

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты

Білдекжасау, материалтану және машинажасау өндірісінің технологиясы  
кафедрасы

Абайұлы Әбілхайыр

«Газ атомайзерінің техникалық сипаттамаларын мен құжаттамаларын зерттеу  
және әзірлеу»

Дипломдық жобаға  
**ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА**

5B073800 – Материалдарды қысыммен өңдеу технологиясы

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты

Білдекжасау, материалтану және машинажасау өндірісінің технологиясы  
кафедрасы

**ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ**

Кафедра меңгерушісі

PhD д-ф, ассоц. проф.

 Арымбеков Б.С.

« 2 » маусым 2019 ж.



Дипломдық жобаға

**ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА**

Тақырыбы: «Газ атамайзерінің техникалық сипаттамаларын мен  
құжаттамалардын зерттеу және әзірлеу»

5B073800 – Материалдарды қысыммен өңдеу технологиясы

Орындаған

Абайұлы Әбілхайыр

Пікір беруші

техн. ғыл. магистрі

 А.М. Куленова

« 02 » 05 2019 ж.

Ғылыми жетекші

PhD д-ф, ассоц. проф.

 Арымбеков Б.С.

« 2 » маусым 2019 ж.

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы қазақ ұлттық техникалық университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты

Білдекжасау, материалтану және машинажасау өндірісінің технологиясы  
кафедрасы

5В073800 – Материалдарды қысыммен өңдеу технологиясы

**БЕКІТЕМІН**

Кафедра меңгерушісі

PhD д-ф, асс. проф.

 Арымбеков Б.С.

« 06 » сәуірі 2018 ж.

**Дипломдық жоба орындауға  
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Абайұлы Ә.

Тақырыбы: «Газ атамайзерінің техникалық сипаттамаларын мен құжаттамаларын зерттеу және әзірлеу»

Университет ректорының 2018 жылғы «06» қараша №1252-п бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі 2019 жылғы «06» мамыр

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

*а) Кіріспе;*

*ә) «Газды атомдау әдісіне арналған ұнтақтарға қойылатын негізгі талаптар»;*

*б) Газды атомдау әдісі үшін металл ұнтақтарын өндірудің қазіргі заманғы тәсілдерін талдау;*

*Ұсынылатын негізгі 2 атау:*


1 Erasteel. Metal powders for additive manufacturing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.erasteel.com> – Introduction to additive manufacturing technology. – (Датаобращения 10.02.2016).

2 Boulos M. Plasma power can make better powders / M.Boulos // Metall powder report. – 2004. – Vol.59 – Issue 5. – P. 16–21.

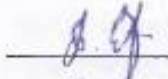
Дипломдық жобаны дайындау  
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Газды атомдау әдісіне арналған ұнтақтарға қойылатын негізгі талаптар	13.04.19	орындауға
Газ атомайзері арқылы металл ұнтағын алудың технологиясы	19.04.19	орындауға
Газ атомайзерінің құжаттамаларын зерттеу	1.05.19	орындауға

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	Р.К. Карпеков, лектор	3.05.2019	

Ғылыми жетекші

 Б.С. Арымбеков

Тапсырманы орындауға алған білім алушы

 Ә. Абайұлы

Күні

« 6 » маусым 2018 ж.

## МАЗМҰНЫ

Кіріспе	8
1 Бөлшектерді аддитивті технологиялар әдісімен дайындау тәсілдерінің сипаттамасы	10
2 Газды атомдау әдісіне арналған ұнтақтарға қойылатын негізгі талаптар	13
3 Газды атомдау әдісі үшін металл ұнтақтарын өндірудің қазіргі заманғы тәсілдерін талдау	15
4 Газ атомайзері арқылы металл ұнтағын алудың технологиясы	21
5 Газ атомайзерінің құжаттамаларын зерттеу	25
Қорытынды	28
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	29

## АҢДАТПА

Бұл жұмыста жылдам прототиптеу технологияларына сипаттама берілген. Мұндай технологиялар үшін ұнтақ материалын алудың ең өнімді әдістерінің бірі газ атомизациясы болып табылады, оның барысында балқытылған металл ағысы газ ағыны арқылы бөлінеді, бұл іс жүзінде кез келген балқымадан әртүрлі диаметрлі бөлшектердің сфералық формасы бар ұнтақтар алуға мүмкіндік береді. Металл ұнтақтары көп қабат баспаның үш өлшемді үлгісі үшін пайдаланылады, оның көмегімен әр түрлі салалардың бөлшектері шығарылады. Олар материалды қысыммен өндеудің алдыңғы операцияларынан қарағанда тұтас металдың шығындалуы жағынан экономикалық тиімді болып табылады. Қазіргі заманғы өндіріс жаңа материалдарды кеңінен пайдалануға, ақпараттық технологияларға және технологиялық процестерді автоматтандыруға негізделген перспективалы технологияларға негізделген. Өнеркәсіптің осындай салалары үшін бұйымдар мен бөлшектерді дайындау кезінде қазіргі уақытта әлемдік өнеркәсіп нарығында үлкен сұраныс аддитивті технологияларда, олар үш өлшемді компьютерлік модельдің көмегімен көп қабатты баспа әдісімен күрделі бұйымдарды жасауға мүмкіндік береді, дайын бұйым үшін қажетті материалдың дәл санын жұмсайды. Аддитивті технологиялардың артықшылығы бұйымдарды дайындау жылдамдығы, күрделі геометрия және осы бұйымдарды еркін жобалау, сондай-ақ әлемнің кез келген нүктесіне үш өлшемді модельді жылдам жіберу мүмкіндігі және қажетті бөлшектерді жылдам жасау, мысалы, «дала» жағдайларында күрделі объектіні жөндеу кезінде болып табылады. Ұнтақты металлургия, атап айтқанда, металл ұнтақтарын өндіру кең таралған, бірақ бұл кәсіпорындарда алынған ұнтақтарды аддитивті технологиялар үшін бастапқы құрылыс материалы ретінде пайдалануға болмайды, өйткені бұл ұнтақтардың берілген қатаң сипаттамалары болуы тиіс: ұнтақ бөлшектерінің сфералық нысаны, бөлшектердің мөлшері бойынша бөлінуі (әдетте 20-40 мкм, 40-60 мкм шегінде), шағын тауар партияларын алу мүмкіндігі, ұнтақ құрамының біртектілігі, химиялық тазартудың жоғары дәрежесі. Аддитивті технологиялар үшін металл ұнтақтарды алудың жалпы танылған әдістері—атомайзерлерде газды тозаңдату, центрден тепкіш тозаңдату және плазмотрондарда плазмалық тозаңдату болып табылады. Бұл

**дипломдық жұмыста атомайзерлерде газды тозаңдату әдісі, сондай-ақ металл ұнтақтарын өндірудің қазіргі заманғы әдістерін талдау қарастырылған. Түйін сөздер: Аддитивті технологиялар, газ атомизациясы, үш өлшемді баспа, металл ұнтақ, атомайзер.**

## АННОТАЦИЯ

В данной работе дано описание технологиям быстрого прототипирования. Одним из самых продуктивных методов получения порошкового материала для таких технологий является газовая атомизация, в ходе которой струя расплавленного металла разбивается с помощью потока газа, что позволяет получать порошки со сферической формой частиц разного диаметра из практически любого расплава. Металлические порошки используются для трехмерной модели послойной печати, при помощи которой, выпускаются детали различных отраслей. Они являются экономически выгодными в плане расходуемого целого металла, чем предыдущие операции обработки материала давлением. Современное производство все больше базируется на перспективных технологиях, основанных на широком использовании новых материалов, информационных технологиях и автоматизации технологических процессов. При изготовлении изделий и деталей для таких отраслей промышленности сейчас большой спрос на мировом промышленном рынке начинают использовать аддитивные технологии, которые позволяют с помощью трехмерной компьютерной модели методом многослойной печати создавать сложные изделия, затрачивая ровно то количество материала, которое необходимо для готового изделия. Преимуществами аддитивных технологий являются также скорость изготовления изделий, сложная геометрия и свободное проектирование этих изделий, а также возможность быстрой передачи трехмерной модели в любую точку мира и быстрое изготовление необходимых деталей, например, при ремонте сложного объекта в «полевых» условиях. Порошковая металлургия, в частности, производство металлических порошков, достаточно распространена, но полученные на этих предприятиях порошки нельзя использовать в качестве исходного строительного материала для аддитивных технологий, так как эти порошки должны иметь жестко заданные характеристики: сферическую форму частиц порошка, распределение частиц по размерам (обычно в пределах 20-40 мкм, 40-60 мкм), возможность получения небольших товарных партий, однородность состава порошка, высокую степень химической очистки. Общеизвестными методами получения металлических порошков для аддитивных технологий являются газовое распыление в атомайзерах,



**центробежное распыление и плазменное распыление в плазмотронах. В данной дипломной работе рассмотрен метод газовой атомизации, также анализ современных методов производства металлических порошков. Ключевые слова: Аддитивные технологии, газовая атомизация, трехмерная печать, металлический порошок, атомайзер.**

## ABSTRACT

**This paper describes the technology of rapid prototyping. One of the most productive methods of obtaining powder material for such technologies is gas atomization, during which the jet of molten metal is broken using a gas stream, which makes it possible to obtain powders with a spherical shape of particles of different diameters from almost any melt. Metal powders are used for a three-dimensional model of layer-by-layer printing, with the help of which parts of various industries are produced. They are economically advantageous in terms of the consumed whole metal than the previous material pressure treatment operations. Modern production is increasingly based on promising technologies based on the wide use of new materials, information technologies and automation of technological processes. In the manufacture of products and parts for such industries, there is now a great demand on the global industrial market to use additive technologies that allow using a three-dimensional computer model using multi-layer printing to create complex products, spending exactly the amount of material needed for the finished product. The advantages of additive technologies are also the speed of manufacturing products, complex geometry and free design of these products, as well as the ability to quickly transfer the three-dimensional model to anywhere in the world and the rapid production of necessary parts, for example, when repairing a complex object in the "field" conditions. Powder metallurgy, in particular, the production of metal powders, is quite common, but the powders obtained at these enterprises cannot be used as an initial building material for additive technologies, since these powders must have rigidly defined characteristics: the spherical shape of powder particles, the particle size distribution ( usually in the range of 20-40 microns, 40-60 microns), the possibility of obtaining small commodity lots, the homogeneity of the composition of the powder, a high degree of chemical cleaning. The generally accepted methods of obtaining metal powders for additive technologies are gas spraying in atomizers, centrifugal spraying and plasma spraying in plasma torches. In this thesis work, the gas atomization method is considered, as well as the analysis of modern methods for the production of metal powders.**

**Keywords: Additive technologies, gas atomization, three-dimensional printing, metal powder, atomizer.**

## КІРІСПЕ

Соңғы уақытта тез прототиптеу технологияларына қызығушылық өте жоғары. Олардың ең көп тараған түрі-селективті лазерлік жентектеу және селективті лазерлік балқыту, олардың көмегімен қабаттап жентектеу немесе ұнтақты материалды лазерлік сәулемен еріту жолымен геометриялық күрделі объектілер дайындалады. Мұндай технологиялар үшін ұнтақ материалын алудың ең өнімді әдістерінің бірі газ атомизациясы болып табылады, оның барысында балқытылған металл ағысы газ ағыны арқылы бөлінеді, бұл іс жүзінде кез келген балқымадан әртүрлі диаметрлі бөлшектердің сфералық формасы бар ұнтақтарды алуға мүмкіндік береді.

Қазіргі таңда тез прототиптеу технологияларына қызығушылық жоғарылап келеді. Олардың ең жиі тараған түрлері – селективті лазерлік жентектеу және селективті лазерлік балқыту, олардың көмегімен қабаттап жентектеу немесе ұнтақты материалды лазерлік сәулемен еріту арқылы әртүрлі геометриялық күрделі объектілер жасалады. Осындай технологиялар үшін ұнтақ материалын алудың ең тиімді әдістерінің бірі газ атомизациясы болып есептеледі, оның барысында балқытылған металл ағысы газ ағыны арқылы бөлінеді, осы әдіс кез келген балқымадан әртүрлі диаметрлі бөлшектердің сфералық формасы бар ұнтақтарды алуға мүмкіндік береді.

Қазіргі заманғы өндіріс жаңа материалдарды, акпараттық технологияларды және технологиялық процестерді автоматтандыруға негізделген перспективалы технологияларға кеңірек сүйенеді. Мұндай өндірістердің қатарына, бірінші кезекте әуе және кеме жасау, қозғалтқыш құрылысы және аэроғарыштық өнеркәсіп, медицина, радиоэлектрондық және әскери мақсаттағы бұйымдар өндірісі жатады. Мұндай өндірістер үшін бұйымдар мен бөлшектерді дайындау кезінде қазіргі уақытта әлемдік өнеркәсіп нарығында кең сұранысқа ие аддитивті технологияларды пайдалана бастайды, ол үш өлшемді компьютерлік модельдің көмегімен қабаттап басу арқылы күрделі бұйымдарды жасауға мүмкіндік береді, оған дайын бұйым үшін қажетті материалдың дәл мөлшерін жұмсайды.

Аддитивті технологиялардың артықшылықтары бұйымдар жасау жылдамдығы, осы бұйымдардың күрделі геометриясы және еркін дизайны, сондай-ақ әлемнің кез келген нүктесіне үш өлшемді модельді жылдам жіберу және қажетті бөлшектерді жылдам өндіру мүмкіндігі болып табылады, мысалы, «дала» жағдайларында күрделі объектіні жөндеу кезінде.

2012 жылы АҚШ Янгстоунда (Youngstown, Ohio) National Additive Manufacturing Innovation Institute (NAMII) ашты. 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.

Сондай-ақ бірнеше университеттері 3D-әзірлемелерге бағытталған Қытай да қалыспауда. Бүгінгі күні, мысалы, әскери-далалық аппарат жұмыс істейді, оның көмегімен бас сүйек, ми жарاقاتы кезінде пластина жасап, дала жағдайында краниопластика жүргізуге болады.

Ұнтақты металлургия, атап айтқанда, металл ұнтақтарын өндіру кең тараған, бірақ осы кәсіпорындарда алынған ұнтақтарды аддитивті технологиялар үшін бастапқы құрылыс материалы ретінде қолдану мүмкін емес, өйткені бұл ұнтақтардың берілген сипаттамаларға қатаң ие болуы тиіс: ұнтақ бөлшектерінің сфералық нысаны, бөлшектер мөлшерін бөлу (әдетте 20-40 мкм, 40-60 мкм шегінде), шағын коммерциялық партияларды алу мүмкіндігі, ұнтақ құрамының біртектілігі, химиялық тазартудың жоғары дәрежесі. Алайда, ұнтақ металлургиясының кең дамыған ғылыми және өнеркәсіптік инфрақұрылымы, атап айтқанда, жаңа – аддитивті салаға автоматты түрде көшіру мүмкін емес металл ұнтақтарын өндіру аддитивті ұнтақ өндірісін дамыту үшін бастапқы база ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Жалпы ұнтақты металлургияда металл ұнтақтарын өндіру кең тараған, дегенмен кәсіпорындарда алынған ұнтақтарды ат-лар үшін негізгі құрылыс материалы ретінде қолдану мүмкін емес болып табылады, себебі бұл ұнтақтар берілген сипаттамаларға қатаң түрде сәйкес келуі қажет: ұнтақ бөлшектерінің сфералық нысаны, бөлшектер мөлшерін бөлу (қалыптыда 20-40 мкм, 40-60 мкм шегінде), шағын коммерциялық партияларды алу мүмкіндігі, ұнтақ құрамының біртектілігі, химиялық тазартудың жоғары дәрежесі. Бірақ та, ұнтақ металлургиясының жоғары дәрежеде кең дамыған ғылыми және өнеркәсіптік инфрақұрылымы, оның ішінде, жаңа – аддитивті салаға автоматты түрде көшіру мүмкін емес жағдайда металл ұнтақтарын өндіру аддитивті ұнтақ өндірісін дамыту үшін бастапқы база ретінде қолданылуы мүмкін.

Егер де, өнеркәсіпте пайдаланылатын болаттардың саны әлемде 1000 маркадан асатын болса, онда болаттарды ыстыққа төзімді және арнайы қорытпаларды, түсті металл ұнтақтарын және қорытпаларды қоса алғанда, ұнтақтардың саны әрең 50-ден асады [2,3].

Аддитивті технологиялар үшін металл ұнтақтарын өндірудің жалпы танылған әдістері атомайзерлерде газды тозаңдату, центрден тепкіш тозаңдату және плазматрондарда плазмалық тозаңдату болып табылады.

Атомайзерлер ірі габаритті қондырғылар болып табылады және оларды қолдану үлкен кәсіпорындар үшін жүздеген және мың килограмм ұнтақ партиясын өндіруде тиімді. Шағын кәсіпорындар үшін бұл жабдық құнының жоғары болуына, пайдалану күрделілігіне, материалдың бір маркасынан екіншісіне өту кезіндегі қайта баптаудағы қиындықтарға байланысты аз жарамды.

Центрден тепкіш немесе плазмалық тозаңдату қондырғылары энергия шығыны, өте қымбат және пайдалануда күрделі болып табылады – оларды қолдану күрделі, мысалы, ыстыққа төзімді ұнтақтарды дайындау кезінде тиімді болады.

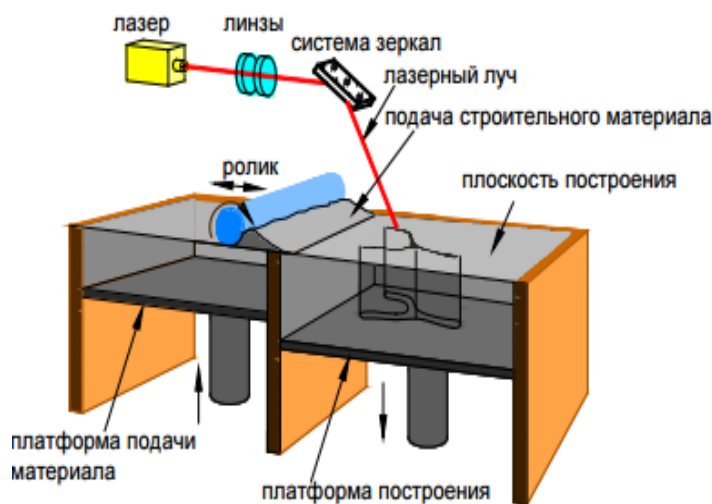
## 1 Бөлшектерді аддитивті технологиялар әдісімен дайындау тәсілдерінің сипаттамасы

Қазіргі уақытта әлемдік өнеркәсіп нарығында жоғары деңгейдегі күрделілік, еркін дизайн бұйымдарын жасауды қамтамасыз ететін, кез келген элементтерді конструкцияға берілген 3D-модельдер бойынша интеграциялау мүмкіндігімен аддитивті технологиялар кең сұранысқа ие бола бастады. Аддитивті технология деп аталатын, бұрынғы егілу мен материалдың кесіндісін ауыстыратын, оның жартысы одан кейін тасталатын (металлургияда, мысалы, бұл өте қымбат және үнемді емес) тозған өндіріске негізделген. Бұл технологияларды қолдану бұйымды арзандатуға, машина жасау, аспап жасау, аэроғарыштық өнеркәсіп, медицина, электр техникасы және электроникада жобалауды және өндіруді жеделдетуге мүмкіндік береді.

Аддитивті технологиялар әдістерімен металл бұйымдарын дайындаудың 4 негізгі бағыттары қалыптасты [4,5]:

- Селективті лазерлік қорытпа немесе SLV-әдіс (Selective Laser Melting):

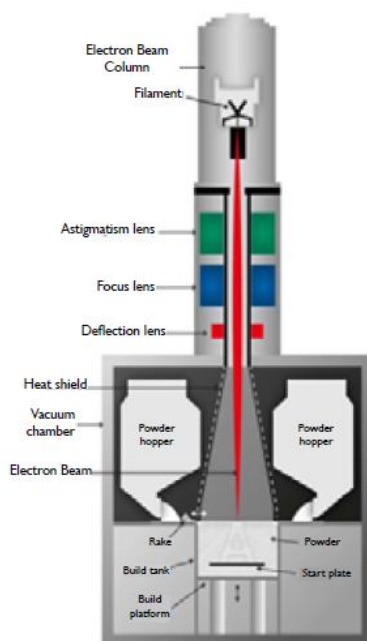
Селективті лазерлік қорытпалар кезінде алдымен базалық қабатты қалыптастырады, мысалы, жұмыс платформасына ұнтақты себеді, ол роликтің немесе «пышақтың» көмегімен тегістейді, осылайша белгілі бір қалыңдық материалының тегіс қабатын түзеді; содан кейін бастапқы үш өлшемді компьютерлік үлгінің берілген қимасына сәйкес ұнтақ бөлшектерін (қорытып немесе желімдей) бекітіп, қалыптастырылған қабатта лазермен немесе өзге де тәсілмен ұнтақты іріктеп (іріктейді) өңдейді. Содан кейін платформа 20-100 мкм түсіріледі және қабаттың артында қабат, бірнеше мың қайталанатын циклдардан кейін деталь қалыптасады (1–сурет).



1 Сурет – Селективті лазерлік балқыту

- Электронды сәулелі қорытпа немесе EBM-әдіс (Electron Beam Melting) [6]:

Бұл әдіс жоғары балқыту температурасы мен жоғары өнімділік үшін қажетті энергияны өндіретін жоғары қуатты электрондық сәуленің әсеріне негізделген. Электрондық сәуле өте жылдам және дәл сәуле бақылауды жүзеге асыратын электромагниттік катушкамен басқарылады. Бұйымның қорытылуы жоғары температурада вакуумда (қысым  $1 \cdot 10^{-5}$  mbar) жүргізіледі, бұл қорытылатын бұйымның компоненттерінің ажыратылуына ықпал етеді (2-сурет). Нәтижесінде, EBM-әдісімен алынған бұйымдардың қалдық кернеулері жоқ және мартенситсіз құрылымы бар.



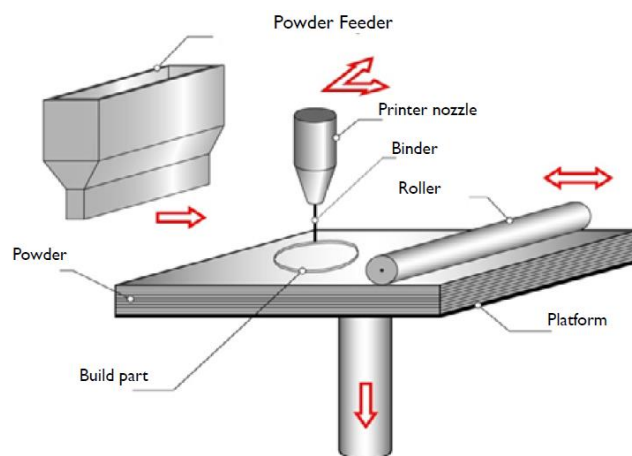
2 Сурет – Электронды сәулелі қорытпа

– 3D басып шығару (3D printing). 3D-басу әдісімен бұйым жасау 2 кезеңде жүзеге асырылады (3-сурет).

Бірінші кезең: ұнтақты беру және құру платформасында ұнтақ қабатын қалыптастыру және принтердің форсункасы арқылы байланыстырғыш затты беру жолымен оны ары қарай тіркеу жүзеге асырылады. Өнім толығымен баспағанша операция қайталанады. Содан кейін, дайын өнімді одан әрі өңдеу үшін құрылым платформасынан мұқият алып тастау қажет, себебі бұл «жасыл» басып шығару сатысы.

Екінші кезең: пісіру процесінде металл бұйымның қатаюы орын алады. 3D-басып шығару сәулелі лазерлік қорытпамен салыстырғанда анағұрлым өнімді әдіс болып табылады және күрделі жабдықты талап етпейді. Екінші жағынан, беттің жақсы сапасын алу үшін дайын өнім келесі операцияларға ұшырауы қажет: ұсақтап беріктендіру (Ra 3 мкм) немесе суперфиниширлеу (Ra 1.0 мкм, 1,0 мкм төмен).

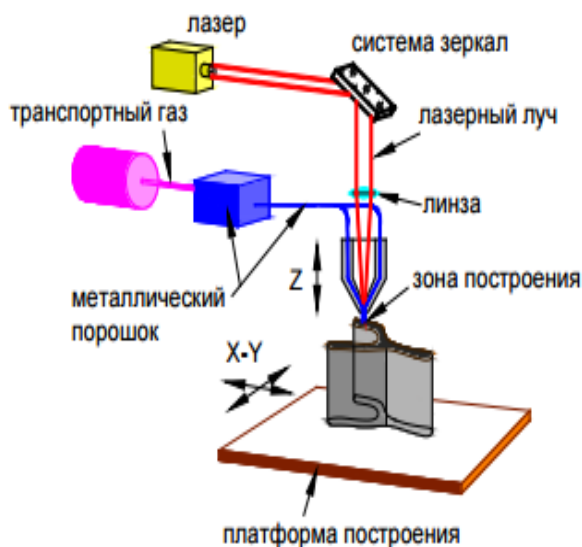
3D-баспаға арналған материалдардың ассортименті шектеулі және бұйымдардың механикалық қасиеттері лазерлік және электронды сәулемен қорытуға қарағанда төмен болуы мүмкін.



3 Сурет – 3D басып шығару

- Тікелей лазерлік қорытпа (Direct Energy Deposition):

Бірінші әдіске қарағанда, мұнда ұнтақ қабаты қалыптаспайды, ұнтақ пен лазер сәулесі энергиясын сору жүреді, яғни материал тікелей берілген орынға беріледі, онда энергия бір уақытта жасалады және бөлшектің қалыптасу процесі жүреді. Процесс дәнекерлеуші материалды (электрод) электр доғасының есебінен балқытпа аймағы қалыптасатын орынға қалай енгізетініне ұқсас (4-сурет).



4 Сурет – Тікелей лазерлік қорытпа

## 2 Газды атомдау әдісіне арналған ұнтақтарға қойылатын негізгі талаптар

Аддитивті технологияларға арналған заманауи жабдықты өнеркәсіптік қолдану осы технологияларды енгізу үшін шикізат (ұнтақ) қатаң сипаттамаларға ие болу керек [5,7,8]:

1. Ұнтақ бөлшектерінің нысаны сфералық болуы шарт, себебі мұндай форма минималды кедергімен материалды беру жүйелерінде ұнтақ композициясының «ағымдылығын» қамтамасыз етеді және ұнтақ қабатының қалыңдығы мен кеуектілігі бойынша бірдей қалыптастыруға мүмкіндік береді.

2. Ұнтақ бөлшектерінің мөлшерін бөлу-бұл бөлшектердің қандай өлшемінің бар екенін және алынған ұнтақтың жалпы санына қатысты қандай пропорцияда (талап етілетін өлшем әдетте 20-40, 40-60 мкм шегінде) анықтайтын индекс.

Бөлшектер мөлшерін бөлу аддитивті технологиялар үшін өте маңызды сипаттама болып табылады, өйткені ол осындай аспектілерге әсер етеді:

- ұнтақ ағымдығы және біркелкі тарату қабілеті;
- ұнтақ қабатының тығыздығы;
- ұнтақтың бөлшектерін балқытуға арналған қажетті энергия мөлшері;
- алынған беттің кедір-бұдырлығы.

3. Металл ұнтағын қоспалар мен тотықтардан химиялық тазартудың жоғары дәрежесі. Ұнтақтардың химиялық қасиеттері ұнтақтың құрамына кіретін негізгі металдың немесе негізгі компоненттердің құрамына, қоспалардың құрамына, әртүрлі механикалық ластануларға және газдарға байланысты. Ұнтақтардағы қоспалар бөлшектер металының құрылымына кіретін қатты ерітінділер немесе химиялық қосылыстар түрінде, ал механикалық ластанулар – оксидтер түрінде болуы мүмкін. Сондай-ақ, металл ұнтақтарында әртүрлі құрамдағы газдардың едәуір мөлшері бар. Олардың болуы ұнтақтардың сынғыштығын арттырады, престоуді қиындатады және т. б. [2,4]

4. Ұнтақ құрамының жоғары біртектілігі.

Сондай-ақ, келесі маңызды сәттерді ескеру керек [5]:

- 1) ұнтақтарды сақтау және қартаюы;
- 2) аддитивті өндіріс әдістерінен кейін ұнтақты қайта пайдалану мүмкіндігі;
- 3) адам денсаулығына, қоршаған ортаның қауіпсіздігі мен экологияға әсер етуі.

### 1 Кесте – Ұнтақты материалдарды қолдану салалары

Ұнтақ компоненттері	Қолдану
Al-Ni-Co, Fe-Nd-B	Магниттер, магниттер өндірісі
Al-Si-Mg	Термотұрақты құрылымы бар қорытпалар



*1 Кестенің жалғасы*

Al-Sn-Cu	Сырғанау мойынтіректері
Al-өтпелі лантаноидтар	Жылу беріктігі жоғары қорытпалар
Bi-Te, висмут	Тұшпара әсерін пайдаланатын құрылғылар
Cr-Al	Қорғаныс жабындары
Co-Cr	Тіс протездеуге арналған қорытпалар
Cu-Ba, Cu-Y	Суперсеріктер
Cu-Cr-Zr	Бериллийсіз электр сымдары
Cu-In-Ga- Селециді	Фотогальваникалық материалдар
Cu-Mn-Ni, Cu-Ti-Sn	Кесетін құрал
Au-Pt-Pd-Ag-In, Ni-Ti-Si-B, Ag-Cd-Zn-Cu	Дәнекерлеуге арналған қорытпалар
Au-Ag-Cu	Жұқа пленкалы жабындар
Fe-14%Cr-0,4%С	Арнайы құрал және жабдық
Fe-Mn	Илектеу орнақтарының тозуға төзімді тіректері
Fe-6%Si	Трансформаторлардың өзекшелері
Fe-Si-Al	Магниттік компоненттер
Mg қорытпалар	Металл матрицалар
Ni-алюмиды	Құрылымдық компоненттер және жабындар
Ni-Ce	Катализаторлар
Ni-Cr-Fe-Si-B	Плазмалық тозандандыруға арналған ұнтақтар
Ni-Cr-Mo-B	Коррозияға қарсы жабындар
Ni-лантаноиды	Отын элементтері
Тот баспайтын болат 304/316	МІМ-технология
Болат Т42	Аспаптық жабдықтар
Tb-Fe	Оптикалық-электрондық құрылғылар

Осылайша, аддитивті технологияларды дамыту үшін негізгі проблема бастапқы материалдарды (базалық) жасау болып табылады. Ұнтақтың сапасына, ең алдымен, алынатын бөлшектердің сапасы байланысты.

Металл ұнтақты тек аддитивті технологиялар үшін ғана емес, сонымен қатар электроника, медицина, оптика сияқты өнеркәсіптің басқа салалары үшін, жабынды жағу кезінде және т. б. қолданылады. Күміс, мыс, мырыш дәнекерлерін өндіру кезінде көлемі 20-40 мкм, сфералық нысаны бар, кездейсоқ қоспалардан тазартылған ұсақ бөлшектерден тұратын ұнтақтар пайдаланылады.

### **3 Газды атомдау әдісі үшін металл ұнтақтарын өндірудің қазіргі заманғы тәсілдерін талдау**

Ұнтақты металлургияға арналған ұнтақтарды алудың өнеркәсіптік әдістері физика-химиялық және физика-механикалық болып бөлінеді. Осы әдістермен алынған ұнтақтар бір-бірінен фазалық құрамымен, беттің морфологиясымен, бөлшектердің микроқұрылымымен, физика-технологиялық қасиеттерімен және соңғы тазалығымен ерекшеленеді.

Қазіргі уақытта ұнтақ материалдарын алудың келесі әдістері белгілі:

–механикалық, мысалы, материалды кесу мен ұсақтау, шар, құйынды, балға және басқа да диірмендерде ұнтақтау, инерциялық ұсақтағыштарда ұнтақтау. Бұл әдістер металды үлкен көлемде ұсақтауға мүмкіндік береді, бірақ алынған ұнтақтардың дұрыс емес, негізінен ине тәрізді, бөлшектер нысаны болады, бұл оны аддитивті технологиялар үшін қолдануға мүмкіндік бермейді. Бұдан басқа, механикалық ұсақтау процесінде ұнтақты диірмен агрегатының тозған өнімдерімен ластануы мүмкін, ал ұнтақтардың өздері қажетті технологиялық талаптарға жауап бермейді [2,3].

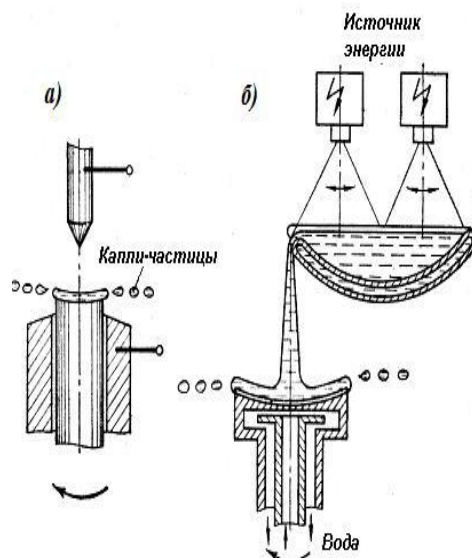
– қатты тотықсыздандырғыштармен және газдармен оксидтерді қалпына келтіру, балқытылған ортаның немесе су ерітінділерінің электролизі, карбонилдердің диссоциациясы, булану және конденсация әдісі жататын физика-химиялық.

Физикалық-химиялық әдістердің үлкен артықшылығы-жоғары таза ұнтақтарды алу мүмкіндігі, негізгі кемшілігі-процестің төмен өнімділігіне және электр энергиясының үлкен шығынына байланысты ұнтақтардың жоғары құны [2,3].

- металл балқымасын центрден тепкіш тозаңдату [4,9]:

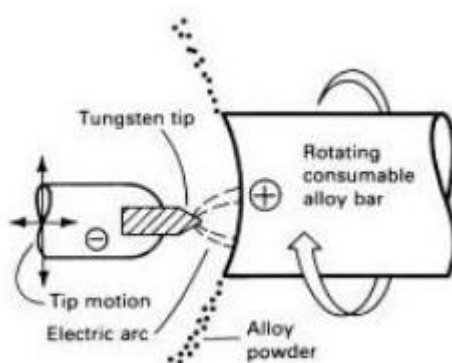
Аддитивті технологиялар үшін ең құнды болып табылатын реактивті және баяу балқитын металдар ұнтақтарын алуға мүмкіндік беретін технологиялар барынша қызығушылық танытады.

Центрден тепкіш атомдау технологиялары әртүрлі. Балқыманың тез айналатын дискіге түскен кезде шашырауын немесе плазмалық ағын арқылы балқитын тез айналатын цилиндрлік дайындамадан болжайтын технологиялар бар (5–сурет).



5 Сурет – Балқыманы центрден тепкіш тозаңдату арқылу бұрку

REP-Rotating Electrode Process технологиясы-материал шыбық (әдетте диаметрі 15-75 мм) мен вольфрам электродының арасында электр доғасымен түзілетін балқыманың тозаңдануын болжайды (6-сурет). Технологияның басты артықшылығы балқыманың тиглмен және құю құрылғыларымен байланысын толық жою болып табылады.



6 Сурет – Rotating Electrode Process процесінің сызбасы

Ортадан тепкіш тозаңдағанда алынатын ұнтақ бөлшектерінің пішіні газ ортасының құрамына және балқыманың қызуына байланысты. Оттегі бар ортада балқыманың аздаған қызуы кезінде бөлшектердің жіп тәрізді нысаны болады (сурет 7 а) үлкен меншікті беті бар. Егер оттегі құрамы аз болса, ал қызып кету жеткілікті жоғары (5% артық) бөлшектер нысаны сфералық болып шығады (сурет 7 б) [5]:

Ортадан тепкіш тозаңдаудың белгіленген кемшіліктері – бұл үлкен энергия шығындары, жабдықтың жоғары құны, пайдалану күрделілігі, оларды қолдану күрделі, мысалы, ыстыққа төзімді ұнтақтарды дайындау кезінде тиімді болады.

- сұйық металдарды сумен немесе газдармен тозаңдату [4,10]:

Шашырату (atomization) - газ, сұйықтық немесе плазма ағысының инерциялық күштерінің әсерінен балқыманы диспергирлеу арқылы металл ұнтақтарды алу. Ұнтақтарды алу үшін пайдаланылатын өндірістік кезеңдер тиісті металдар мен қорытпаларды балқытуды, тозаңдатуды және қатаюды қамтиды. Металдар мен қорытпаларды балқыту электр доғасының немесе плазманың әсерінен әртүрлі үлгідегі балқыту пештерінде орындалуы мүмкін, ал бұрқу судың жоғары қысымды ағынымен, инертті және бейтарап газдармен жүзеге асырылады. Тозаңдату әдістері жоғары сапалы металл ұнтақтарын өндіруде жетекші технология болып табылады, оларға бөлшектердің сфералық формасы бойынша талаптар қойылады; олардың бетінің тотықтардан және металл көлемінен бөгде қоспалардан тазалығы; және микроқұрылымның біртектілігі.

Сұйық металдарды бұрқу-ұнтақтарды алудың ең өндірістік әдістерінің бірі. Балқыманың шашырауы балқу температурасының кең интервалы бар металл ұнтақтарын өндірудің қарапайым және арзан технологиялық процесі болып табылады.

Металл ағынын газ ағынымен тозаңдату процесі индукциялық/вакуумдық-индукциялық металл балқытумен атомайзерлерде жүзеге асырылады және бірнеше сұлбалар бойынша мүмкін [5,11]:

– газбен атомдау:

Аддитивті технологияларға арналған металл ұнтақтар негізінен газды атомдау әдісін пайдалана отырып өндіреді. Процесс балқытпаны балқыту пешінің ваннасынан тікелей форсунды құрылғыға (тозаңдатқышқа) жіберуден немесе аралық жылытылатын металл қабылдағыш арқылы жіберуден басталады. Одан әрі инертті газ ағындарының әсерінен (аргон, азот), салқындатылған және шашырату бағанасы бойынша түсіп қататын ұсақ тамшыларға құйма ағысы ыдырайды (7–сурет).



7 Сурет – Атомайзер

Балқымаларды тозаңдаудың бұл әдісі негізінен болаттан, алюминий қорытпаларынан, бағалы металдардан және т. б. ұнтақтарды алу үшін қолданылады.

- металды вакуумдық-индукциялық балқытумен газды атомдау:

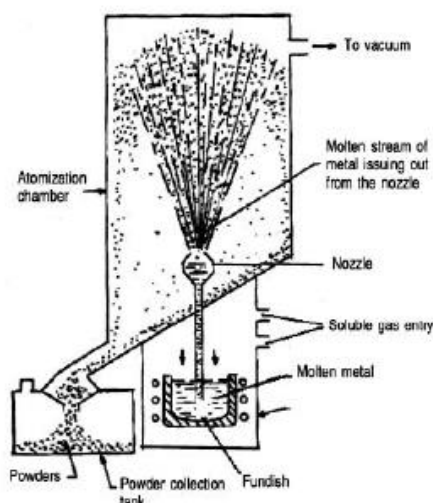
Бұл әдіс қарапайым газ атомизациясынан ерекшеленеді, бұл индукциялық металл балқыту вакуумдық камерада жүреді. Мұндай балқытуды титан, алюминий сияқты металдармен жұмыс істеу кезінде ұнтақ бөлшектерінде тотықты пленкалардың түзілуін болдырмау үшін ыстыққа төзімді қорытпалар үшін қолданған жөн (8-сурет).



8 Сурет – Вакуумдық-индукциялық балқытылған атомайзер

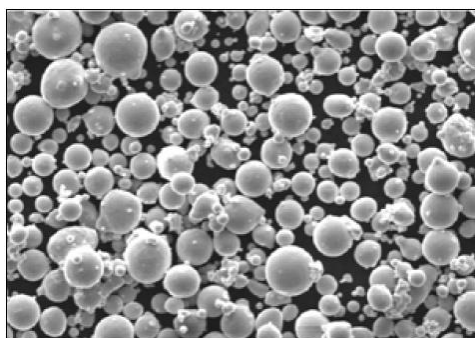
– вакууммен атомдау:

Шетелдік әдебиетте вакуумдық атомдау процесін soluble gas atomization деп атайды, яғни балқытуда еріген газ есебінен атомизация. Оның мәні мыналардан тұрады: атомайзер екі камерадан тұрады – балқыту және бүрку. Балқыту камерасында балқытуда еритін газдың артық қысымы (сутегі, азот, гелий) жасалады. Атомдау кезінде балқыту камерасындағы қысым әсерінен металл вакуум жасайтын бүріккіш камераға шығатын соплов аппаратына жоғары түседі. Пайда болатын қысымның өзгеруі ерітілген газды балқыманың тамшылары бетіне шығуға итермелейді және бұл ретте ұнтақ сфералық пішін мен ұсақ дисперсті құрылымын қамтамасыз ете отырып, тамшыларды ішінен «жарады» (9-сурет).



9 Сурет – Soluble gas atomization процесінің сұлбасы

Газды атомдау – бұл аддитивті технологиялар үшін металл ұнтақтарын өндірудің ең жиі қолданылатын тәсілі, себебі бұл әдіспен алынған ұнтақтардың дұрыс сфералық нысаны мен жақсы үйінді тығыздығы бар (10-сурет)



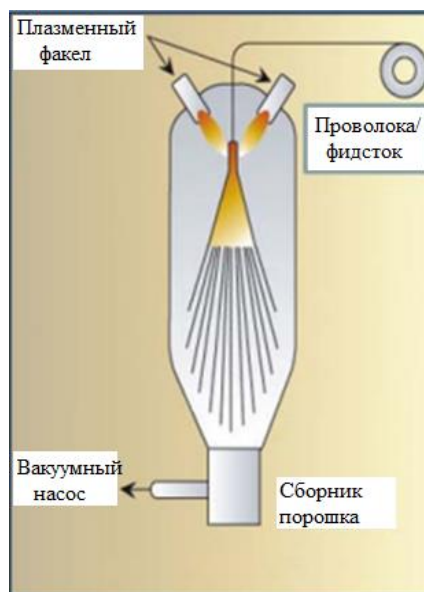
10 Сурет – Газды атомдау әдістерімен алынған ұнтақ бөлшектерінің сфералық формасы

Алынатын металл бөлшектерінің мөлшері, әдетте, 10-нан 100 мкм-ге дейін өзгереді. Бірақ қажетті мөлшердегі ұнтақтың шығуы, мысалы, 20-40 мкм, қайта өңделген материалдың жалпы санының тек 30% ғана құрайды [5]. Сонымен қатар, атомайзерлер өте ірі габаритті қондырғылар болып табылады және оларды қолдану үлкен кәсіпорындар үшін жүздеген және мың килограмм ұнтақ партияларын өндіру кезінде тиімді. Шағын кәсіпорындар үшін бұл жабдық құны жоғары болғандықтан, пайдалану күрделілігі, материалдың бір маркасынан екіншісіне өту кезінде қайта баптаудағы қиындықтар аз.

– плазмалық тозаңдану:

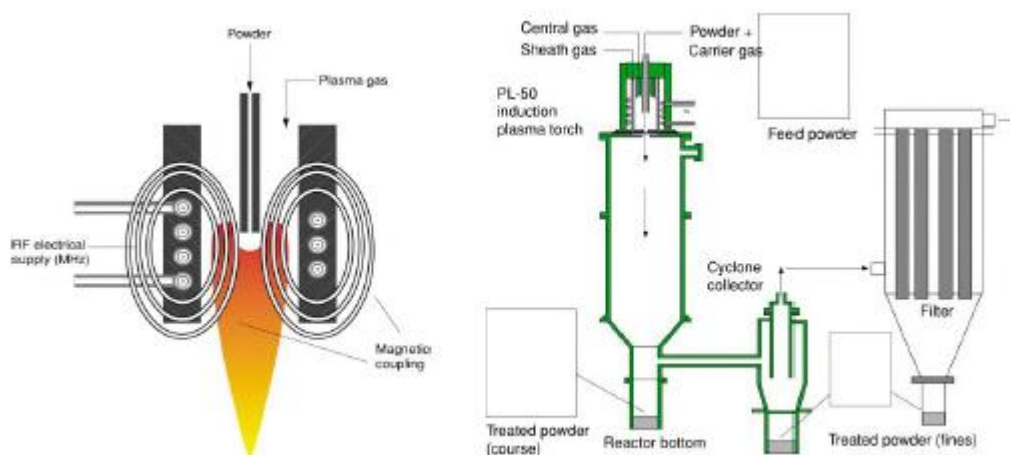
Газ атомизациясының бір түрі Plasma Atomization технологиясы болып табылады, ол MO, Ti, Ni, Ta и Co-Cr негізіндегі жоғары сапалы ерекше қорытпа ұнтағын фракциялық құрамның кең және басқарылатын диапазонында алуға мүмкіндік береді [4,5]. Плазмалық тозаңдату арнайы

қондырғыда жүзеге асырылады, онда бірнеше Плазматрон – иондалған газ ағынының генераторлары бар, металл шыбық түрінде жүргізілетін нүктеге тоғыстырылған. (11–сурет).



11 Сурет – Плазматрон

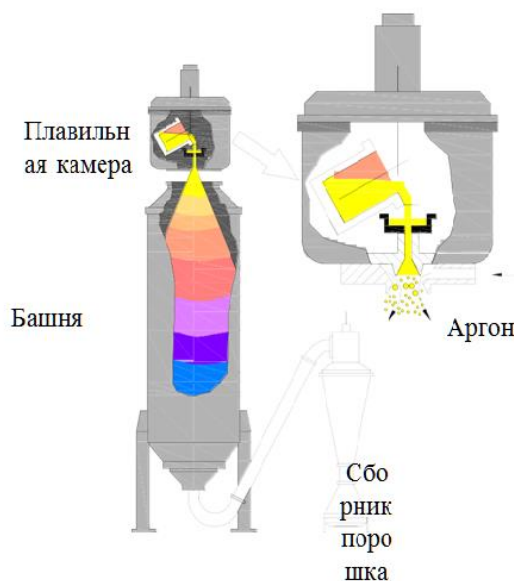
Бұл технология балқыманы диспергирлеу әдістерімен емес алынған ұнтақтардың морфологиясын өзгертуге немесе кондициялық емес ұнтақтардың геометриясын «түзетуге» (сфероидизация технологиясы) арналған. Процестің мәні (12-сурет) бастапқы «дұрыс емес» ұнтақ плазма ағымында өңделеді, соның нәтижесінде ұнтақ бөлшектері дұрыс сфералық формаға ие болады [9].



12 Сурет – Ұнтақты плазмалық өңдеу процесінің сұлбасы

#### 4 Газ атомайзері арқылы металл ұнтағын алудың технологиясы

Осы технологияға сәйкес металды балқыту камерасында балқытады (әдетте вакуумда немесе инертті ортада) және содан кейін қысыммен инертті газ ағысымен сұйық металл ағынын бұзу жүргізілетін арнайы бүріккіш құрылғы арқылы басқарылатын режимде құяды (13 – сурет). Аддитивті технологияларда жиі қолданылатын ұсақ ұнтақтарды ( $d = 10-40$  мкм) алу үшін VIM-атомайзерлер (Vacuum Induction Melting) деп аталатын пайдаланылады, онда балқыту камерасы оттегімен және азотпен балқыманың байланысын азайту үшін вакуумдалады.



13 Сурет – VIGA атомайзерінің сұлбасы

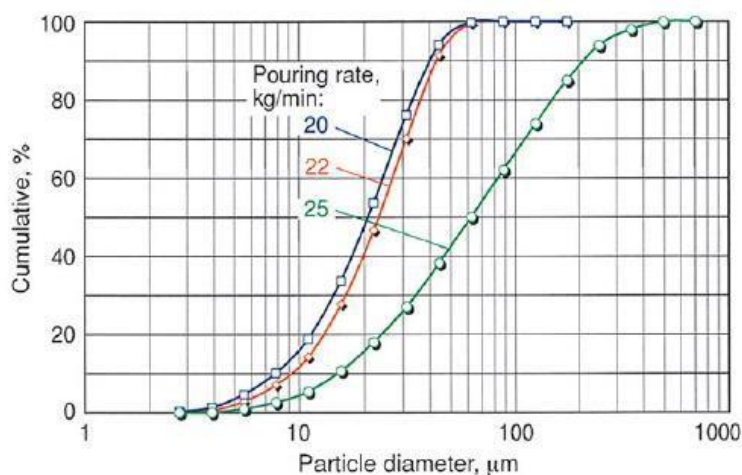
Вакуумдық балқытуға арналған машиналарды қолдану арқылы ұнтақтарды алу технологиясы VEGA-Vacuum Induction Melt Inert Gas Atomization деп аталады, яғни «Индукциялық қыздыру арқылы вакуумдық камерада балқытылған металды газ бүрку технологиясы». Бұрылмалы тиглдер де, түптік төгілген тиглдер де қолданылады. Балқыту үшін керамикалық немесе графитті тиглдерді пайдалануға болады. Балқытылған металл қысыммен инертті газды (әдетте аргон, кейде азот) шығаратын арнайы қабылдағышқа құйылады.

Металды тозаңдату процесі үш фазаға ие – бастапқы, жұмыс және қорытынды. Бастапқы фазада жүйе жұмыс режиміне шығады: металды құюға арналған клапан ашылады (ағысты тұрақтандыру үшін біраз уақыт қажет), тозаңдату газын беру қосылады, сонымен қатар металл мен тозаңдату газының саны арасындағы нақты белгілі бір ара қатынаста. Бұл фаза бірнеше секундқа созылады. Одан әрі металды төгу процесі тұрақтандырылатын және тозаңдатқыштағы металл мен аргон шығысының талап етілетін арақатынасына қол жеткізілетін жұмыс фазасы басталады. Жұмыс процесінің соңында (қорытынды фаза) тиглден металдың Шығу



жылдамдығы төмендейді, ағын параметрлері өзгереді және металл мен газ массасының арасындағы тепе-теңдік бұзылады. Бұл процесс бірнеше секундқа созылады. Бірінші және соңғы фазаларда ұнтақ кондициялық емес. Сондықтан жүйенің өнімділігі мен тиімділігін арттыру үшін атомдау циклі уақытының жалпы балансында жұмыс фазасының үлесін арттыру қажет.

Атомизация торабы-металдың тозаңдану процесі орын алатын жерде-бұл өте күрделі құрылғы, ол конструктивтік және технологиялық пайымдаулар бойынша өлшеммен орындалуы мүмкін емес, белгілі бір мөлшерден аз. Сапалы бүрку үшін белгілі бір ара қатынасы болуы тиіс металл шығыны мен газ шығыны арасындағы айырмашылық. Металдың минималды шығыны шамамен 8 кг/мин немесе шамамен 1,0 л/мин (болат бойынша). Сондықтан, егер атомайзердің көлемі 1,0-3,0 л тигелі болса, оны ұнтақтарды коммерциялық алу үшін пайдалану орынсыз. Барлық процесс жұмыс фазасында тозаңдануды тұрақтандыру үшін тым қысқа мерзімді болады және кондициялық ұнтақтың шығуы аз болады. Бұл зерттеу мақсаттары үшін қолайлы, бірақ коммерциялық пайдалану үшін тиімсіз. Ұнтақтарды өндіру үшін тигль көлемінің техникалық ұтымды төменгі шекарасы болып 5,0 л (болат бойынша шамамен 40 кг) саналады. Бұл жағдайда тозаңдану уақыты шамамен 5 минутты құрайды және жұмыс фазасының ұзақтығы шамамен 4,5 минутты құрайды(14–сурет).



14 Сурет – Төгу арнасы арқылы металдың шығынына байланысты ұнтақтың фракциялық құрамы (20, 22 және 25 кг/мин) [13]

Vega түріндегі атомайзерлер, атап айтқанда, келесі ұнтақтарды алу үшін қолданылады:

- авиациялық және стационарлық турбиналардың бөлшектері үшін никельді ыстыққа төзімді қорытпалар (мысалы, Inconel 718, Irene 88 және т. б.); медицинада, стоматологияда және ионды тозаңдату нысаналарын өндіруде пайдалануға арналған кобальт негізіндегі қорытпалар;

- плазмалық тозаңдандыруға арналған ұнтақтар (мысалы, NiCrAlY, CoCrAlY және т. б.);

- түйіршікті Металлургияға арналған ұнтақтар (мысалы, 17-4 PH, 316L) ;

- АМ - машиналарда қолдану үшін ұнтақты қабатта пісіруге арналған композициялар (мысалы, кобальт қорытпалары және қымбат металдар) ;

- карбидтердің өте жоғары құрамы бар жоғары қоспаланған болат (мысалы, аспаптық және жылдам кесетін Болат);

- түрлі қолдануға арналған түсті металдар (мысалы, мыс немесе қалайы қорытпалары).

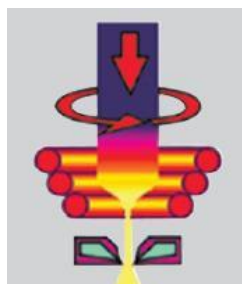
EIGA технологиясы (Electrode induction guide inert gas atomization – газ шашырауы бар электродты индукциялық балқыту) газ атомизациясының бір түрі болып табылады. Бұл технология реактивті металдар ұнтақтарын алу үшін әзірленген – Ti, Zr, Hf, V, Pt, Ir, Nb, Mo және т. б., өйткені бұл металдарды керамикалық тигельдерде балқыту тіпті вакуум жағдайында да қиын.

EIGA-атомайзерлер аргон ағысында бүрку әдісімен металл ұнтақтарды алу үшін қолданылады. Атомайзер конструкциясында металл құймаларға құю мүмкіндігі көзделуі мүмкін, яғни ол балқыту қондырғысы ретінде пайдаланылуы мүмкін.

EIGA технологиясына сәйкес (15–сурет ) электродтар түрінде алдын ала балқытылған шыбықтар (feed stock – шикізат, бастапқы материал) индукциялық балқытуға жатады.



а



б



в

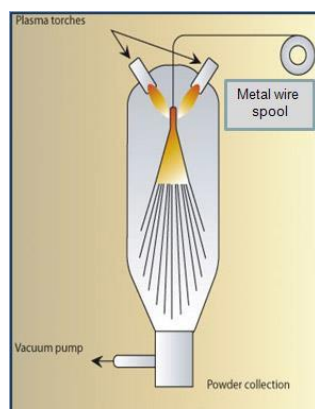
15 Сурет – EIGA технологиясы : а – ұнтақ алу үшін бастапқы материал (feedstock); б – процесс сұлбасы; в – EIGA процессі. ALD арқылы көрсетілген

Балқу баяу айналмалы электродты сақиналы индукторға түсірумен жүргізіледі (16–сурет). Металл тамшылары форсункалар жүйесіне түседі және инертті газбен шашырайды. Керамиканы пайдаланбай технология бойынша алынатын типтік материалдар tial, FeGd, FeTb, Zr және Cr сияқты баяу балқитын және белсенді материалдар болып табылады. EIGA технологиясы Fe, Ni және Co негізіндегі басқа да көптеген Конструкциялық материалдар үшін де қолданылуы мүмкін.

EIGA машиналарының жоғары емес бүрку жылдамдығы бар-шамамен 0,5 кг / с, алайда бір балқыту барысында материалдың үлкен көлемін-бірліктен он килограмға дейін жіберуге мүмкіндік береді.

## 5 Газ атомайзерінің құжаттамаларын зерттеу

Газ атомизациясының бір түрі Plasma Atomization технологиясы болып табылады, ол фракциялық құрамның кең және басқарылатын диапазонында Mo, Ti, Ni, Ta және Co-Cr негізіндегі жоғары сапалы ерекше таза қорытпа ұнтағын алуға мүмкіндік береді. Plasma Atomization технологиясында металл балқытуды плазма көмегімен өндіреді [14]. Мысалы, Raymor (Канада) компаниясының атомайзері үш Плазматрон – ионды газ ағынының генераторынан тұрады. Технологияның жетіспеушілігі - диаметрі 1-5 мм фидсток-шыбықтың арнайы өндірісінің болу қажеттілігі.



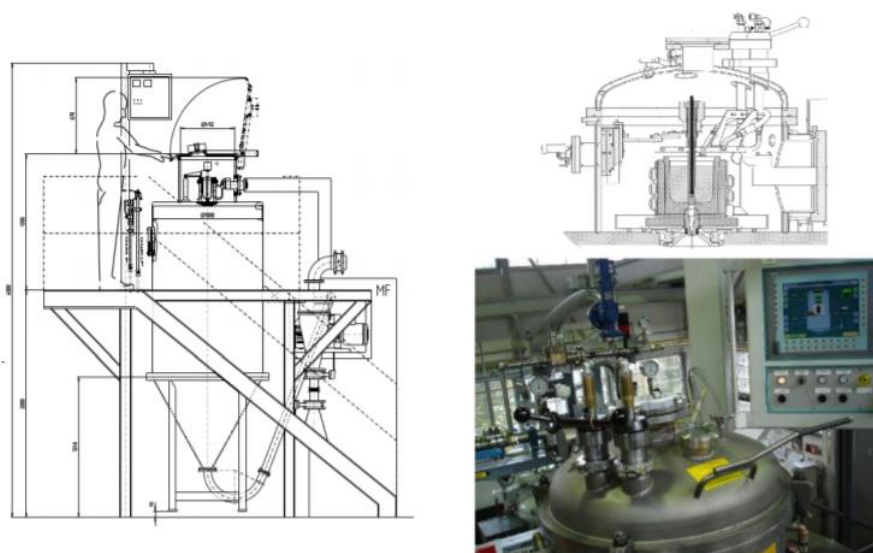
*a*



*б*

16 Сурет – Plasma Atomization технологиясы: а – плазмалық атомдау процесінің сұлбасы; б –Raymor атомайзері [15]

Газ атомизациясына арналған жабдықтар өндірісіндегі әлемдік көшбасшы-ALD компаниясы-қазіргі уақытта AMG Advanced Metallurgical Group N. V. тобына кіреді. ALD Vega 1-B, VEGA 2 зертханалық атомайзерлері (17 сурет) негізінен зерттеу мақсатында Болат ұнтақтары мен арнайы қорытпаларды алуға арналған.



17 Сурет – Атомайзер VEGA 2 және оның балқыту камерасы

ALD VEGA 1-B, VEGA 2 атомайзерлері әртүрлі конструкциялық болат, никель қорытпалары, кобальт, мыс және т. б. ұнтақтарының шағын партияларын алу үшін қолданылады. Тазартылған балқытпа алдын ала қыздырылған шағым бойынша газ форсункасына құйылады, онда металл жоғары қысыммен инертті газ ағысымен шашырайды. Алынған металл ұнтақ бүріккіш форсунканың астында орналасқан мұнарада еркін құлап қатады. Ұнтақ пен газдың қоспасы құбыр арқылы циклонды қондырғыға тасымалданады, онда ұнтақтың ірі және ұсақ фракциялары тозаңдататын газдан бөлінеді. Металл ұнтақ циклон қондырғысының астында орналасқан герметикалық контейнерлерге жиналады. Машина конфигурациясы әдетте инсталляцияның нақты жағдайларын ескере отырып Тапсырыс берушімен келісіледі. Ұнтақтарды коммерциялық алу үшін Vega-6 (болат бойынша 40 кг жуық) және VEGA-8 (50 кг) өнімділігі жоғары атомайзерлер ұсынылады. Шашырату дисперсиясы материалға байланысты және  $D_{50} = 15-60$  мкм шегінде түрленеді. Алынатын ұнтақтың фракциялық құрамы газ бүріккішінің және құю құрылғысының параметрлерін теңшеу арқылы түзетілуі мүмкін. ALD компаниясы сондай – ақ eiga технологиясы бойынша ұнтақты композицияларды алу үшін атомайзерлерді жасаушы болып табылады-инертті газды шашыратумен индукциялық балқыту. AGA 50 (18 сурет) және EIGA 100 базалық модельдері қолданылатын фидсток өлшемдерімен ерекшеленеді, тиісінше 50 және 100 мм.

VGA технологиясы  $D_{50} = 30$  мкм дисперсиялы металл ұнтақтарын (титан қорытпалары мен реактивті металдардан басқа) алуға мүмкіндік береді. EIGA технологиясы өте өндіргіш (екі ауысымды жұмыс кезінде күніне 500 кг дейін ұнтақ алынуы мүмкін) және бүріккіш металдар бойынша әмбебап, бірақ ұнтақтардың материалға байланысты  $D_{50} = 60-80$  мкм тең бөлшектер өлшемі болады (19-сурет).

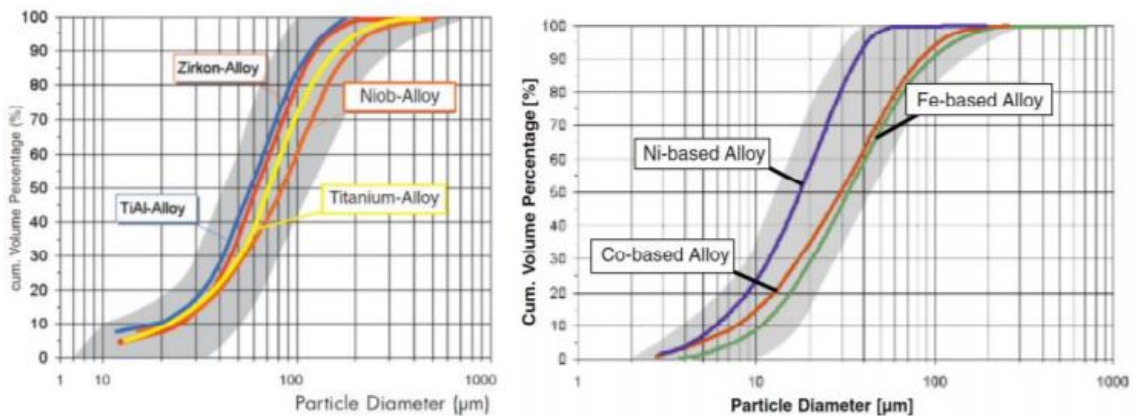




а

б

18 Сурет – EIGA 50 атомайзері: а) жалпы түрі; б) балқыту камерасы



а

б

19 Сурет – Келесі технологиялар бойынша алынған әр түрлі қорытпалар ұнтақтарының фракциялық құрамы: а) VIGA; б) EIGA

VEGA және EIGA қондырғыларында алынған металл ұнтақты композициялар дәстүрлі Ұнтақты металлургия мақсатында, атап айтқанда PIM-технологияларда пайдаланылуы мүмкін. PIM-Powder Injection Molding жалпы термині-ұнтақты материалдарды алдын ала пластификациялау (байланыстырғыш құрамның көмегімен) және арнайы термоөңдеу арқылы қалыптау технологиясын білдіреді

## ҚОРЫТЫНДЫ

Таңқаларлық іс, бірақ біз сіздермен бірге темір ғасырда өмір сүріп жатқанымызды және темір материалдардың орнына келетін жаңа материалдар , бұйымдар жасаудың жаңа қағидаттары туралы мәлім болды. Ол жақын арада ешқайда кетпейді, және темір ғасыры екі затты білдіреді, бұл материал және бұл металдарды өңдеу технологиясы. Осы темір ғасыры шамамен соңғы үш жарым мың жыл бойы созылды және осы уақыт ішінде материалды өңдеу технологиясының саны ұлғайған жоқ, өзгерген жоқ, бірақ бір кездері құюшылар жебелердің ұштарын құйды, сондай-ақ осы уақытқа дейін құю бүкіл әлемде кеңінен қолданылады, және өнеркәсіп негізінен сол құю және кесу бойынша салынған. Алдымен бір нәрсе құйылады, содан кейін ол кесіледі, мүмкін ол деформацияланады, бұл техникалық шегеру деп аталады, бірақ соңғы 10-15 жылда жаңа технологиялар кешені дамыды, бұл шегеру емес, бұл техникалық қосулар немесе аддитивті технологиялар

Құю, кесу технологиясынан айырмашылығы—аддитивті өндіріс материал қосуға салынған. Бұйымдар металл ұнтағын немесе металл сымын немесе металл балқымасын қажет жерге қосу арқылы жасалады. Мұндай тәсіл бір жағынан материалды өте жақсы үнемдейді, екінші жағынан ол процестің өнімділігін мүлдем революциялық түрде арттыруға мүмкіндік береді. Бұрын айлар жасаған нәрсе қазір бірнеше сағат ішінде жасалуы мүмкін. Ал үшіншіден, аддитивті технологияларды басқа технологиямен алу мүмкін емес нәрсе береді—бұл ешқандай дәстүрлі технологияларды принципті түрде жасай алмаған формадағы бұйымдарды жасау мүмкіндігі. Мен қазір жазған нәрсе жалпылама болып табылады, өйткені соңғы жылдары аддитивті технологиялар көп айтылып жүр, бірақ жалпы орыннан нақты іске асыруға дейін әлі де алыс. Бұл өтуге болатын жолдың барын білдіреді. Осы жолда жүріп өті қызыққа толы. Бұл жолды таңдайтындарды тек рухтың шытырман оқиғасы ғана емес, сонымен қатар жеңістің шынайы қызықты өмірлік жеңілісін күтеді

Қазір адамзат пайдаланатын аддитивті технологияларға қабат өсіру технологиясы жатады. Бұл технологияларға арналған материал ұнтақ түрінде дайындалады, содан кейін осы ұнтақтардан жұқа қабаттар жасалады. Материал балқытылатын жұқа қабаттарда, немесе жаңа қабат балқытылуы, немесе ескі қабатқа пісірілуі үшін жай қызады. Содан кейін өңделген қабат жаңа қабатпен жабылады және процесс қайталанады. Механикалық өңдеу дәлдігінен кем емес шын мәнінде өте жоғары дәлдікпен еркін пішінді өнімдерді өсіруге болады.

## ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Rapid Prototyping Journal. Emerald Group Publishing, 1995–2012.
2. Ермаков С.С., Ермаков Б.С., Сулейменов Э.А., Протопопов А.В., Абдалиев М.А. Порошковые материалы - Алма-Ата: Изд-во Гылым, 1991. - 344 с.
3. Ермаков, Б.С. Металлургия и металловедение технологических процессов в машиностроении / Б.С. Ермаков – СПб.: Университет ИТМО, 2013. – 312 с.
4. Зленко М. А., Попович А. А., Мутылина И. Н. Аддитивные технологии в машиностроении. – СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2013. – 222 с.
5. Erasteel. Metal powders for additive manufacturing [Электронный ресурс].–Режим доступа: <http://www.erasteel.com> – Introduction to additive manufacturing technology.– (Дата обращения 10.02.2016).
6. Murr, L.E. Metallurgy of additive manufacturing: Examples from electron beam melting / L.E. Murr // Additive manufacturing.–2015.–№5.–Р.40–53.
7. Компания Raymor. Интернет-сайт компании Raymor. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<http://www.raymor.com>. – (Дата обращения 20.04.2016).
8. Компания НЕТРАММ. Интернет-сайт компании НЕТРАММ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.netramm.com>. – (Дата обращения 20.04.2016).
9. Donachie, M.J. Superalloys: A Technical Guide, 2nd Ed. / M.J. Donachie, S.Donachie. – ASM International, 2002. – 438 p.
10. Fngelo H.C. Powder Metalurge: Science, technology and application / H.C. Fngelo, R. Subramanian. – New Dehli, 2009.
11. Liu Lujia Atomization mechanism of a charged viscoelastic liquid sheet / Liu Lujia , Liu Yingjie, Lu Lipeng // Chinese Journal of Aeronautics. – 2015.–№28(2).–Р.403–409.
12. Boulos M. Plasma power can make better powders / M.Boulos // Metall powder report.–2004. – Vol.59 – Issue 5.– P. 16–21.
13. Hohmann M., Brooks G., Spiegelhauer C. Production methods and applications for high-quality metal powders and sprayformed products. Produktionsmethoden und Anwendungen fur qualitativ hochwertige Metallpulver und spruhkompaktierte Halbzeuge. Stahl und Eisen. – 2005.
14. Kovaleva I.O., Kovalev O.B. Simulation of the acceleration mechanism by light-propulsion for the powder particles at laser direct material deposition. Khristianovich's Institute of Theoretical and Applied Mechanics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia/ Optics and Laser Technology, Volume 44, Issue 3. P. 714-725.



15.Осокин Е. Н. Процессы порошковой металлургии. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: курс лекций / Е. Н. Осокин, О. А. Артемьева. – Электрон. дан. (5 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, 2008.