

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

Зарчинасов Гиесбек Халмахамматович

«3D басып шығаруды металлургияда қолдану»

Дипломдық жобаға

ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

5B071200 – Машина жасау

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

Кафедра меңгерушісі

PhD д-ф, қауым. профессор

_____ Арымбеков Б.С.

« ____ » _____ 2020 ж.

Дипломдық жобаға

ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

Тақырыбы: «3D басып шығаруды металлургияда қолдану»

5B071200 – Машина жасау

Орындаған

Зарчинасов Гиесбек Халмахамматович

Ғылыми жетекші,

_____ Дүйсенғали А. М.

« ____ » _____ 2020 ж.

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

5B071200 – Машина жасау

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі

PhD д-ф, қауым. профессор

_____ Арымбеков Б.С.

« ____ » _____ 2020 ж.

**Дипломдық жоба орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Зарчинасов Гиесбек Халмахамматович

Тақырыбы «3D басып шығаруды металлургияда қолдану»

Университет ректорының «__» _____ 20__ ж. №_____ бұйрығымен
бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «__» _____ 20__ ж.

Дипломдық жобаның бастапқы берістері 3D басып шығаруды металлургияда
қолдануын зерттеу

Дипломдық жобада қарастырылатын мәселелер тізімі

а) *Аддитивті өндірістің технологиялық циклі*

б) *Ұнтақ материалдарын алу әдістері*

в) *Газды атомизациялау*

Ұсынылған негізгі әдебиет: *20 атау*

Дипломдық жобаны дайындау
КЕСТЕСІ

| Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәліметтер тізімі | Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері | Ескерту |
|--|--|---------|
| Кіріспе. Аддитивті технологияларды өнеркәсіптік қолдану мен дамытудың теориялық-әдістемелік аспектілерін зерттеу | | |
| Ұнтақ материалдарын алу әдістері | | |
| Газды атомизациялау | | |
| Селективті лазерлік балқыту | | |

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 _____ Дүйсенғали А. М.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы _____ Зарчинасов Г. Х.

Күні «___» _____ 2020 ж.

АҢДАТПА

Бірінші тарауда аддитивті технологиялар нарығының құрылымы, АП қондырғылары мен бағдарламалық жасақтаманың негізгі шетелдік өндірушілері, осындай технологияларды белсенді енгізетін салалар және өндіріс процесіне АТ-ны тараулардың артықшылықтарын қарастырылды. Жылдам прототиптеу тұжырымдамасы қарастырылған, аддитивті технологиялардың әр түрлі жіктелімдері, дәстүрлі өндірістік технологиялармен салыстырғанда АТ артықшылықтары, жобалау сатысынан дайын өнімді өсіруге дейінгі аддитивті процестің принципі және АТ таңдаудың негізгі өлшемдері қарастырылған.

Екінші тарауда материалдың қабат-қабат басу процестеріне қатысты ұнтақ материалдарына қойылатын талаптар, металл ұнтақтарын өндірудің негізгі технологиялары сипатталған. EIGA газдандыру процесі SLM қондырғыларында қолданылатын ұнтақтарды өндіруге өте қолайлы. Ортадан тепкіш атомизация PREP процесі SLM технологиясында қолданылатын жоғары сапалы ұнтақтарды шығаруға қабілетті. Металл бұйымдарын қабат-қабат қабаттастыру принципіне байланысты металл бұйымдарын қоспалық өндірудің негізгі технологиялары ұсынылған, оған SLM процестері кіреді. Бұл процестердің артықшылықтары мен кемшіліктері келтірілген, осы процестердің техникалық сипаттамалары бір-бірімен салыстырылған. Қоспаларды өндіру процесінде туындайтын негізгі ақаулардың пайда болу тетіктері де көрсетілді, оған тері тесігі мен флокстың пайда болуы, толқынды бет құрылымы және калдық кернеудің болуы жатады.

АННОТАЦИЯ

В первой главе рассмотрены структура рынка аддитивных технологий, основные зарубежные производители оборудования и программного обеспечения, отрасли, активно внедряющие такие технологии, и преимущества глав ИТ в производственный процесс. Кроме того, в соответствии с п. 1 ст. 9 Закона РК "О государственном контроле и надзоре в Республике Казахстан" от 6 января 2011 года № 377-IV (далее-закон), при осуществлении контроля и надзора за соблюдением законодательства Республики Казахстан О государственном контроле и надзоре в Республике Казахстан в области контроля и надзора за соблюдением законодательства Республики Казахстан О государственном контроле и надзоре в Республике Казахстан,

Во второй главе описаны требования к порошковым материалам относительно процессов слоистого прессования материала, основные технологии производства металлических порошков. Процесс газификации EIGA идеально подходит для производства порошков, используемых в установках SLM. Процесс центробежной атомизации PREP способен производить высококачественные порошки, используемые в технологии SLM. В зависимости от принципа слоистой оболочки металлических изделий представлены основные технологии комбинированного производства металлических изделий, которые включают в себя процессы SLM. Приведены преимущества и недостатки этих процессов, технических характеристиках этих процессов друг с другом в годы советской власти. Показан механизм образования основных дефектов, возникающих в процессе производства смесей, к которым относятся образование кожного отверстия и флокса, структура волновой поверхности и наличие остаточного напряжения.

ANNOTATION

The first Chapter examines the structure of the market for additive technologies, the main foreign manufacturers of hardware and software, the industries that are actively implementing such technologies, and the advantages of using it in the production process. In addition, in accordance with paragraph 1 of article 9 of the Law of RK "On state control and supervision in the Republic of Kazakhstan" of January 6, 2011 № 377-IV (hereinafter-the law), in exercising control and supervision over observance of the legislation of the Republic of Kazakhstan On state control and supervision in the Republic of Kazakhstan in the field of control and supervision over observance of the legislation of the Republic of Kazakhstan On state control and supervision in the Republic of Kazakhstan,

The second Chapter describes the requirements for powder materials regarding the processes of layered material pressing, the main technologies for the production of metal powders. The EIGA gasification process is ideal for the production of powders used in SLM installations. The prep centrifugal atomization process is capable of producing high-quality powders used in SLM technology. Depending on the principle of the layered shell of metal products, the main technologies of combined production of metal products, which include SLM processes, are presented. The advantages and disadvantages of these processes, technical characteristics of these processes with each other in the years of Soviet power are given. The mechanism of formation of the main defects that occur during the production of mixtures, which include the formation of a skin opening and Phlox, the structure of the wave surface and the presence of residual stress, is shown.

МАЗМҰНЫ

| | |
|--|----|
| Кіріспе | 9 |
| 1 Аддитивті технологияларды өнеркәсіптік қолдану мен дамытудың теориялық-әдістемелік аспектілері. | 10 |
| 1.1. Аддитивті технологияларды тарату және қолдану және олардың жаһандану жағдайындағы экономикалық дамуындағы рөлі. | 10 |
| 1.2 Аддитивті технологияның қазіргі техникалық жағдайы | 11 |
| 2 Аддитивті өндірістің технологиялық циклі | 14 |
| 2.1 Ұнтақ материалдарының сипаттамасы және оларға қойылатын жалпы талаптар | 14 |
| 2.2 Ұнтақ материалдарын алу әдістері | 15 |
| 2.3 Газды атомизациялау | 17 |
| 2.4 Ортадан тепкіш атомизация | 20 |
| 3 Тәжірбиелік сипаттау | 24 |
| 3.1 Селективті лазерлік балқыту | 24 |
| Қорытынды | 36 |
| Пайдаланылған әдебиеттер тізімі | 37 |

КІРІСПЕ

Аддитивті технология - бұл қарқынды дамып келе жатқан сала. Аддитивті технологиялар нарығы АП қондырғыларын, тапсырыс беру үшін немесе өз қажеттіліктеріңіз үшін модельдер мен бөлшектерді жасауды қамтиды.

3D принтер - сандық 3D моделі бойынша физикалық нысанды қатпарлы жасау әдісін пайдаланатын құрылғы. 3D-басып шығару әр түрлі тәсілдермен және әр түрлі материалдарды пайдалана отырып жүзеге асырылуы мүмкін, бірақ олардың кез келгенінің негізінде қатты нысанды қабаттап басу (өсіру) принципі жатыр. Аддитивтің индустриясына арналған негізгі анықтамалар ASTM F2792.1549323-1-де жасалған. Осы құжаттағы аддитивті технологиялар терминін «өндіріс технологиясынан айырмашылығы, 3D CAD моделіне сәйкес физикалық нысандарды синтездеуге арналған материалдарды, әдетте қабатты принцип бойынша біріктіру процесі» деп аударуға болады [1].

Ұнтақты материалдарды алу мәселесі тек АТ дамуымен ғана емес, классикалық ұнтақты металлургиямен де байланысты. Металл ұнтақтарын өндірудің кең таралған әдістеріне металл оксидтерін азайту, балқыманың дисперсиясы (атомизациясы), автоклав және карбонилді әдістер, сулы және тұзды ерітінділердің электролизі, диффузды қанықтыру және механикалық ұнтақтау жатады [16]. Соңғы өнім ретінде ұнтақтарды өндірудің тұжырымдамалық схемасы 2.1 суретте келтірілген. АТ-ға арналған титан қорытпаларынан жасалған металл ұнтақтарын өндірудің негізгі үлесі шикізатты химиялық құрамда айтарлықтай өзгеріссіз конверсиялау әдістерінен тұрады, ең өнімді, үнемді және алынған ұнтақ құрамына берілген параметрлерді балқытылған дисперсия әдісімен қамтамасыз етеді. Қоспалы өндіріске арналған барлық ұнтақтардың 80% -дан астамы балқымалық дисперсия әдісімен алынады. Мұндай ұнтақтарды өндірудің негізгі технологиялары газ және ортадан тепкіш атомизация болып табылады, олардың ең көп қолданылатын технологиялары кейінірек берілетін болады [1]

1 Аддитивті технологияларды өнеркәсіптік қолдану мен дамытудың теориялық-әдістемелік аспектілері.

1.1. Аддитивті технологияларды тарату және қолдану және олардың жаһандану жағдайындағы экономикалық дамуындағы рөлі.

Аддитивті технология - бұл қарқынды дамып келе жатқан сала. Аддитивті технологиялар нарығы АП қондырғыларын, тапсырыс беру үшін немесе өз қажеттіліктеріңіз үшін модельдер мен бөлшектерді жасауды қамтиды.

3D принтер - сандық 3D моделі бойынша физикалық нысанды қатпарлы жасау әдісін пайдаланатын құрылғы. 3D-басып шығару әр түрлі тәсілдермен және әр түрлі материалдарды пайдалана отырып жүзеге асырылуы мүмкін, бірақ олардың кез келгенінің негізінде қатты нысанды қабаттап басу (өсіру) принципі жатыр. Қабаттарды жасау үшін қолданылатын технологиялар:

Лазерлік:

1. Лазерлік стереолитография-ультракүлгін лазер бірте-бірте, пиксельдегі пиксель, сұйық фотополимерді жарықтандырады немесе фотополимер жаңа қабатпен өзгертін фотошаблон арқылы ультракүлгін шаммен жарықтандырылады. Бұл ретте сұйық полимер қатайтады және жеткілікті берік пластиктен айналады.

2. Лазерлік қорытпа — бұл ретте лазер металдан немесе пластиктен жасалған ұнтақты, қабатты, болашақ бөлшектің контурына ерітеді.

3. Ламинирлеу-бөлшек жұмыс материалының көп қабаттарынан жасалады, олар біртіндеп бір - біріне жапсырылады және желімделеді, бұл ретте лазер болашақ бөлшектер қимасының әрбір контурында кеседі

Ағынды:

1. Ұнтақ тәрізді материалдарды желімдеу немесе жентектеу — лазерлік жентектеуге ұқсайды, тек ұнтақ негізі (ұсақталған қағаз немесе целлюлоза негізінде кейде) ағынды бастиектен түсетін сұйық (кейде желімдеуші) затпен жабыстырылады. Сонымен қатар, әр түрлі түсті заттарды пайдалана отырып, бөлшектің бояуын басуға болады. 3D принтерлерінің үлгілері бар.

2. Биопринтерлер - болашақ объектінің 3D-құрылымын басып шығару (ауыстырып отырғызуға арналған орган) бағаналы торлармен жүргізіледі. Бұдан әрі жасушалардың бөлінуі, өсуі және модификациясы объектінің түпкілікті қалыптасуын қамтамасыз етеді

Бұл дипломдық жұмыстың негізгі мақсаты, металлургия саласындағы 3D принтерлердің үлесін зерттеу болып табылады. Яғни металлургия саласындағы кез келген бұйымды белгілі бір қалыпқа құйу, және оның қосымша озіне тән қызметтермен іске асырылады. Бұл дипломдық жұмыста,

осы металлургия саласындағы қалыптарды аддитивті технологиямен басып шығу болып табылады.

1.2 Аддитивті технологияның қазіргі техникалық жағдайы

"3D Systems" компаниясында өткен ғасырдың 80 - ші жылдардың соңында үш өлшемді баспаның алғашқы заманауи технологиясы пайда болды, ол стереолитография (SLA-процесс) принципін іске асырды [1]. Аддитивтің индустриясына арналған негізгі анықтамалар ASTM F2792.1549323-1-де жасалған. Осы құжаттағы аддитивті технологиялар терминін «өндіріс технологиясынан айырмашылығы, 3D CAD моделіне сәйкес физикалық нысандарды синтездеуге арналған материалдарды, әдетте қабатты принцип бойынша біріктіру процесі» деп аударуға болады [1].

Айта кету керек, мысалы, Құю өндірісі, ұнтақты нығыздау, дайындамаларды механикалық өңдеу сияқты дәстүрлі үдерістердің арасында барлығы субтрактивті емес.

Бұдан әрі аддитивті технологиялардың жіктелуі келтірілген [1].

Материалды қосу принципі бойынша:

- материалды энергия тасығышты жеткізу орнына тікелей салу;
- материалды қабаттап тұндыру, кейін жекелеген контурларды өңдеу.

Қабатты бекіту әдісі бойынша:

- фотополимеризация;
- желімдеу;
- қорытпа/пісіру.

Өсіру үшін қолданылатын материалдардың түрі бойынша:

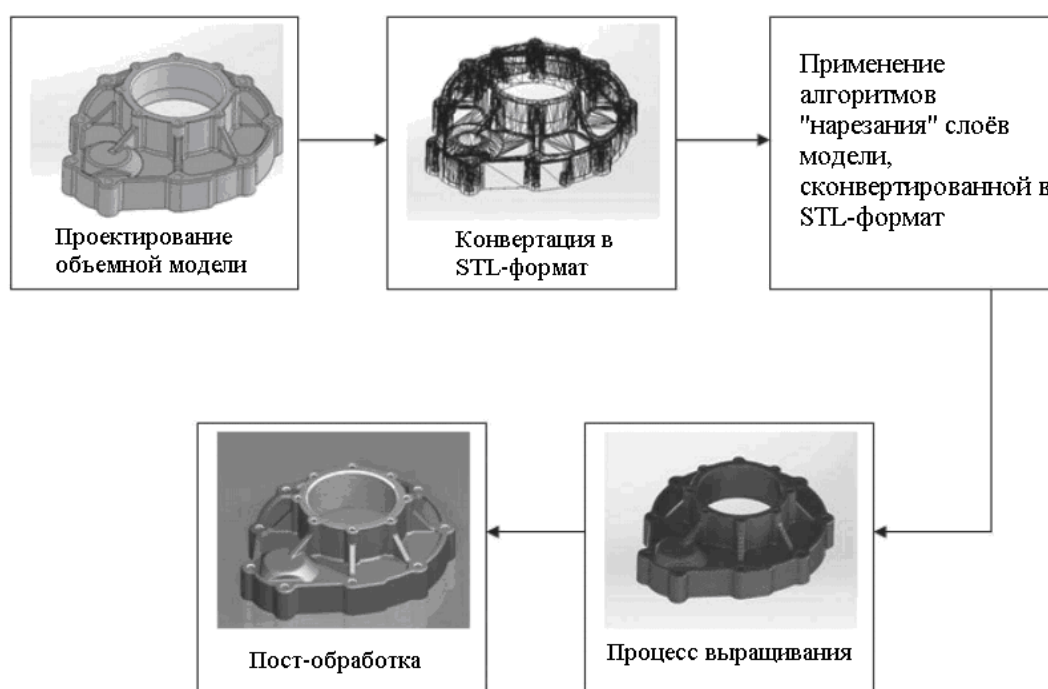
- сұйық (акрил және эпоксидті фотополимерлер);
- сусымалы (полимерлер, құмдар, металл ұнтақтары);
- шыбық және табақ (полимерлер, металдар және ағаш талшық)

Аддитивті технологиялардың негізгі артықшылықтары [6-9]:

1. Күрделі геометриялық конфигурация өнімдерін өндірудің мүмкіндігі, соның ішінде ішкі каналдармен және қуыстармен, бетінің үлкен ауданымен, аз көлемде;
2. құрал-саймандық жарақтар мен құю формаларын дайындау қажеттілігінің болмауы;
3. материалдар мен өндірістік қалдықтардың шығындарын азайту;
4. шикізатты жеткізу уақытын қысқарту, қойма көлемін азайту;
5. жеке және шағын өндірістегі орындылығы;

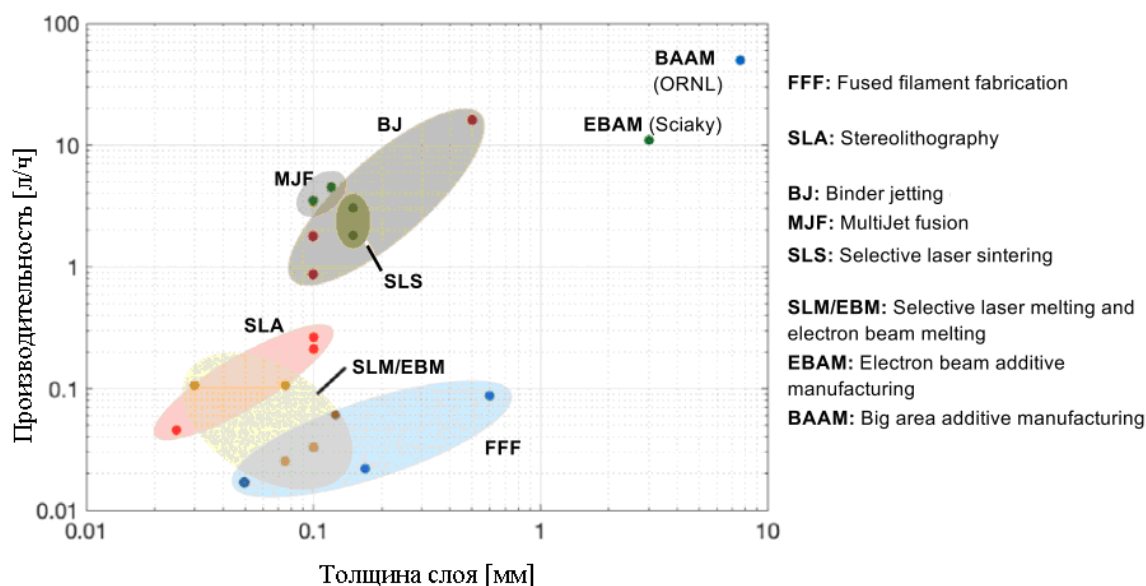
6. құрылған тораптар мен жинақтардың құрамдас бөліктерін азайту;
7. технологиялық операциялардың санын азайту, процесті автоматтандыру, өндірістің күрделілігі мен уақытын азайту.

Аддитивті өндірістің барлық процесі келесі кезеңдерден тұрады: көлемді модельдеуге арналған бағдарламалық құралдарды қолдану арқылы бөліктің 3D моделі жасалынған; компьютерлік көлемді модель жалпы қабылданған STL форматына ауыстырылады, кіру нүктесінің орнату жадына жүктеледі; Орнату бағдарламалық жасақтамасы өндіріс процесі басталғанға дейін виртуалды үлгіні қажетті қалыңдықтағы қабаттарға бөледі (әр өндіруші үшін кесу алгоритмдері өздерінің бағдарламалық алгоритмдері негізінде жүзеге асырылады және патенттелген); содан кейін деректерге негізделген өнімді көбейту процесі жүреді (бөлімнің «қатты» бөліктері өңделеді). Бұл аддитивті принципті сипаттайтын объектілерді жасауға осындай дәйекті, көп деңгейлі тәсіл. Өсіру процесі аяқталғаннан кейін, қажет болған жағдайда, өндеуден кейінгі әрлеу жүзеге асырылады [10]. Процестің кезеңдері 1.2 суретте көрсетілген.



1.2-сурет - Өнімді өсіру процесінің кезеңдері [10]

Қазіргі заманғы АП технологиялары өнімділігімен де, қабат тұзу принциптерімен де, қолданылатын материалдармен де, процесте қолданылатын энергия көздерімен де ерекшеленеді. Бұл технологиялар схемалық түрде 1.3-суретте жіктелген.



1.3-сурет - Аддитивті өндірістің кейбір процестерінің орындалуы [11]

Аддитивті технологиялар дәстүрлі өндірістік технологияларға қарағанда бірнеше артықшылықтарға ие.

- АП технологиясын таңдау келесі өлшемдер бойынша талдау негізінде жүзеге асырылады [1]:
- сатып алу құны;
- өнімділік;
- үлгі бетінің сапасы;
- бөлшектену дәрежесі (ұсақ фрагменттерді салу қабілеті);
- дәлдігі;
- кейінгі өңдеудің күрделілігі;
- модельдік материалдың тұрақтылығы;
- негізгі компоненттерді ауыстырмас бұрын қондырғының қызмет мерзімі
- модельдік (құрылыс және көмекші) материалдардың құны;
- шығын материалдары мен қосалқы бөлшектердің сенімділігі мен жеткізілу уақыты;
- аймақта техникалық қолдауды дамыту;
- машинаға ағымдағы техникалық қызмет көрсету құны;
- Машинаның сенімділігі мен беріктігі;
- ауыстыру немесе күрделі жөндеу алдында негізгі компоненттердің қызмет ету мерзімі;

2 Аддитивті өндірістің технологиялық циклі

2.1 Ұнтақ материалдарының сипаттамасы және оларға қойылатын жалпы талаптар

Ұнтақ дегеніміз - бөлшектердің мөлшері 1 мм дейінгі сусымалы материалдар. Ұнтақтар шартты диаметрі d бойынша жіктеледі, олар мыналарға бөлінеді:

- нанодисперседті ($d < 0,001$ мкм);
- Ультрадисперсті ($d = 0,01 - 0,1$ мкм);
- жоғары дисперсті ($d = 0,1-10$ мкм);
- ұсақ ($d = 10-40$ мкм);
- орташа ($d = 40-250$ мкм);
- үлкен ($d = 250 - 1000$ мкм).

Салыстырмалы түрде жақында, аддитивті технологияда қолданылатын металл ұнтағы композицияларына жалпы талаптар пайда болды, дегенмен, аддитивті өндірісінде зауыттарының кейбір өндірушілері компаниялардың өздері жеткізетін материалдардың белгілі бір тізімімен жұмыс жасауды ұсынады. Әр түрлі өсімдіктер әртүрлі фракциялық құрамдағы ұнтақтарды пайдаланады, өйткені әртүрлі өндірушілердің ұнтақтарында жұмыс жасау кезінде әртүрлі сападағы өнімдерді алу қаупі жоғары. Алайда, басқа өндірушілердің металл ұнтақтарын қолдануға мүмкіндік беретін құрылғылар қазірдің өзінде бар [1].

Мысалы, Arcam қондырғылары үшін (EBM процесі) бөлшектердің мөлшері 45-тен 100 микронға дейін. SLM процесі үшін бөлшектердің типтік диапазоны: 10 - 45 мкм. Әр түрлі жеткізушілердің күшті және әлсіз жақтары 2.1 кестеде келтірілген. Аддитивті технология үшін ұнтақтарға жалпы және өте маңызды талаптардың бірі - бөлшектердің сфералық формасы, өйткені олар берілген көлемге ықшам түрде енеді және минималды қарсылықпен сұйықтықты қамтамасыз етеді [1].

2.1 кесте - әр түрлі жеткізушілерден ұнтақ материалдарын сатып алудың артықшылықтары мен кемшіліктері [14]

| түрі | Артықшылықтары | Кемшіліктер |
|---------------------------|---|-------------------------------|
| Қондырғы өндірушісі АП | Қондырғының стандартты параметрлері қолдануға дайын болуын қамтамасыз етеді | Ұнтақ шикізатының жоғары құны |

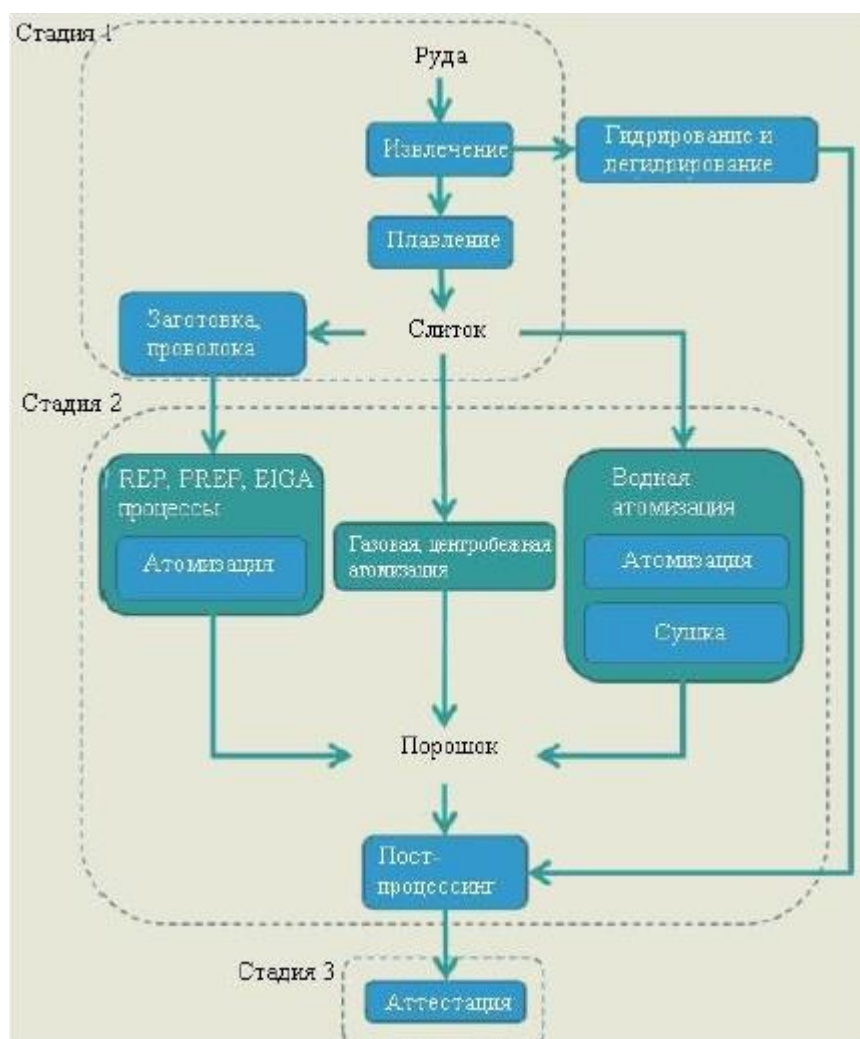
| | | |
|---------------------------------|---|--|
| | Ұнтақ қондырғыларда сыналған және тексерілген | Шектеулі материалдық ассортимент |
| | Шикізаттың сапасына сәйкес келмеген кездегі кепілдік қолдау | Бөгде өндірушілердің ұнтақтарымен араластыру мүмкіндігі жоқ |
| | Іздеу оңай | Қорытпаны және ұнтақты өндіруге арналған руданың технологиялық негізінің болмауы |
| | Сатып алудың дайын бағыттары | |
| Тексерілген жеткізушілер бөгде | Қол жетімді диапазоннан ұнтақ материалдарын таңдау | АП қондырғыларын өндірушіге кепілдік қолдауының болмауы |
| | Сатып алынған партиялардың кең спектрі | Материалдардың ықтимал жоғары құны |
| | Ұнтақ қондырғыларда сыналған | |
| | Жеткізушілерді кең таңдау | |
| Ұнтақты материалдар өндірушілер | Қорытпалардың бай ассортименті | АП қондырғыларын өндірушіге кепілдік қолдауының болмауы |
| | Шикізаттың төмен құны (қорытпа мен АП процесіне байланысты) | Тұрақты өсу процесінің ықтималдығын азайту |
| | Ұнтақты өндірудің нақты процесін таңдау | Өндіріс стандарттарының ықтимал бұзылуы |

| | | |
|--|---|--|
| | Жергілікті өндірушіден сатып алу мүмкіндігі | |
| | Материал сапасын бақылаудың жоғары деңгейі | |

Легірлеуге арналған металл ұнтақтары жабындарда, отта немесе плазмалық металдауда кеңінен қолданылады. Алайда, АП металл ұнтақтарына қойылатын талаптар, ең алдымен, бөлшектердің мөлшеріне, формасына және химиялық құрамына байланысты, процестің табыстылығын, тұрақтылығын қамтамасыз етеді, сондай-ақ ұнтақты басқа циклдарда қайта пайдалануға байланысты. Дәстүрлі әдістермен алынған ұнтақтар, мысалы, судың атомизациясы, бұрыштық емес нысанда, болуы мүмкін, ол АП үшін мүлдем жарамсыз. Қазіргі уақытта АП үшін жарамды ұнтақтар пішіні сфералыққа жақын болуы керек. Бұл қабаттардың неғұрлым тығыз және ықшам қалыптасуын және материалды кедергісіз жеткізуді қамтамасыз етеді [15]. Сонымен қатар, белгілі бір ақаулардың пайда болуын болдырмас үшін ұнтақ материалдарындағы ылғалдылық 3% -дан аспауы керек.

2.2 Ұнтақ материалдарын алу әдістері

Ұнтақты материалдарды алу мәселесі тек АТ дамуымен ғана емес, классикалық ұнтақты металлургиямен де байланысты. Металл ұнтақтарын өндірудің кең таралған әдістеріне металл оксидтерін азайту, балқыманың дисперсиясы (атомизациясы), автоклав және карбонилді әдістер, сулы және тұзды ерітінділердің электролизі, диффузды қанықтыру және механикалық ұнтақтау жатады [16]. Соңғы өнім ретінде ұнтақтарды өндірудің тұжырымдамалық схемасы 2.1 суретте келтірілген. АТ-ға арналған титан қорытпаларынан жасалған металл ұнтақтарын өндірудің негізгі үлесі шикізатты химиялық құрамда айтарлықтай өзгеріссіз конверсиялау әдістерінен тұрады, ең өнімді, үнемді және алынған ұнтақ құрамына берілген параметрлерді балқытылған дисперсия әдісімен қамтамасыз етеді. Қоспалы өндіріске арналған барлық ұнтақтардың 80% -дан астамы балқымалық дисперсия әдісімен алынады. Мұндай ұнтақтарды өндірудің негізгі технологиялары газ және ортадан тепкіш атомизация болып табылады, олардың ең көп қолданылатын технологиялары кейінірек берілетін болады [1].



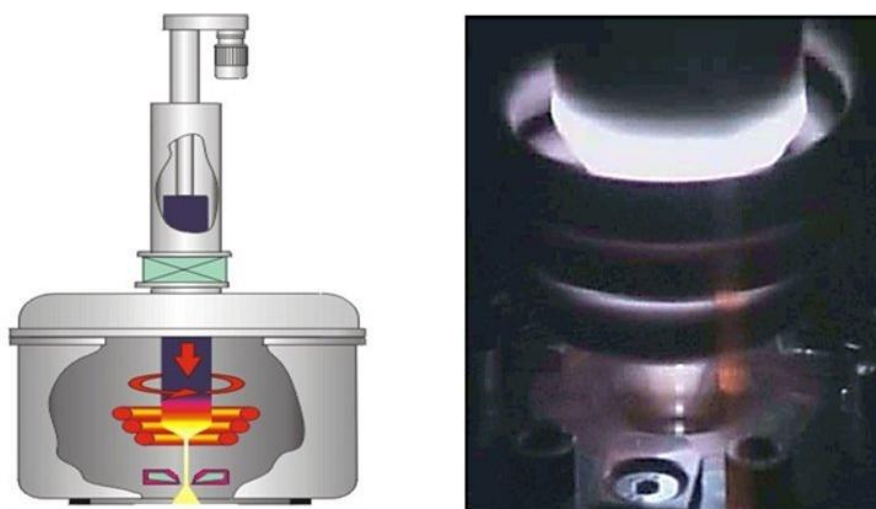
2.1-сурет - Рудалық материалдардан ұнтақтар өндірісінің кестесі [14]

2.3 Газды атомизациялау

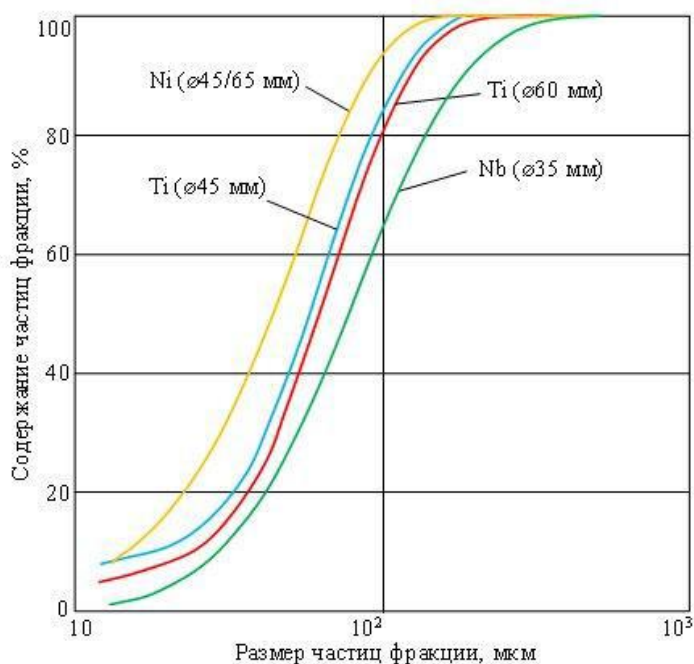
Газды атомизациялаудың бір түрі EIGA технологиясы (Электродтық индукция нұсқаулығы Инертті Газ Атомизациясы) - инертті газ атомизациясымен электронды индукциялық балқыту реактивті металл ұнтақтарын - Ti, Zr, Hf, V, Pt, Ir, Nb, Mo. Осы технологияға сәйкес (диаграмма 2.2-суретте көрсетілген) алдын-ала дайындалған құймалар ($\varnothing 50 \times 500$ мм) айналмалы электродты сақиналы индукторға баяу түсіру арқылы балқытылады, содан кейін металл тамшылары саптама жүйесіне түседі және инертті газбен шашырайды. Бұл процесте балқыманың атомизациясының жылдамдығы шамамен 0,5 кг/с құрайды, бірақ циклге бірнеше ондаған килограмға дейін шашыратуға мүмкіндік береді [1].

EIGA атомизаторларын өндіруші ALD Vacuum Technologies GmbH (AMG Advanced Metallurgical Group N.V. еншілес компаниясы) болып табылады, ол Sandvik Osprey Ltd зауыттарынан эксклюзивті лицензияға ие. Ұнтақты өндірудің мұндай схемасы өнімділікті едәуір арттыра алады (партиялық машиналармен салыстырғанда), ал тұтынылатын керамика мен графит

бөлшектерінің болмауы ұнтақ өндірісінің өзіндік құнын айтарлықтай төмендетеді. Алынған ұнтақтың 1 кг үшін газ шығыны үлкен кристалды атомизаторлармен салыстырылады. Мұндай жабдықтағы процестің тұрақтылығы шешілетін атомизаторларға қарағанда біршама жоғары, өйткені металдың «бірінші бөлігі», оның атомизациясы, әдетте, ұнтақты сынықтармен және тотыққан ірі түйіршіктермен ластайтын кезең жоқ. Бұл жағдайда тозаңданудың барлық кезеңдерінде металды жеткізу бірдей, ал саптамадағы аргон ағыны электрод ерігенге дейін қалыптасады. ALD-ге сәйкес (2.3-сурет), фракция мөлшері 40-80 мкм болатын ұнтақтың шығымдылығы титан қорытпалары үшін 33-35% құрайды, ал тот баспайтын болаттан 40% дейін, бұл басқа бүрку технологиясымен салыстырғанда өте жоғары көрсеткіш [17].

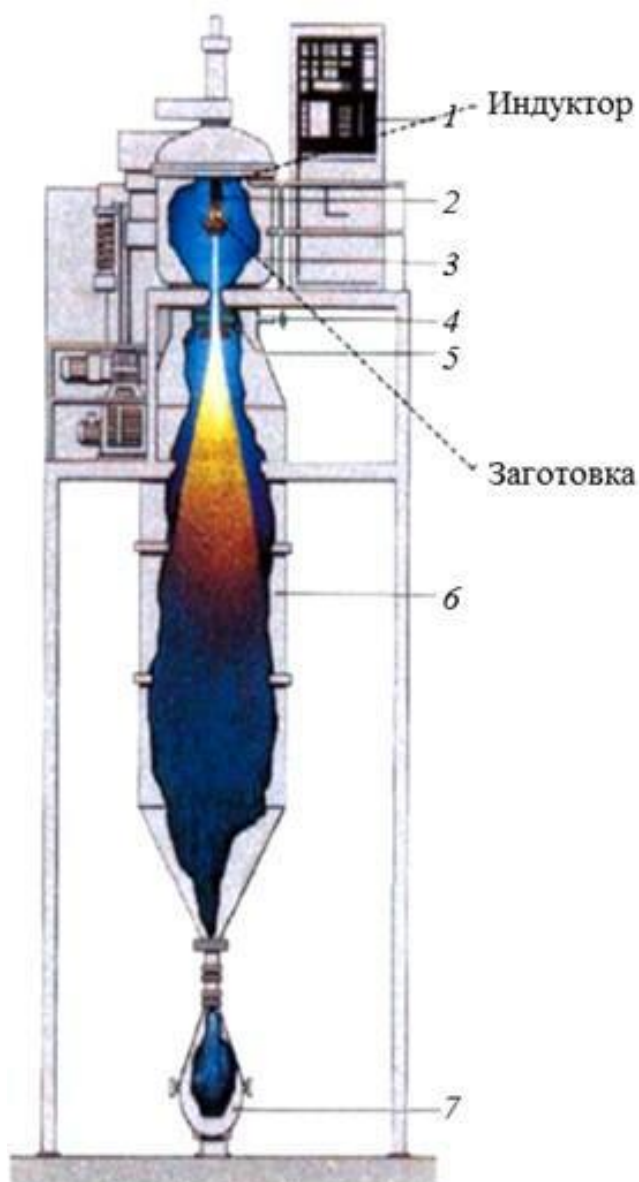


2.2-сурет - EIGA 50/500 өтеусіз атомизатордың диаграммасы



Сурет 2.3 - тұтынылатын электродтың диаметріне байланысты никель, титан және ниоби негізіндегі қорытпалардың EIGA 50/500 атомизаторында алынған үлестірімі

«VIAM» FSUE EIPA процесінің аналогы болып табылатын VIPIGR 50/500 қондырғысын жасады. Орнату сызбасы 2.4 суретте келтірілген.



1 - басқару орталығы; 2 - электрод; 3 - дайындаманың камералық балқуы; 4 - инертті газбен жабдықтау желісі; 5 - отқа төзімді саптама; 6 бүріккіш колонна; 7 қабылдағыш

2.4 сурет - Индукциялық газды атомизациялау арқылы ұнтақты композициялар алу схемасы

Жұмыс принципі: бұрку үшін дайындама тиеу камерасында орнатылады, одан әрі тиеу камерасы мен бұрку бағанасы вакуумдалады және жоғары тазалықты аргонмен толтырылады. Индуктор қосылғаннан кейін тік бекітілген

дайындама өз осінің айналасында айнала бастайды. Электрмагниттік индукция арқылы индуктор өрісіндегі қабаттар балқи бастайды, металл ауырлық күшінің әсерінен төмен қарай ағады және айналмалы форсункамен түзілетін газ ағынына түседі, ол ұсақ тамшыларға шашырайды, олар құлау кезінде сфероидизденеді, үстіңгі керілу күші есебінен және кристалданады. Жинау және салқындату қабылдау бункерінде жүргізіледі.

2.2-кестеде ұнтақтарды ВТ6 қорытпасына арналған фракциялар бойынша бөлу туралы мәліметтер көрсетілген[18].

| Балқытудың шартты нөмірі | Фракция құрамы, % | | |
|--------------------------|-------------------|-----------|-----------|
| | 40–80 мкм | 10–40 мкм | 10–80 мкм |
| 1 | 33,0 | 39,0 | 72,0 |
| 2 | 41,5 | 39,2 | 80,7 |
| 3 | 37,0 | 32,0 | 69,0 |

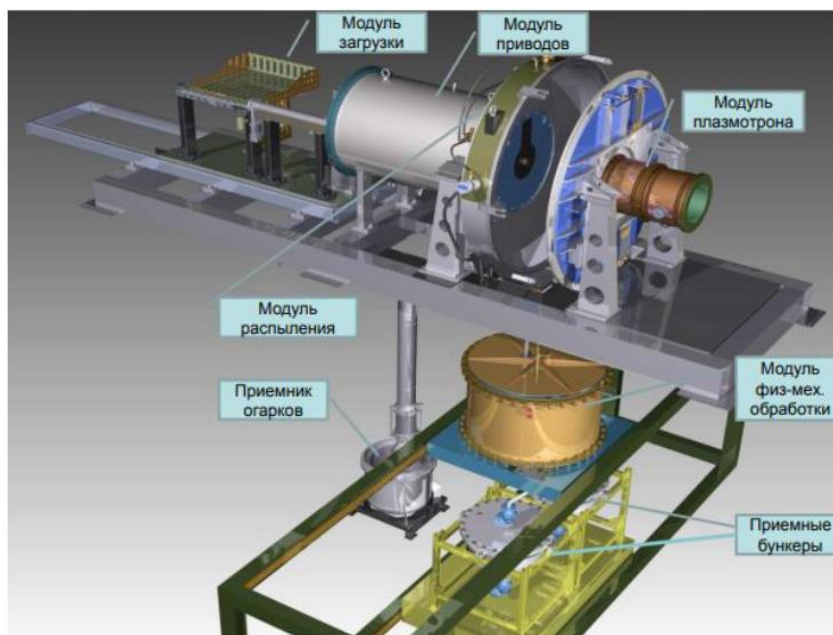
2.4 Ортадан тепкіш атомизация

Титан қорытпаларынан жасалған ұнтақтарды өндіру тұрғысынан ең үлкен қызығушылық REP және PREP процестері болып табылады. REP (Rotating Electrode Process) технологиясы вольфрам электродымен және цилиндрлік пішінді титан құймасы арасында өтетін электр доғасымен қалыптасатын балқыманың тозаңдануын болжайды. REP-процесінде бір-біріне қарама-қарсы орналасқан екі электрод (вольфрамды және берілген қорытпадан жұмсалатын) қолданылады. Вольфрам электроды тіркелген, ал екіншісі тұрақты жоғары жылдамдықпен айналатын. Электродтар арасындағы процесс кезінде электродтың балқытатын металын балқытатын электр доғасы пайда болады. Центрден тепкіш күш есебінен балқытылған металл ұсақ тамшыларды қалыптастыра отырып және олардың кристалдануымен және ұшу кезінде сфералық форманың түзуімен жан-жаққа шашырайды[19].

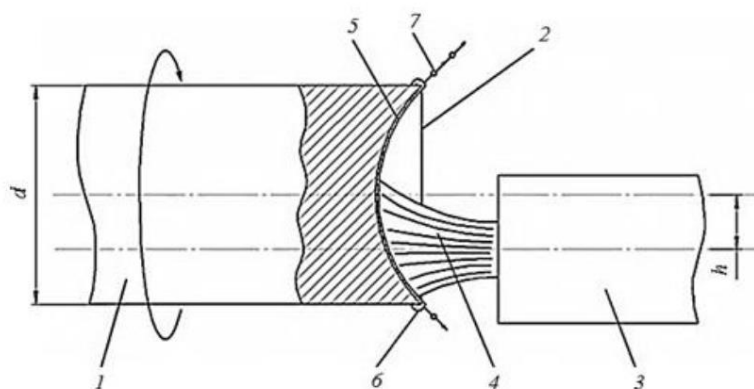
Вариацией алдыңғы процесінің технологиясы болып табылады PREP (Plasma Rotating Electrode Process) (орнату нұсқасы бейнеленген суретте 2.5). Құйманы еріту инертті газдың жоғары жылдамдықты ағынымен жүргізіледі. PREP әдісімен өндіріс схемасы 2.6 суретте көрсетілген. Бұл әдіс-белгілі бір бұрыштық жылдамдықпен өз осінің айналасында айналатын диаметрі d құйылған дайындаманы бұрку. Оның 2-шетіне 3 плазмотрон жылу энергиясының ағыны беріледі, әдетте h эксцентриситетімен орнатылған, берілген қуатпен. Плазмалық алау 4 балқыманың беттік пленкасы түзілетін дайындаманың қырын балқытады 5. Астында пленкадағы балқыманың центрден тепкіш күштің әсерімен ортасынан шеткі шетке қарай қозғалады, онда

жиекте "венец" құру арқылы жиналады. Одан 7 балқымасының тамшылары ұшып кетеді, олар ұшуда түйіршіктерге кристалданады. Барлық процесс инертті газдар (аргон, гелий) ортасында өтеді.

Камера қорғағыш газбен толтырылған немесе беттің жоғары тазалығын қамтамасыз ету және оттегімен, азотпен және көмірқышқыл газымен өзара әрекеттесуді болдырмау үшін вакуум қалыптасады. Бөліктердің орташа өлшемі тозаңдаудың технологиялық параметрлеріне байланысты және 40-тан 200 мкм-ге дейінгі мәндердің аралығына жатады [16].



2.5- сурет-Центрден тепкіш бұрку әдісімен ұнтақтарды өндіруге арналған жаңа буынды әмбебап модульді қондырғының макеті.



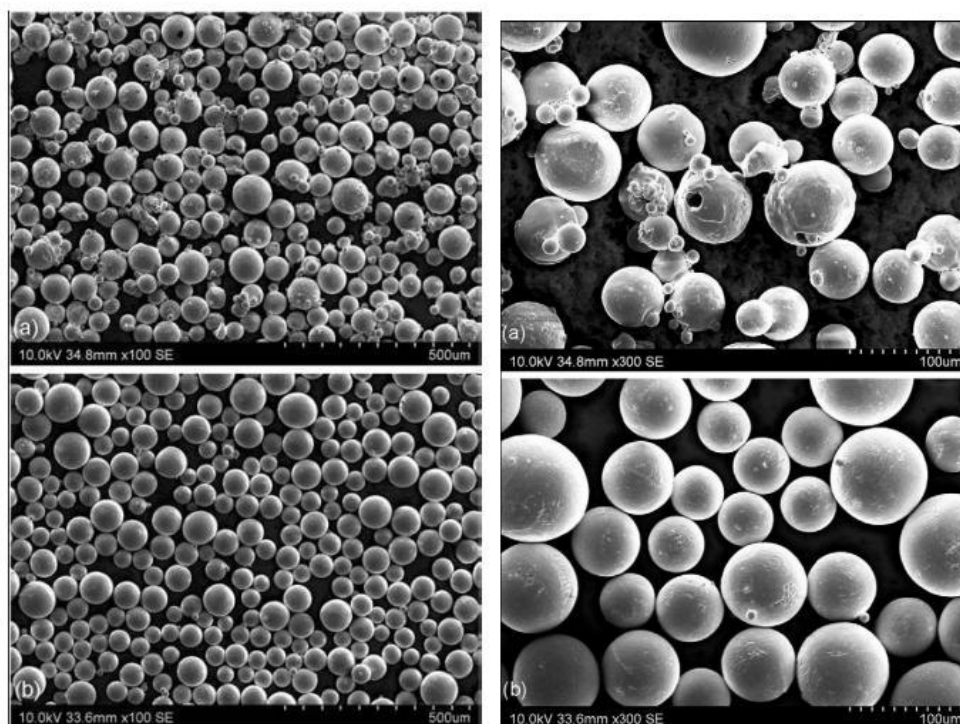
1 – құйма дайындау (d – диаметр); 2 – дайындаманың бір жағы; 3 –плазмотрон (h – эксцентриситет); 4 – жылу энергиясының ағыны (плазма); 5 –Балқыма пленкасы; 6 – металл балқымасынан жасалған тороидальдық "венец"; 7-Балқыма тамшылары.

2.6 сурет-PREP әдісімен өндіріс схемасы [20]

Ұнтақтардың ең аз жұмыс фракциясы орташа мөлшері ~50 мкм болатын, 70 мкм кем (шамамен 10% түйіршіктер 40 мкм аз). Қазіргі уақытта бұл плазмалық балқыту және тез айналатын құйма дайындамаларды ортадан тепкіш бұрку қондырғыларында қол жеткізуге болатын ең жақсы нәтиже [20]. PREP әдісімен дайындалатын ұнтақтардың аддитивті технологияларында тиімді пайдалану үшін олардың мөлшерін 40 мкм кем мәндерге дейін азайту қажет. PREP әдісі үшін ұнтақ бөлшектерінің мөлшерін азайтудың негізгі жолдары[20]:

- құйма дайындаманың айналу жиілігін арттыру. Оның ұлғаюымен бөлшектердің орташа мөлшері азаяды;
- плазмотрон қуатын арттыру. Ол бөлшек өлшеміне жанама әсер етеді (оларды азайта отырып), технологиялыққа тікелей әсер етеді және орнату өнімділігін арттырады;
- жұмыс кезінде қондырғының дірілін төмендету. Діріл фракциялық құрамды тұрақсыздандыра отырып, алынған ұнтақ мөлшеріне теріс әсер етеді;
- құйма дайындаманың диаметрінің ұлғаюы бірдей айналу жиілігі кезінде бұрыштық жылдамдықтың жоғарылауына, одан әрі – дайындалатын түйіршіктер мөлшерінің азаюына әкеледі (алайда дайындамалар диаметрінің шамадан тыс ұлғаюы дірілді күшейтеді).

2.7 суретте ұсынылған тәсілдермен алынған Тi-6Al-4V қорытпасы ұнтағы морфологиясының фотосуреттері көрсетілген.



2.7 сурет-Тi-6Al-4V ұнтақтарының морфологиясы: а) EIGA-процесс; б) PREP-процесс [1]

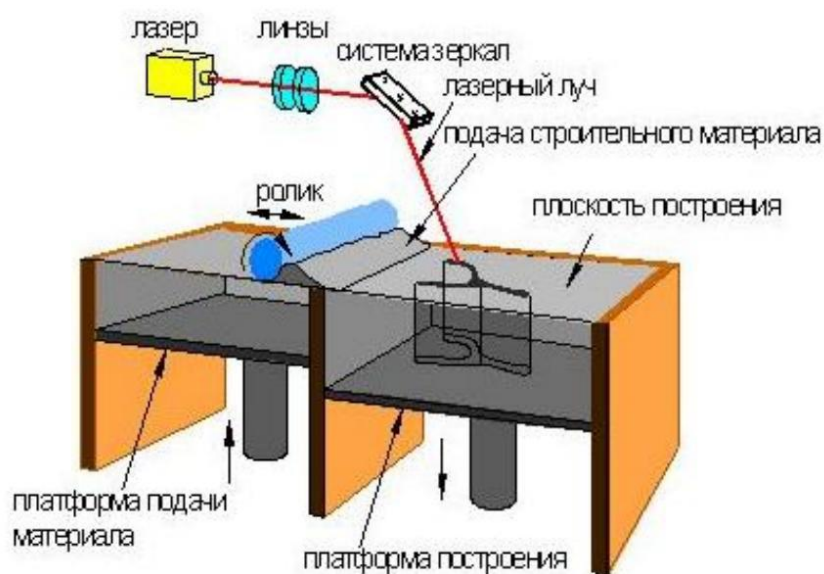
Центрден тепкіш плазманы атомизациялау процесінде алынған ұнтақтар тұрақты сфералық пішінге ие және ұсақ бөлшектердің мөлшері азырақ. Сондай-ақ, PREP әдісімен алынған ұнтақтар электронды сәуленің балқу процесінде қолданылады.

3 Тәжірбиелік сипаттау

3.1 Селективті лазерлік балқыту

Селективті лазерлік балқыту әдісі (SLM) 1995 жылы Фраунгофер лазерлік технологиялар институтында Вильгельм Майнерс және Курт Виссенбах әзірленді. Кейін жобаға "Stereolithographietechnik" GmbH компаниясының Диетері Шварц және Маттиас Фокеле қосылды. SLM процесі күрделі геометриясы бар, механикалық қасиеттері бар, құйма немесе қақталған бұйымдардан кем түспейтін тығыз тұтас объектілерді өндіру қажеттілігіне байланысты, өңдеудің ұзақ циклдерін болдырмау үшін әзірленген [21].

Селективті лазерлік балқыту процесінің жалпы принципі 2.8 суретте схемалық түрде көрсетілген.



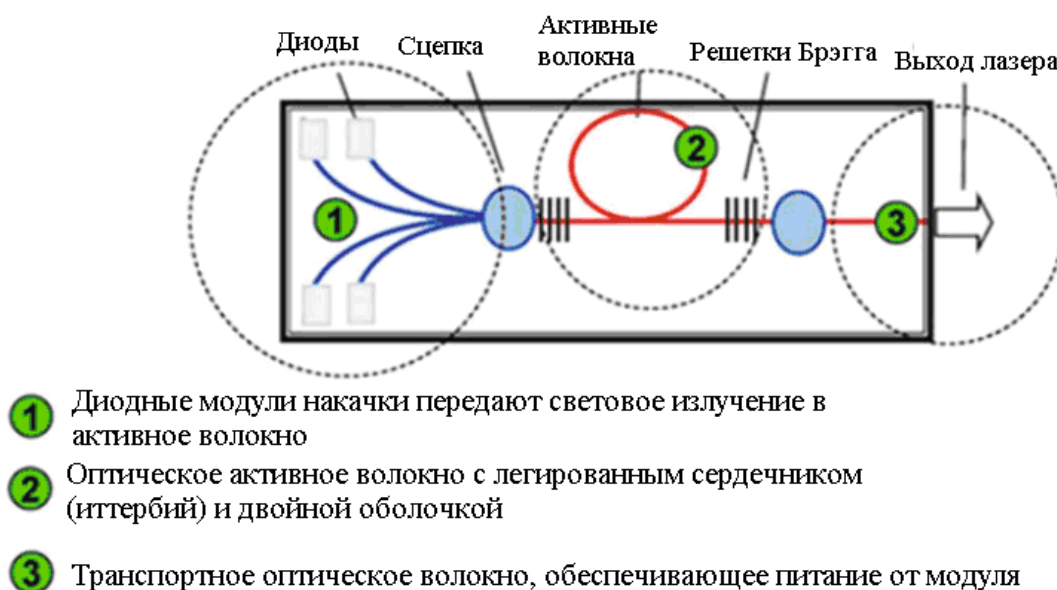
2.8-сурет – SLM процесс схемасы [1]

Ракель немесе Білікше (қондырғының жабдықталуына байланысты) қыздырылған болат төсеніште берілген қалыңдықтың ұнтақ қабатын қалыптастырады. Лазерлік сәуле, CAD-модель қабатының ағымдағы конфигурациясына сәйкес, берілген өңдеу стратегиясымен ұнтақ қабатының бетінің аумағын өңдейді. Содан кейін платформа ұнтақ қабатының қалыңдығына түсіріледі, жаңа ұнтақ қабаты жағылады және тегістеледі.

Жарты ғасырдан астам уақыт бұрын лазердің өнертабысы материалдарды өңдеудің кең мүмкіндіктерін ашты. Лазерлер жоғары энергия тығыздығының фотондарының сәулесін жасайды, фокусталады және өңделетін материалдың бетіне түседі, металды ерітетін кішкентай дақ түзеді. Жетілдірілген лазерлік қондырғылар миллиметрдің фракцияларындағы нүктелік өлшемдерге назар аудара отырып, мыңдаған ватт сәуленің қуатын құруға қабілетті. Шоғырланған сәулелену дақтарының мөлшері ұсақ балқытылған тесіктердің пайда болуына әкеледі [15].

АТ лазерлердің кең спектрін пайдаланады, бірақ талшықты лазерлер көбінесе кең таралған (мысалы, тритвальды неодимий иондары (Y3Al5O12: Nd3+) арқылы белсендірілген итрий-алюминий гранат кристалынан), олардың сенімділігі, ықшамдылығы және қызмет көрсетуі салыстырмалы түрде арзан. Талшықты лазер тізбегі 2.9 суретте көрсетілген [15].

Оптикалық сорғылар диодтары арнайы шағылыстыратын жабындысы бар белсенді лазерлі талшықтармен және талшықты ұзындығы бойымен жарық сәулесін көрсететін, шығарылған кезде когерентті сәуле шығаратын Bragg торымен қосылады. Сәулені тұрақтандыруға магнитті жетектің немесе CNC айналары бар линза жүйесі кіреді [15].



2.9-сурет - Талшықты лазер диаграммасы [3]

Ортадан тепкіш күштің шамасы жұмыс доңғалағының бұрыштық жылдамдығына тікелей байланысты. ЭЦВ 8-25-100 батырылатын ұңғымалық сорғы үшін айналу жиілігі 3000 айн/мин тең.:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}; \quad (1)$$

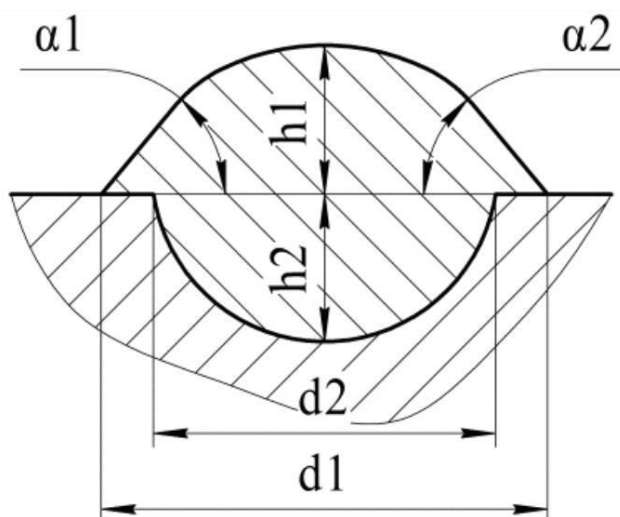
$$\omega = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3000}{60} = 314 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Лазер сәулесі бөлшектердің қажетті термиялық дәрежесіне жету үшін белгілі бір күшке бағытталған. Лазерлік қуат белгілі сіңіру және шағылысу коэффициенттері бар материал үшін анықталады. Сәуленің түрі мен толқын ұзындығы энергияның сіңуіне де әсер етеді [15].

Лазерлік жүйе трек деп аталатын белгілі бір жолдарда қабатты сканерлейді. Оптикалық жүйеде қуаттың жоғалуына байланысты тиімді лазерлік қуат теориялық 90% құрайды. Металл құрылымында оксид пен

нитридті фазалардың пайда болуын болдырмау үшін процесс инертті газдың қорғаныш атмосферасында жүреді [22].

Ұнтақ материалының түйіршіктерін термелеу кезінде лазер сәулесі қабаттың жазықтығына қатысты қозғалады және диспенсер субстратына бұрын таратылған ұнтақ материалын сақтандырады. Нәтижесінде жеке жолдар пайда болады - тректер, олардың геометриясы 2.10 суретте схемалық түрде көрсетілген.



h_1 – төсеніш үстіндегі тректің биіктігі; h_2 – жатырдың төсенішінің балқу аймағының тереңдігі; d_1 – бірлі – жарым тректің ені; d_2 – балқу аймағының ені; α_1 , α_2 – лазерлік сәулеленудің әсер ету аймағындағы балқымамен төсеніштің сулану бұрышы.

2.10-сурет– балқытылған қабаттың кесіндісіндегі дара тректің геометриялық сипаттамалары [23]

Лазер сәулесін синтездік қабатта жылжытудың көптеген стратегиялары бар (2.11-сурет). Оларды екі негізгі топқа бөлуге болады: бірінші және екінші деңгей стратегиялары. Бұдан әрі бірінші деңгей стратегиялары қарастырылады, олардың көмегімен екінші деңгей стратегиялары құрылады. Бірінші деңгейдегі стратегиялардан таңдаулы лазерлік балқыту арқылы өнімдерді шығаруға негізделген төрт негізгі, жүйелік қалыптастыруға болады.

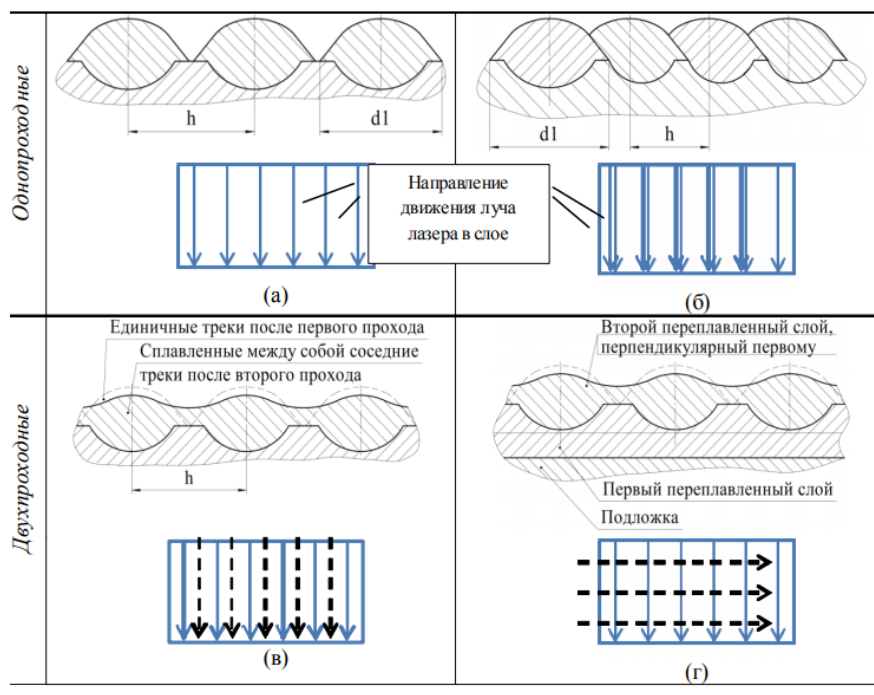
Өз кезегінде жүйені құратын стратегияларды шартты түрде екі топқа бөлуге болады. Бірінші топқа бір реттік өткізу стратегиясы кіреді, екінші топқа лазер сәулесін құйылған қабатта жылжытудың екі өткізгіштігі кіреді, олар үлгінің максималды тығыздығына (кеуектілігі 1% -дан аз) қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Бірінші стратегияда сканерлеу h өсуімен жүреді, сондықтан бір жолдар бір-бірінен h -ге жақын қашықтықта орналасқан, ол субстраттағы немесе d_1

қабатындағы лазер сәулесінің спектрінің диаметрінен үлкен немесе оған тең. Екінші стратегияда h қашықтық $d1$ -ден аз. Бұл стратегиялар сирек қолданылады, өйткені олар үлгілердің жоғары кеуектілігін және, демек, төмен механикалық қасиеттерін береді. Бұл стратегиялар өнімділігі жоғары деп те аталады, өйткені олар алынған үлгінің төмен сапалы микроқұрылымы бар өнімнің өндірістік циклін едәуір қысқарта алады. Ол екінші деңгей стратегияларын қолдану кезінде көбінесе негіз ретінде қолданылады [23].

Үшінші стратегия «екі аймақ» стратегиясы деп аталады, оны қазіргі әдебиетте атайды, онда ұнтақты материалдың әр қабаты екі сатыда лазер сәулесімен өңделеді. Біріншіден, қабат берілген ұнтақ материалына арналған жолдың еніне тең қадаммен өңделеді, содан кейін лазер сәулесі қазірдің өзінде қайталанған тректердің арасында өтеді, осылайша екі іргелес тректерді араластырады. Төртінші стратегиясында («кросс-хетчинг» атауы ағылшын әдебиетінде кездеседі) әр қабат астындағы қабаттың сканерлеу бағытына перпендикуляр түрде сканерленеді. Бұл стратегияның басты ерекшелігі - әр синтезделген қабатта өзін неғұрлым айқын көрсететін мерзімді толқындық құрылымды құруға жол бермеу. Үлгілердің механикалық қасиеттері мен кеуектілігі, сонымен қатар өнімнің әр қабатының және тұтас өнімнің дайындалу уақыты, лазерлік балқыту кезінде лазерлік сәулені өңдеудің таңдалған стратегиясына байланысты болады [23].

Кеуектіліктің төмендеуі лазер сәулесін сканерлеудің қуаты мен жылдамдығы, ұнтақ материалының қоспаланған қабатының қалыңдығы сияқты оңтайлы технологиялық параметрлерді таңдаумен, сондай-ақ іргелес екі легирленген жалғыз тректердің арасында оңтайлы қарап шығу қадамын таңдаумен байланысты мүмкін.



көк сызықтар лазер сәулесінің алғашқы өтуі; қара сызықтар - лазер сәулесінің қайталануы; a - өңдеудің қарапайым бір стратегиясы (жалғыз жолдар арасындағы сканерлеудің кең аралығы, $h > d1$); b - бір ретті өңдеудің ықшамдалған стратегиясы (h жолдарының арасындағы сканерлеудің аралығымен, $h < d1$); c - «екі аймақтың» екі жолды стратегиясы; g - «кросс-хетчингтің» екі жолды стратегиясы; h - сканерлеу сатысы; d1 - ерітілген қабаттағы лазер сәулесінің диаметрі

2.11-сурет - Лазер сәулесін өңдеу стратегиясы

Пісірілетін қабаттардың сапасын анықтайтын ең маңызды параметрлер Бастапқы материалдардың сипаттамалары мен қорытудың параметрлері болып табылады. Бастапқы материалдардың сипаттамасына гранулометриялық құрамы, химиялық құрамы, үйінді тығыздығы, реологиялық параметрлері және ұнтақтың меншікті бетінің шамасы жатады [24, 25].

Сызу параметрлері - лазерлік қуат, сканерлеу жылдамдығы, лазер сәулесінің қарқындылығы, импульстің жиілігі, қорғаныс атмосферасы, әсер ету уақыты. Сынған қабаттардың сапасы максималды қол жетімділік дәлдігімен, біркелкі тығыздығымен, өңделген қабаттың максималды және минималды қалыңдығымен сипатталады [24]. Өсіп келе жатқан процестің барысы мен сәттілігін анықтайтын негізгі параметрлер 2.3 кестеде келтірілген [26].

Кесте 2.3-жентектеу процесіне әсер ететін параметрлер және олардың сипаттамасы [26]

| Параметр | Процесс сипаттамасы |
|---------------------------------|--|
| Лазерлік сканерлеу параметрлері | |
| Қуат | Жалпы лазер энергиясының өлшемі |
| Радиациялық режим | Үздіксіз немесе пульсирующий |
| Ең жоғарғы қуат | Ең жоғары сәулелену энергиясы өлшемі |
| Импульстің ұзақтығы | Белгіленген режимге сәйкес лазерлік сәулеленудің импульстің ұзақтығы |
| Радиациялық жиілік | Уақыт бірлігіндегі пульсация саны |
| Толқын ұзындығы | Электромагниттік толқындардың ұштары арасындағы қашықтық |
| Поляризация | Лазерлік сәуленің электромагниттік толқындарын бағдарлау |
| Сәуле шығару сапасы | Сәуленің фокусировкасын және сәуле дақтарының ең аз теориялық өлшемін болжау кезінде қолданылатын қарқындылық профилімен байланысты Параметр |

| | |
|--------------------------------|---|
| Қарқындылық профилі | Беттің бірлігіне энергияның үлес мөлшерін анықтайды |
| Пучок мөлшері | Эллиптикалық дақтың ұзындығы мен ені |
| Сканерлеу жылдамдығы | Өңделетін бет бойынша лазерлік сәуленің жылжу жылдамдығы |
| Сканерлеу аралығы | Көршілес лазерлік жолдар арасындағы қашықтық |
| Сканерлеу стратегиясы | Өңделетін бет бойынша лазерлік сәуленің өту түрін анықтайтын бағдарламалық үлгі (жоғарыда аталған кейбір параметрлерді қоса алғанда)) |
| Ұнтақ материалының қасиеттері | |
| тығыздық | Бөлшектер арасындағы көлемді ескере отырып, сығылмаған күйдегі тығыздық |
| Жылу өткізгіштік | Материалдың жылу өткізгіштік қабілеттілігі |
| Жылу сыйымдылығы | 1 ° температураны жылытуға жұмсалатын энергия мөлшері |
| Жасырын балқу жылуы | Қатты сұйық жүйеде фазалық немесе агрегаттық түрлендіруді жүзеге асыру үшін қажет энергия |
| Балқу температурасы | Қатты кристалды дененің сұйық күйге өтуі мүмкін температура |
| Қайнау температурасы | Сұйық газды агрегаттық конверсиялау температурасы |
| Сұйық металл шұңқыр тұтқырлығы | Балқытылған металдың ағу өлшемі |
| Термиялық кеңейту коэффициенті | Қыздыру немесе салқындату кезіндегі көлем өзгерісінің шамасы |
| Беттің бос энергиясы | Фазалар немесе агрегаттық орта арасында беттің түзілуіне талап етілетін Энергия |
| Қаныққан бу қысымы | Материалдың газ түзілуіне бейімділік өлшемі |
| Реакция жылуы | Реакцияның жылулық әсеріне жауап беретін химиялық жүйе жағдайының термодинамикалық функциясы |
| Материалдың сіңіру қабілеті | Жұтылған сәулелену энергиясының өлшемі |
| Диффузия коэффициенті | Бірлі-жарым аудан учаскесі арқылы уақыт |

| | |
|-------------------------------|---|
| | бірлігінде өтетін заттың санына тең диффузия жылдамдығының сипаттамасы (балқыту процестері үшін сыни емес) |
| Ерігіштік | Қатты заттарды сұйық балқымамен еріту қабілеті |
| Бөлшектер морфологиясы | Жекелеген бөлшектердің беті және олардың таралуы (геометриялық өлшемдердің арақатынасы, бөлшектер формасының шар тәріздес болуы)) |
| Беттің кедір-бұдырлығы | Беттің орташа арифметикалық профилі |
| Бөлшектердің өлшемдік таралуы | Ұнтақты бөлшектердің өлшемін (диаметрлерін бөлу) |
| Ластануы | Ұнтаққа қосылған шаң және басқа бөлшектер түрінде қайта пайдалану есебінен ұнтақ қасиеттерінің өзгеруін сипаттайтын көп факторлы параметр |
| Ұнтақ қабатының қасиеттері | |
| Тығыздығы | Ұнтақты бөлшектерді орау тығыздығының өлшемі |
| Жылу өткізгіштігі | Жылу энергиясын ұнтақ қабатпен беру шарасы |
| Жылу сыйымдылық | Ұнтақ қабатының температурасын арттыруға жұмсалатын Энергия |
| Сіңіру қабілеті | Қабат жұтатын энергия өлшемі |
| Излучательная способность | Сол температурада абсолютті қара дененің шығарған энергиясына, материал шығаратын энергия мөлшері |
| Жүйе параметрлері тұндыру | Ұнтақты мөлшерлеу, ұнтақты жұмыс бетіне бөлу, қабатты қалыптастыру жылдамдығы |
| Қабат қалыңдығы | Процестің сипаттамаларымен шектелген жалғыз ұнтақ қабатының биіктігі |
| Ұнтақ қабатының температурасы | Ұнтақты қабатта бөлінген көлемді температура |
| Жұмыс кеңістігі параметрлері | |
| Қорғау газы | Аргон, азот, кейде гелий және т. б. |
| Оттегі құрамы | Оттегі оксидті қосындылардың пайда болуына қабілетті, сулану коэффициентіне |

| | |
|------------------------------------|---|
| | әсер етеді және балқытуға жұмсалатын энергия мөлшерін арттырады |
| Қорғау газының молекулалық массасы | Жылу балансына, диффузия коэффициентіне әсер етеді |
| Қорғау газының тұтқырлығы | Сұйық металл шұңқырлардың үстіңгі белсенділігіне және конвективті жылу балансына әсер етеді |
| Жылу өткізгіштігі | Денелердің неғұрлым қыздырылған денеден аз қыздырылған денеге энергияны тасымалдау қабілеті |
| Газ жылу сыйымдылығы | Газға жылу мөлшерінің оның температурасының өзгеруіне қатынасы |
| Қысым | Бу/газға әсер етеді |
| Газ ағынының жылдамдығы | Конвективті салқындатуға, тұндырылған бөлшектерді жоюға әсер етеді |
| Конвективті жылу беру коэффициенті | Жұмыс көлемінің газ ағынымен балқытылған шұңқырды конвективті салқындату |
| Жұмыс камерасының температурасы | Қалдық кернеулердің шамасына әсер ететін ұнтақты алдын ала қыздыру қажеттілігін анықтайтын Параметр |
| Беттің бос энергиясы | Балқымалар мен кристалдану кезінде шұңқырдың қалыптануына әсер ететін қоршаған газ арасында |

Бұйымдарды құру процесі өткен кезде ақаулардың қалыптасуы мүмкін. Балқу сатысының негізгі міндеті бастапқы ұнтақты балқыту және түзілетін қуыстар мен балқытылмаған бөлшектерді жою болып табылады.

Лазермен ұнтақ қабаттарын басу кезінде пайда болатын тиімді жылу көзінің табиғаты мөлдір емес металл корпусының лазерлік сәулелену жағдайынан қарағанда айтарлықтай ерекшеленеді.

Металл корпусының бетін лазерлік сәулелендіру жағдайында материалдық қасиеттердің энергия тепе-теңдігіне әсерін жылу өткізгіштік пен берілген материалдың сіңуі арасындағы байланыс деп сипаттауға болады.

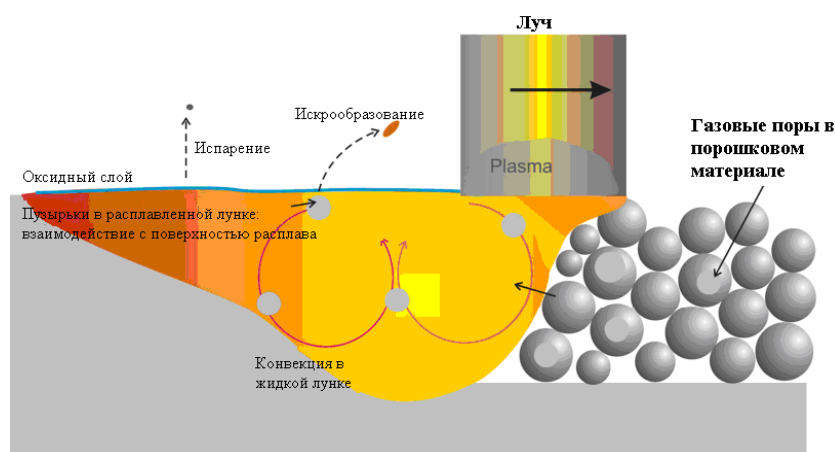
Ұнтақ қабатының сіңіру қабілеті ұнтақ материалының физика-химиялық қасиеттеріне ғана емес, сонымен қатар ұнтақтың тығыздығына да байланысты және әдетте шойын материалына қарағанда едәуір жоғары.

Лазерді балқыту кезінде сәуленің бір бөлігі ұнтақ қабатының сыртқы бетіндегі бөлшектермен сіңеді. радиациялық , сондай-ақ ұнтақ бөлшектер,

газбен толтырылған арасындағы қуыстарына арқылы өтеді , және базалық бөлшектердің өзара іс-қимыл. Ұнтақты қабатың ішкі бөлігіндегі жылу бөлу әдеттегі жылу беру механизмімен анықталады.

Лазер сәулесінің қарқындылығы оның ұнтақ қабатына енуімен азаяды [27].

Әрбір металдың өзіндік радиациялық сіңіру коэффициенттері , беттік керілуі және сұйық күйдегі тұтқырлығы бар, сондықтан термоядролық процестің тұрақсыздығына жол бермеу үшін металдардың физика-химиялық әрекетін білуге негізделген процесті оңтайландыру қажет [21]. Ақаулардың пайда болуына әсер ететін факторлар схемалық түрде 2.12 суретте көрсетілген.



2.12-сурет - Ішкі ақаулардың пайда болуына әсер ететін факторлар SLM процесінде өнім құрылымдары [28]

Поралардың, қорытпалар мен флокендердің пайда болуы. Кеуектілік лазерлік сәуле шығару қуатының, өңделетін материалдың беті бойынша ағынның қозғалыс жылдамдығының, фокустық дақтың және т. б. мөлшерінің өзгеруі нәтижесінде қалыптасады.

Сканерлеу жылдамдығының өсуі өндіріс уақытының азаюына тікелей пропорционал, бірақ бұл тек радиациялық қуаттың жоғарылауымен және соққылар арасындағы қашықтықтың қысқаруымен қамтамасыз етілетіндігін атап өткен жөн, өйткені ең төмен кеуектілігі бар өнімді алу мүмкін емес. Лазер қуатының шамалы төмендеуі, кем дегенде, 10 Вт болса да, кеуектердің едәуір санының пайда болуына жағдай жасай алады [22].

Ұшқын пайда болуы. Дәнекерлеу өндірісінде АТ – ұшқынның пайда болуына тән тағы бір құбылыс белгілі, олар балқымамен шұңқырлардан шығып тұратын сұйық металдың кішкене тамшылары болып табылады. Бұл құбылыс 2.16 суретте бейнеленген. Осы шашыраудың пайда болуына екі түсінік бар. Металл бу еріту аймағынан қысым әсерінен буланады, сұйықтықты шұңқырдың шетіне және ортасына апарып кері қайтарылады. Егер шұңқырдағы қысым белгілі бір стандарттан асып кетсе, кішкентай тамшылар балқымадан

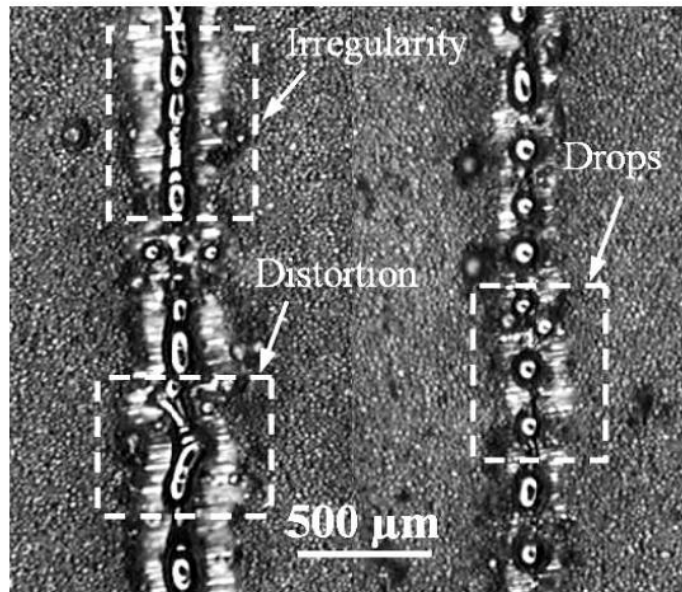
шығарылуы мүмкін. Стандарт сұйық балқыманың беттік тартылуына байланысты.

Ұшқынның пайда болуы тағы бір түсініктемесі газ және көпіршіктер болып табылады. Тікелей эксперименталды негіздемесіз осы көпіршіктердің шығу тегі туралы айту қиын, немесе олар инертті газбен толтырылған шикізат ұнтақты бөлшектерде теңшелермен түзілді, немесе көпіршіктер ұрықты түзетін және балқытпамен қанығудың арқасында өсетін опция болуы мүмкін. Лазермен әсер еткенде көпіршіктер босатылады, содан соң конвекцияның әсерінен балқыманың бетіне шығарылады.



2.16-сурет- ұшқын пайда болу құбылысы

Лазердің жоғары қуаты неғұрлым қолайлы, өйткені сканерлеу жылдамдығы мен ұнтақ қабатының қалыңдығын өзгерту үшін үлкен еркіндік береді. Алайда, лазердің жоғары қуаты мен SLM технологиясындағы сканерлеу жылдамдығының салыстырмалылығы кезінде энергетикалық салымның ұлғаюымен-процесс балқыма көлемінің ұлғаюымен қатар жүреді, бұл тректің тұрақсыздығына әкеледі. SLM әдісімен металл ұнтақтарынан жалғыз трек әдісімен қалыптастыру процесін талдау процесс шекті сипатқа ие екенін көрсетті: лазерлік балқымасы үздіксіз және біртекті тұрақтылық аймағы және тректер үздіксіз емес тұрақсыздық аймағы бар. Тұрақсыздық пайда болып, төмен жылдамдықты сканерлеу түрінде бұрмалаусыз және бұзушылықтарды, және, керісінше тым жоғары жылдамдығы қайда байқалады. Лазердің үлкен қуаты үшін оңтайлы сканерлеу жылдамдығы кең және жоғары жылу өткізгіштігі бар болуы материал үшін қолайлы. Бұл жағдайда, электр энергиясын өндіру үшін қолданылады. Бұл ақаулардың мысалдарын 2.17 суретте көруге болады.



2.17-сурет - Ұнтақ қабатының бетіндегі сфероидтау және соққылар құбылыстары [32]

SLM процесінің артықшылықтары [8, 15]:

- ұнтақ қабатында тірек өнім құрылымдарының желілерін қалыптастыру өнімдердің геометриялық күрделілігіне байланысты қажет. Көп жағдайда тіректердің пайда болуы ұнтақ қабатындағы өнімдердің түсуіне және деформациясына жол бермейді;
- пайдаланушыларда өңдеу параметрлерін өз бетінше қою мүмкіндігі бар, бірақ өңдеу жылдамдығын, Z осі бойымен ауытқуды және басқа параметрлерді таңдау үшін қосымша дайындық қажет;
- уақыт өте келе, материалдар мен АП қондырғыларының бағасын төмендету арқылы өнімді өндіру арзанға түседі;
- өндірістік тәжірибені, жұмыс уақытын жинақтай отырып, өнім өндірісін жеңілдетуге болады;
- лазерлік қондырғының дизайнының қарапайымдылығы;
- бір өндірістік циклде әртүрлі конфигурациядағы бірнеше өнімді өсіруге болады;
- лазерлік жүйелер жоғары дәлдікке ие, нәтижесінде жоғары сапалы өнімдер шығады;
- қондырғыларда қосымша жабдықтардың болуы (азот генераторы, ұнтақты жинағыш, ұнтақ бөлгіш және т.б.);
- дәстүрлі өндіріс тәсілдерімен алуға болмайтын күрделі геометриялық конфигурациядағы өнімдерді жасау мүмкіндігі;
- ұнтақты қолданудың жоғары дәрежесі, ұнтақтарды қайта өңдеу мүмкіндігі;
- күрделі ішкі арналарды кейіннен өңдеуден кейін оларды ұнтақтардан тазарту жағдайында құруға болады.

SLM процесінің кемшіліктері [8, 15]:

- процестің жоғары күрделілігі. Толық технологиялық потенциалды іске асыру үшін, АП-де пайда болатын физика-химиялық механизмдерді, 3D модельдерін жобалау процестерін терең түсіну қажет;

- термоядролық процесті дұрыс оптимизациялау, ұнтақ материалдарының төмен сапасы (өнімнің пішінін бұзу, жарықтар, қалдықтардың кеуектілігі, балқытылған металдың саңылауларындағы сфероидтау) ақаулардың пайда болуы;

- ұнтақ шикізатына жоғары талаптар. Ұнтақ сапасының өзгерістері ақаулардың пайда болуына және өнімнің беттерінің сапасына әсер етеді;

- ұнтақ материалдарының құны жоғары (60000 тг/ кг-дан);

- процестің төмен өнімділігі;

- құрылыс кезінде бөлшектердің дәлдігі пучка нүктесінің диаметріне, ұнтақ бөлшектерінің диаметріне, жұмыс көлеміндегі бөліктің орналасуына байланысты болады. Процестің жоғары жылдамдығы, лазер нүктесінің диаметрінің ұлғаюы нәтижесінде алынған өнімнің сапасына зиян келтіретін өнімділіктің жоғарылауын қамтамасыз етеді;

- дайын өнім қайта өңдеуден кейін болуы керек (механикалық өңдеу, химиялық өңдеу).

ҚОРЫТЫНДЫ

Бірінші тарауда аддитивті технологиялар нарығының құрылымы, АП қондырғылары мен бағдарламалық жасақтаманың негізгі шетелдік өндірушілері, осындай технологияларды белсенді енгізетін салалар және өндіріс процесіне АТ-ны тараулардың артықшылықтарын қарастырылды. Жылдам прототиптеу тұжырымдамасы қарастырылған, аддитивті технологиялардың әр түрлі жіктелімдері, дәстүрлі өндірістік технологиялармен салыстырғанда АТ артықшылықтары, жобалау сатысынан дайын өнімді өсіруге дейінгі аддитивті процестің принципі және АТ таңдаудың негізгі өлшемдері қарастырылған.

Екінші тарауда материалдың қабат-қабат басу процестеріне қатысты ұнтақ материалдарына қойылатын талаптар, металл ұнтақтарын өндірудің негізгі технологиялары сипатталған. EIGA газдандыру процесі SLM қондырғыларында қолданылатын ұнтақтарды өндіруге өте қолайлы. Ортадан тепкіш атомизация PREP процесі SLM технологиясында қолданылатын жоғары сапалы ұнтақтарды шығаруға қабілетті. Металл бұйымдарын қабат-қабат қабаттастыру принципіне байланысты металл бұйымдарын қоспалық өндірудің негізгі технологиялары ұсынылған, оған SLM процестері кіреді. Бұл процестердің артықшылықтары мен кемшіліктері келтірілген, осы процестердің техникалық сипаттамалары бір-бірімен салыстырылған. Қоспаларды өндіру процесінде туындайтын негізгі ақаулардың пайда болу тетіктері де көрсетілді, оған тері тесігі мен флокстың пайда болуы, толқынды бет құрылымы және калдық кернеудің болуы жатады.

Аддитивті технологияларды пайдалану шеңберінде жобаны іске асырудың идеядан материалдандыруға дейінгі барлық кезеңдері (кез келген түрде — аралық немесе дайын өнім түрінде) бірыңғай технологиялық тізбекті құрайды.

Кәсіпорында негізгі міндеті оның тиімділіктің экономикалық көрсеткіштерін арттыру және артық қорлардың болуымен, қарапайым жабдықтарға кететін уақыт шығындарымен, артық ұзақ өндірістік тізбектердің болуымен, жоғары көлік шығындарымен шартталған артық өндіріс пен шығындардан көрінетін өндірістің дәстүрлі тәсілдерінің кемшіліктерін жою болып табылады.

SLM процестерін енгізудің инвестициялық жобаларын есептеу өзіндік құнды қалыптастырудың негізгі факторы және тұтастай алғанда экономикалық тиімділік көрсеткіштеріне әсер ететін процестің өнімділігі болып табылатынын көрсетті. Есептеу нәтижелері SLM процесінің елеулі артықшылығын көрсетеді. SLM -технологиялардың экономикалық тиімділігінің негізгі көрсеткіштері: кірістілік индексі тиісінше SLM-технологиялар үшін осы көрсеткіштерден 15, 6 және 3 есе артық.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Зленко, М.А. Аддитивные технологии в машиностроении [Текст] : пособие для инженеров / М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.
- 2 Wohlers Report 2018. 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry. Annual Worldwide Progress Report [Text] / compiled by I. Campbell, O. Diegel, J. Kowen and T. Wohlers. – Fort Collins: Wohlers Associates, Inc, 2017. – 344 p.
- 3 Attaran, M. The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing [Text] / M. Attaran // Business Horizons. – 2017. – Vol. 60. – Iss. 5. – P. 677-688.
- 4 Additive Manufacturing [Text] / compiled by A. Bandyopadhyay, S. Bose. – N.Y.: CRC Press, 2015. – 389 p.
- 5 Василюк, В.П. Использование аддитивных технологий при восстановлении дефектов лицевого скелета [Текст] / В.П. Василюк, Г.И. Штраубе, В.А. Четвертных / Пермский медицинский журнал. – 2013. – Т. 30. – № 3. – С. 60-65.
- 6 Чемодуров, А.Н. Применение аддитивных технологий в производстве изделий машиностроения [Текст] / А.Н. Чемодуров // Известия ТугГУ. Технические науки. – 2016. – № 8. – С. 210-217.
- 7 Кузнецов, П.А. Аддитивные технологии на базе металлических порошковых материалов для российской промышленности [Текст] / П.А. Кузнецов, О.В. Васильева и др. // Новости материаловедения. Наука и техника. – 2015. – № 2 (14). – С. 4-10.
- 8 Литунов, С.Н. Обзор и анализ аддитивных технологий. Часть 1 [Текст] / С.Н. Литунов, В.С. Слободенюк, Д.В. Мельников // Омский научный вестник. – 2016. – № 1 (145). – С. 12-17.
- 9 Чумаков, Д.М. Перспективы использования аддитивных технологий при создании авиационной и ракетно-космической техники [Электронный ресурс] / Д.М. Чумаков, – Электрон. дан. – Электронный журнал «Труды МАИ». – 2014. – № 78. Режим доступа: <https://mai.ru/publications/index.php?ID=53682>, свободный. – Загл с экрана. – Дата обращения 15.11.2017.
- 10 Noorani, R. 3D Printing: Technology, Applications, and Selection [Text] / R. Noorani. – N.Y.: CRC Press, 2017. – 271 p.
- 11 Quinlan, H.E. Industrial and Consumer Uses of Additive Manufacturing: A Discussion of Capabilities, Trajectories, and Challenges [Text] / H.E. Quinlan, T. Hasan, et.al. // Journal of Industrial Ecology. – 2017. – Vol. 21. – P. 15-20.

- 12 Смуров, И.Ю. О внедрении аддитивных технологий и производства в отечественную промышленность [Текст] / И.Ю. Смуров, С.Г. Конов, Д.В. Котобан // Новости материаловедения. Наука и техника. – 2015. – № 2 (14). – С. 11-22.
- 13 Юрасёв, Н.И. О возможностях развития аддитивных технологий в России [Текст] / Н.И. Юрасёв // Современная экономика: проблемы и решения. – 2015. – № 9 (69). – С. 72-79.
- 14 Dawes, J. Introduction to the Additive Manufacturing Powder Metallurgy Supply Chain. Exploring the production and supply of metal powders for AM processes [Text] / J. Dawes, R. Bowerman, R. Trepleton. // Johnson Matthey Technol. Rev. – 2015. – Vol. 59. Iss. 3. – P. 243–256.
- 15 Milewski, J.O. Additive Manufacturing of Metals. From Fundamental Technology to Rocket Nozzles, Medical Implants, and Custom Jewelry. Springer Series in Materials Science 258 [Text] / J.O. Milewski. – Cham: Springer International Publishing AG, 2017. – 343 p.
- 16 Джуган, А.А. Использование титановых порошков в методах 3D печати изделий [Текст] / А.А. Джуган, В.Е. Ольшанецкий и др. // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2016. – №2. – С. 77-81.
- 17 Евгенов, А.Г. Получение и опробование мелкодисперсного металлического порошка высокохромистого сплава на никелевой основе применительно к лазерной LMD-наплавке [Электронный ресурс] / А.Г. Евгенов, С.В. Неруш, С.А. Василенко. – Электрон. дан. – Электронный научный журнал "Труды ВИАМ". – 2014. – № 5.
- 18 Алишин, М.И.. Производство металлопорошковых композиций высокой чистоты титановых сплавов методом индукционной газовой атомизации для аддитивных технологий [Электронный ресурс] / М.И. Алишин, А.Е. Князев. – Электрон. дан. – Электронный научный журнал "Труды ВИАМ". – 2017. – № 11.
- 19 Дудихин, Д.В. Способы получения сферических порошков для аддитивных лазерных технологий [Текст] / Д.В. Дудихин, А.А. Сапрыкин // Master's Journal. – 2016. – № 1. – С.51-55.
- 20 Востриков, А.В. Производство гранул методом PREP для аддитивных технологий – текущий статус и перспективы развития [Электронный ресурс] / А.В. Востриков, Д.И. Сухов. – Электрон. дан. – Электронный научный журнал "Труды ВИАМ". – 2016. – № 8.