасы	25-125 µm	Көп сфералық бөлшектер	Бастапқы шикізат сым немесе ұнтақ түрінде болуы тиіс.
Плазмалық айналмалы электродты атомизация	Вольфрам	160-500µm	Жоғары тазалық, сфералық бөлшектер	Төмен өнімділік, жоғары құны
Плазмалық орталықтан тепкіш атомизациясы	Ст.45 HSS Ti балқымасы	0-385µm	Жеңіл алынатын сфералық бөлшектер	Бөлшектердің мөлшері бойынша бөлінуі бойынша фракциялық құрамы өте кең
Ортадан тепкіш атомизация	Магний қорытпасы	50-800µm	Бөлшектердің үлкен ауқымы, бөлшектер мөлшерін бөлу тар	Жақсы сапалы ұнтақ жасау қиын.

1-кесте. Ұнтақтарды жасау процесінің артықшылықтары мен кемшіліктері

3. Бөлшектерді аддитивті технологиялар әдісімен дайындау тәсілдері

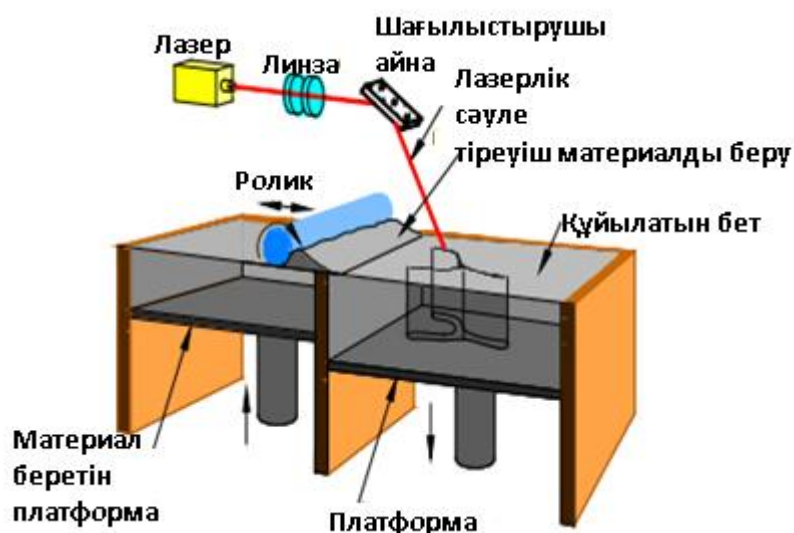
Қазіргі кезде әлемде аддитивті технологиялар үлкен сұранысқа ие бола бастады, себебі осы технология арқасында көптеген қиын бұйымдарды 3D модельде жасау оңайға түседі. Осы технологияны қолдану бұйым жасауды арзандатады, оның қасиеттерін арттырып және жасау жылдамдығын арттырады.

Осыған орай қазіргі таңда металл бұйымдарды жасаудың 4 түрі қалыптасқан. Олар:

- Селективті лазерлік балқыту
- Электронды сәулелі балқыту
- 3D – баспа
- Тікелей лазерлік балқыту

Селективті лазерлік балқыту

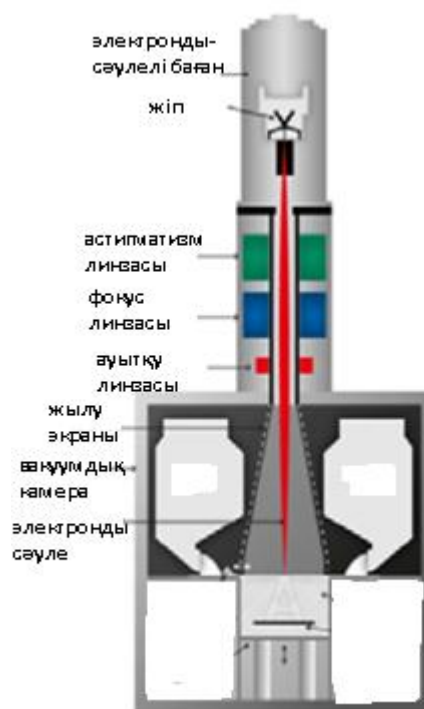
Селективті лазерлік балқыту кезінде алғашында бастапқы қабат қалыптасады, яғни платформаға ұнтақ себіледі, сол ұнтақ роликтің көмегімен құйылып жатқан бетке тегіс болып тегістеледі. Тегістелген қабатты лазердің көмегімен керек жок жерлерін кесіп алынады және осы процесс келесі құйылатын қабаттарда да қолданылады.



Сурет-7. Селективті лазерлік балқыту

Электронды сәулелі балқыту

Электронды сәулелі балқыту жоғары қуатты сәуленің әсеріне негізделген. Электронды сәуле электромагнитті катушкамен қалыпқа келтіріліп сәулені тез және дәл қолдануға мүмкіндік береді. Бұйымды балқыту вакуумде болады, улкен температура кезінде ол компоненттерді ажырауына ықпал етеді.



Сурет-8. Электронды сәулелі балқыту

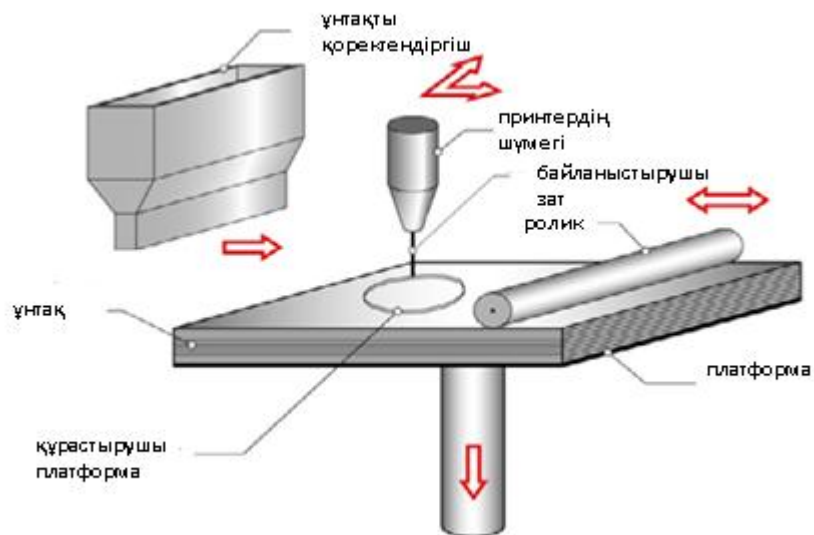
3D – баспа

3D баспа арқылы бұйымды басып шығару 2 жолмен жүзеге асады:

Бірінші кезеңде металл ұнтақты құрылу платформасына беріледі және оның бір біріне қолсылуын принтердің форсункасы арқылы жүзеге асырылады. Осы процесс бұйым дайын болмағанша жасалынады.

Екінші кезеңде құйылған бұйымның қатуы болып табылады.

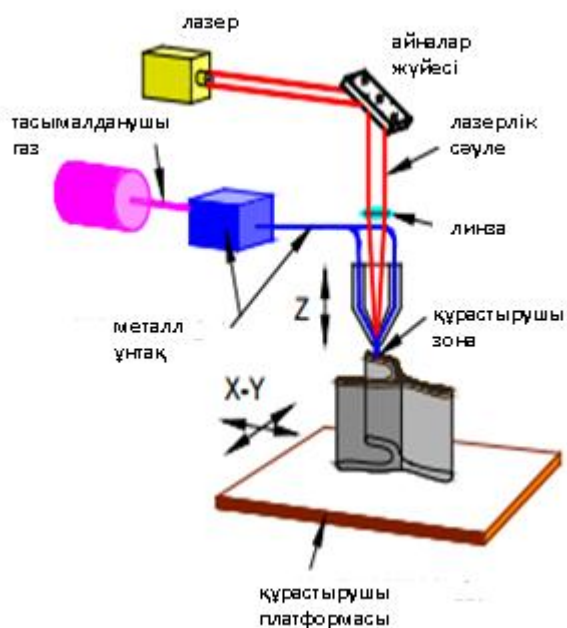
3D баспа сәулелі лазерлік балқытуға қарағанда өндірісте көп қолданылады, себебі ондай қиын өндіріс орнын қажет етпейді.



Сурет-9. 3D – баспа

Тікелей лазерлік балқыту

Бұл әдіс басқа әдістерге қарағанда мұнда ұнтақ қабаты қалыптаспайды, керісінше ұнтақ пен лазерлік сәуленің энергиясы бірге беріледі, себебі материал белгілі жерге беріледі.



Сурет-10. Тікелей лазерлік балқыту

4. Балқыманы тозаңдату арқылы ұнтақтарды алудың технологиялық режимдерін есептеу

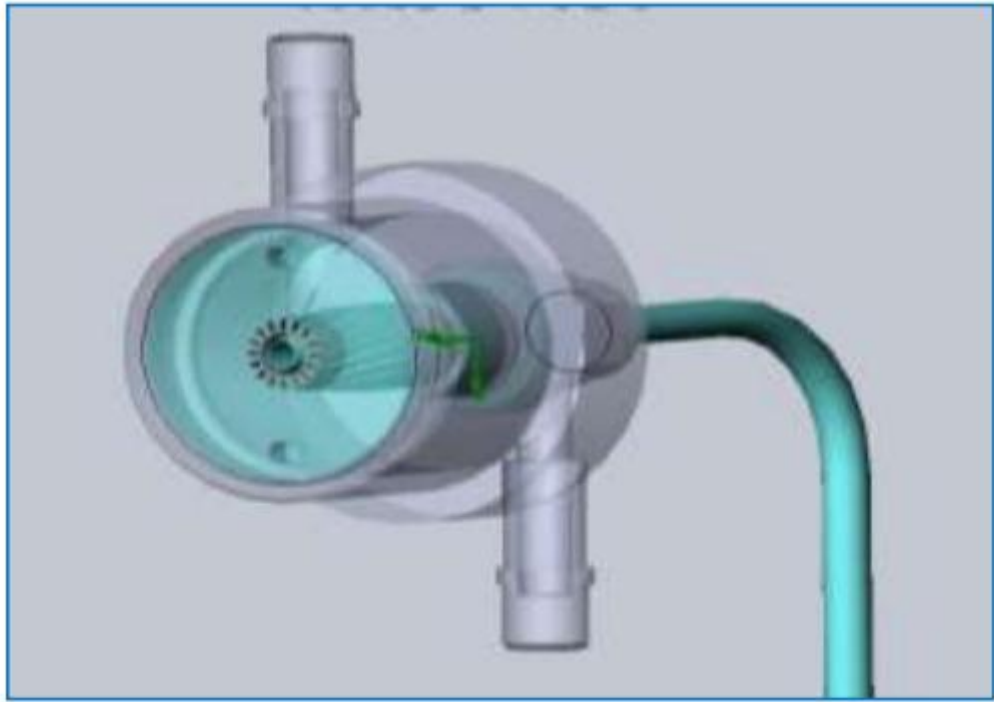
Метал ұнтақтарын өндірушілер диспергирлеу әдістерімен технологияны әзірлеу кезінде бірқатар міндеттерді шешуге тура келеді. Материалдың гранулометриялық құрамына қойылатын талаптардан басқа, нығыздықтың, қалыптылықтың, ағымдылықтың, ұнтақтарға үйінді тығыздықтың қажетті мәндерін қамтамасыз ету үшін одан әрі пайдалануға байланысты бөлшектердің нысаны бойынша талаптар қойылады. Бөліктердің түріне ең тиімді әсер ету тікелей бұрқу процесін көрсетеді, сондықтан жұмыста газ ағысының жылдамдығымен қатар балқыманы қажетті мөлшерге дейін кепілді ұсақтауды ғана емес, сонымен қатар металды ұсақтау, салқындату және сфероидизациялау жылдамдығының ара қатынасын қамтамасыз ететін технологиялық факторлардың оңтайлы үйлесімін таңдау қажет. Міндет электр энергиясының жоғары құны мен отқа төзімді материалдардың пайдалану қасиеттерінің шектеулігіне байланысты энергия шығынын азайту қажеттілігімен күрделене түседі.

Бұл тарауда балқыманы диспергирлеу кезінде болатын негізгі процестер қарастырылған, мысалы, ағыстың ыдырауы, тамшыларды ұсақтау және қатайту, ағыстың ұсақтау тиімділігінің және ұнтақ бөлшектерінің қалыптау процесінің ерекшеліктерінің тозаңдату процесінің әртүрлі технологиялық параметрлерінен және тозаңдатқыш газдың табиғатынан тәуелділігі бағаланды. Сонымен қатар қажетті өлшемдегі микроұнтақтарды алу үшін қажетті процесс параметрлерінің есептері келтірілген.

Жүйедегі сұйық металл қозғалысын есептеу

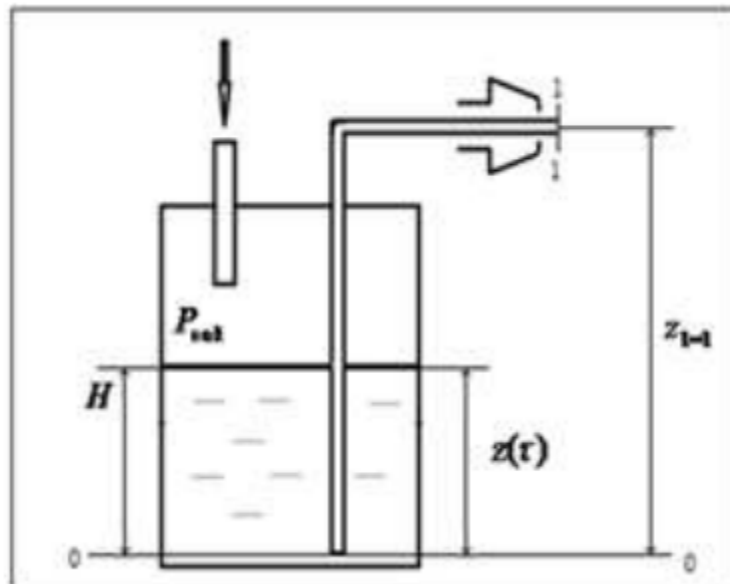
Ұнтақтың гранулометриялық құрамына әсер ететін процестің маңызды технологиялық параметрлерінің бірі пештің герметикалық жұмыс қуысының үрлеу қысымының мәні болып табылады. Жұмыс аймағының үрлеу қысымының шамасына канал бойынша қозғалыс жылдамдығы тікелей байланысты, демек, тозаңдану кезіндегі газдың меншікті шығыны.

Жұмыс аймағының үрлеу қысымы шамасының кварц каналы бойынша металдың қозғалыс жылдамдығына әсерін дәл бағалау үшін форсунка үшін газ ағысын компьютерлік модельдеу (ANSYS CFX) нәтижелерін ескере отырып, есептеулер жүргізілді, оның моделі 11-суретте көрсетілген.



Сурет-11. Бүріккіш моделі

Жұмыс аймағының үрлеу қысымы шамасының кварц каналы бойынша металдың қозғалыс жылдамдығына әсерін дәл бағалау үшін форсунка үшін газ ағысын компьютерлік модельдеу (ANSYS CFX) нәтижелерін ескере отырып, есептеулер жүргізілді, оның моделі 11-суретте көрсетілген.



Сурет-12. Сұйық металды бүріккіш форсункаға мәжбүрлеп беру схемасы

Жұмыс барысында қолданылатын схемаға арналған тозандату форсункасына балқыту агрегатының жұмыс кеңістігінен балқыманы ығыстыру (12- сурет) Бернулли теңдеулер жүйесімен (1) сипатталады.

$$\begin{cases} \frac{P_{0-0}}{\rho_{жс} * g} + \frac{\vartheta_{0-0}^2}{2 * g} = \frac{P_{1-1}}{\rho_{жс} * g} + \frac{\vartheta_{1-1}^2}{2 * g} + z_{1-1} + \sum \Delta h_n \\ P_{0-0} = P_{над.} + \rho * g * z(\tau) \end{cases} \quad (1)$$

Мұнда, P_{0-0} - 0-0 дағы қысым, Па;

P_{1-1} - 1-1 дегі қысым, Па;

$P_{над.}$ - балқыту агрегатының жұмыс қуысының үрлеу қысымы, Па;

ϑ_{0-0} - 0-0 қимадағы сұйықтық ағысының жылдамдығы, м/с;

ϑ_{1-1} - 1-1 қимадағы сұйықтық ағысының жылдамдығы, м/с;

$z(\tau)$ - балқыманы беру арнасына уақыт кіруіне қатысты металл айналары деңгейінің тәуелділігі, м;

z_{1-1} - балқыманы беру арнасына кіруге қатысты форсунка деңгейі, м;

g - еркін құлау үдеуі, м/с²;

$\sum \Delta h_n$ - 0-0 және 1-1 қималар арасындағы қысым жиынтық шығындары

Стационарлық процесс үшін $\vartheta_0 = \vartheta_1$ шартты қабылдаймыз.

$$\frac{P_{над} + \rho * g * z(\tau)}{\rho * g} = \frac{P_{1-1}}{\rho * g} + z_{1-1} + \sum \Delta h_n; \quad (2)$$

Уақыт кезінде металл деңгейін анықтау үшін төмендегі өрнек пайда болады

$$z(\tau) = \frac{P_{1-1}}{\rho * g} - \frac{P_{над}}{\rho * g} + z_{1-1} + \sum \Delta h_n; \quad (3)$$

Металдың массалық шығыны берілген жүйемен анықталады

$$\begin{cases} G = \vartheta_{F-F_0}(\tau) * (F - F_0) * \rho_{жс}; \\ G = \vartheta_{F_0}(\tau) * F_0 * \rho_{жс} \end{cases}; \quad (4)$$

Мұнда, F_0 - балқыманы беру арнасының ішкі қимасы, м²;

F - балқыту агрегатындағы металл айналарының ауданы, м²;

ϑ_{F-F_0} - балқыту агрегатындағы металл деңгейінің қозғалыс жылдамдығы, м/с;

ϑ_{F_0} - балқыманы беру арнасындағы сұйықтық бағанасының қозғалыс жылдамдығы, м/с;

Металл деңгейінің өзгеруі

$$dz = \frac{F_0}{(F - F_0)} * \vartheta_{F_0}(\tau) * d\tau; \quad (5)$$

Сонда уақыт кезінде балқыманы беру арнасына кіруге қатысты металл айналарының деңгейі

$$z(\tau) = H - \frac{F_0}{(F - F_0)} * \int_0^\tau \vartheta_{F_0}(\tau) * d\tau; \quad (6)$$

Тұрақты жылдамдықпен біз аламыз

$$z(\tau) = H - \frac{F_0}{(F - F_0)} * \vartheta_{F_0}(\tau) * \tau; \quad (7)$$

3 және 7 формуласын біріктіріп

$$\frac{P_{1-1}}{\rho * g} - \frac{P_{над}}{\rho * g} + z_{1-1} + \sum \Delta h_n = H - \frac{F_0}{(F - F_0)} * \vartheta_{F_0}(\tau) * \tau; \quad (8)$$

Және уақыт кезінде беру арнасы бойынша балқыманың қозғалыс жылдамдығының балқыту агрегатының жұмыс қуысының үрлеу қысымына тәуелділігі

$$\vartheta(\tau) = \frac{(H - \frac{P_{1-1}}{\rho * g} + \frac{P_{над}}{\rho * g} - z_{1-1} - \sum \Delta h_n)(F - F_0)}{F_0 * \tau}; \quad (9)$$

Қорытынды

Сонымен, біз қазіргі заманғы технологиялар нақты өндірістік міндеттерді шешу үшін белгілі бір қасиеттері бар металмен 3D басып шығару үшін ұнтақ алуға мүмкіндік беретінін анықтадық. Ал тозаңдауға кез келген металлдарды қолдануға болғандықтан, 3D-принтерлерге арналған металл материалдардың номенклатурасы өте кең.

Металлургияның жетістіктері жоғары дәлдікті, тығыздықты және қайталанушылықты геометриялық күрделі бұйымдарды дайындау үшін бірегей қорытпаларды пайдалануға мүмкіндік бере отырып, толық көлемде аддитивті өндірісте іске асырылады. Сонымен қатар, метал аддитивті қондырғыларды енгізу тежейтін факторлар да бар, олардың бастысы – ұнтақтардың жоғары бағасы.

3D-металдармен басып шығару өнеркәсіптің көптеген салаларында өндіріс тиімділігін арттыру үшін елеулі жетістіктерге ие және компаниялар мен зерттеу ұйымдарының үлкен саны пайдаланылады. Дүниежүзілік Индустрия үшін мысал General Electric, Airbus, Boeing, Michelin сияқты өнеркәсіптік көшбасшылар көрсетеді.

Қолданылған әдебиеттер

1. Аддитивные технологии и изделия из металла [Электронный ресурс].– Режим доступа: http://nami.ru/uploads/docs/centr_technology_docs/55a62fc89524bAT_metal.pdf – Аддитивные технологии и изделия из металла.
2. Зленко М. А., Попович А. А., Мутылина И. Н. Аддитивные технологии в машиностроении. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2013. – 222 с.
3. <https://ad-ma.ru/3d-printer-poroshkovyj-metall/> - 3D принтер порошковый металл – технология
4. <http://www.freepatentsonline.com/4880162.html> - Gas atomization nozzle for metal powder production
5. https://www.gknpm.com/globalassets/downloads/hoeganaes/technical-library/technical-papers/am/zwiren_economic-additive-manufacturing-using-water-atomized-stainless-steel-powder.pdf/ - Economic Additive Manufacturing using Water Atomized Stainless Steel Powder
6. <http://yunamedia.com/GKNPLCHC.com/KyungHoeganae/TechPapersv2/84.pdf> - Water Atomized Fine Powder Technology
7. https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2019/18/matecconf_iiw18_05004.pdf - Review on Plasma Atomizer Technology for Metal Powder

Приложения А

