

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты

Индустриалды инженерия
кафедрасы

Тайбагаров Айдос Калдыбаевич

«ЕВМ технологиясымен басып шыққан бұйымның металл
объектілердің құрылысын ультрадыбыстық бақылаумен зерттеу»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071200 – Машина жасау

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты

Өндірістік инженерия

кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

PhD д-ф, қауым. профессоры

_____ Арымбеков Б.С.

«_____» _____ 2019 ж.

Дипломдық жобаға

ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

Тақырыбы: «Металл объектілердің құрылысын зерттеу және
ультрадыбыстық бақылау»

5B071200 – Машина жасау

Орындаған

Тайбагаров А. К.

Ғылыми жетекші,

_____ Базарбай Б. Б.

«_____» _____ 2020 ж.

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты

«Индустриалды инженерия»
кафедрасы

5B071200 – Машинажасау

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі

PhD д-ф, қауым. профессоры

_____ Арымбеков Б.С.

« _____ » _____ 2020 ж.

**Дипломдық жоба орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Тайбагаров Айдос Калдыбаевич

Тақырыбы *«ЕВМ технологиясымен басып шыққан бұйымның металл объектілердің құрылысын ультрадыбыстық бақылаумен зерттеу»*

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

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі « _____ » _____ 2020 ж.

Дипломдық жобаның бастапқы берістері металл объектілердің құрылысын зерттеу және ультрадыбыстық бақылау кезінде Electron Beam Melting (EBM) аддитивті технологиясын қолдануды зерттеу, және салыстыру

Дипломдық жобада қарастырылатын мәселелер тізімі

а) *EBM технологиясымен танысу*

б)) *EBM әдісімен баспаға арналған ВТб қорытпасының металл ұнтағын алу әдісі*

в) *EBM әдісімен ВТб қорытпасының қорытылған ұнтағының микроструктуралық талдауы*

Ұсынылған негізгі әдебиет: 9 атау

Дипломдық жобаны дайындау

КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәліметтер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Кіріспе. Аддитивті технологияға шолу		
ЕВМ технологиясымен танысу		
ЕВМ әдісімен баспаға арналған ВТ6 қорытпасының металл ұнтағын алу әдісі		
ЕВМ әдісімен ВТ6 қорытпасының қорытылған ұнтағының микроструктуралық талдауы		

Дипломдық жоба бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жобаға қойған қолтаңбалары

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

Ғылыми жетекші _____ Базарбай Б. Б.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы _____ Тайбагаров А. К.

Күні

«__» _____ 2020 ж.

АҢДАТПА

Берілген дипломдық жобада EBM технологиясының шығу тарихы қарастырдық және сол технологиясының қолдану аясын анықтадық. Әр технологияның жеке-жеке қарастырдық, сонымен қатар артықшылықтары мен кемшіліктерін де толық шолу жасадық. EBM технологиялық әдісімен VT6 қорытпасының металл ұнтағын алу әдісімен таныстық. Бұйым жасау кезінде Electron Beam Melting (EBM) технологиясын қолдану арқылы бірнеше әдістерді меңгердік. Electron Beam Melting технологиясына арналған 3D принтерлердің түрлерін анықтадық.

Металл ұнтақтарынан, Electron Beam Melting технологиясына арналған 3D принтерімен басып шыққан соң, дайын өнімді зерттеу әдістері арналған әдістерді жүргіздік.

АННОТАЦИЯ

В данном дипломном проекте была рассмотрена история создания технологии EBM и определена область применения этой технологии. Мы рассматривали каждую технологию в отдельности, а также проанализировали преимущества и недостатки. Ознакомьтесь с технологическим методом EBM методом получения металлического порошка сплава VT6. При изготовлении изделий мы освоили несколько методов с использованием технологии Electron Beam Melting (EBM). Определились типы 3D принтеров для технологии Electron Beam Melting.

После печати из металлических порошков, 3D-принтера для технологии Electron Beam Melting, мы провели методы исследования продукции.

ANNOTATION

In this diploma project, the history of the creation of EBM technology was considered and the scope of this technology was defined. We looked at each technology separately, and also analyzed the advantages and disadvantages. Get acquainted with the technological method of computer by the method of obtaining metal powder of VT6 alloy. In the manufacture of products we have mastered several methods using Electron Beam Melting technology (EBM). The types of 3D printers for Electron Beam Melting technology were determined.

After printing from metal powders, a 3D printer for Electron Beam Melting technology, we conducted product research methods.

Мазмұны

Кіріспе	7
1 Электронды-сәулелі балқыту (EBM) жабдықтары мен технологиясы	8
1.1 EBM технологиясының пайда болу тарихы	8
1.2 3D баспа технологиясы	11
1.3 EBM әдісімен алынған металл бұйымдарының ерекшеліктері	19
2 Зерттеу объектісі мен әдістері	23
2.1 Зерттеу объектісі және қорытпаның қасиеттері	23
2.2 EBM әдісімен баспаға арналған ВТ6 қорытпасының металл ұнтағын алу әдісі	24
2.3 3D объектіні дайындау үшін EBM әдісі	24
2.4 3D металл нысанының макроанализ әдістемесі	25
2.5 Ультрадыбыстық компьютерлік томография әдісі	26
3 Жүргізілген зерттеу нәтижелері	29
3.1 Металл 3D нысанның макроталдауы	29
3.2 EBM әдісімен ВТ6 қорытпасының қорытылған ұнтағының микроструктуралық талдауы	30
3.3 Ультрадыбысты компьютерлік томографияны пайдалану арқылы төлкенің сапасын зерттеу	33
Қорытынды	35
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	36

КІРІСПЕ

Жаңа өндірістік іс жүзінде адамның өнім өндіру процестеріне қатысуының түбегейлі қысқаруы байқалады және өндірісті толық автоматтандыруға көшу. Ең перспективалды соңғы өнімді жаппай өндірудегі бағыт аддитивті технологиялармен қамтамасыз ету болып табылады. Аддитивті технологиялардың негізгі артықшылықтары: кез келген геометриялық күрделі бірегей бөлшектерді жасау мүмкіндігі, бұйымды өндіріске беру кезеңінде функционалдық оңтайландыруды жүзеге асыру мүмкіндігі, құрал-сайманды жаракты дайындау қажеттілігінің болмауы, жоңқалар түріндегі материал мен өндіріс қалдықтарының шығынын азайту, өндірістің ұтқырлығы.

Қазіргі әдебиетті талдау EBM әдісімен 3D өнімдерін алу үшін жиі қолданылатын материал титан қорытпаларының ұнтақтары болып табылатынын көрсетті. Ең әмбебап өнеркәсіптік қорытпа Ресейде және шетелде титан негізінде BT6 маркалы қорытпа болып табылады. Қорытпаның сәтті легирленуінің арқасында, оны -250°C -ден $+350^{\circ}\text{C}$ -ге дейінгі температура кезінде пайдаланылатын конструкциялардың жауапты мақсаттағы бұйымдар мен бөлшектер үшін ұсынады. Оны ұшақтардағы арқалықтарды және кронштейндер жасау үшін, зымырандағы жоғары қысымды отын жүйелеріне арналған баллондарды дайындау үшін қолданады. Сондай-ақ одан тікұшақтың көтергіш бұрандасының төлкелері, шасси біліктері, осьтік топсалардың корпустары, қалақтардың ұштықтары сияқты жауапты бөлшектер дайындалады. Сонымен қатар, титан бекіткішті болат бекіткішпен салыстырғанда үлкен шаршау беріктігіне ие деп есептеледі. Алайда, барлық аталған бұйымдар жоғары сенімділік конструкцияларының бөлшектеріне жатады және бөлшектерді өндірудің әрбір технологиялық кезеңінде сапаны бақылауға ерекше талаптар мен дайындау технологиясына аса назар аударуды талап етеді. Бөлшектерді жасаудың бірінші кезеңдерін бақылауға ерекше назар аудару қажет: 3D металл – нысанның макро және микроқұрылымдарын қалыптастыру. Сондықтан конструкциялардың бөлшектерін немесе дайындамаларды алу үшін металл ұнтақтарды EBM (Electron Beam Melting) электронды-сәулелі зеңбірекпен балқыту технологиясын қолдану өндірістік процестер үшін өзекті бағыт болып табылады. EBM әдісімен алынған BT6 қорытпасы Ұнтағынан жасалған дайын 3D-нысанның сапасы мен құрылымын зерттеу.

1 Электронды-сәулелі балқыту жабдықтары мен технологиясы (EBM)

Электронды-сәулелі балқыту (Electron Beam Melting немесе EBM) - металл бұйымдарын аддитивті өндіру тәсілі. Бұл технологияда балқыту үшін энергия көзі ретінде электрондық зеңбіректер деп аталатын электрондық сәуле шығарғыштар қолданылады. Вакуумдық камерада жоғары қуатты электронды будалардың көмегімен металл ұнтақтарды қабаттап қорытады және нәтижесінде сандық үлгінің контурын алады.

Бұл үдерісті келесі түрде сипаттауға болады:

– арнайы платформаға металл ұнтағын себеді немесе шашады және оны пышақтың немесе біліктің көмегімен тегістейді;

– компьютерлік үлгіден алынған координаттар бойынша материалдың беті электронды-сәулелі зеңбіректен жасалған электрондармен бомбалады.

Бір уақытта материалдың бірнеше бөлігін бірден "сәулелендіруге" болады. Бұл өнімді өндіру процесін айтарлықтай жеделдетеді.

Камерада жасалған вакуумда 1×10^{-4} бардан кем қысым бар және металды қыздыру процесіне ықпал етеді, өйткені кез келген газ немесе ауа ортасы электрондар үшін тым жоғары кедергі жасайды. Мұндай вакуумдық ортада балқыту кезінде жоғалтылатын материалдың қасиеттері сақталады.

Осы арқылы барлық бөлшекті біркелкі қыздырылған және салқындату процесі басып шығару аяқталғаннан кейін бүкіл бетіне бір мезгілде жүреді.

1.1 EBM технологиясының пайда болу тарихы

80-ші жылдардың басынан бастап 3D-басып шығарудың түрлі әдістері пайда болды. 1986 жылы Карл Декарт өзінің технологиясын ұсынды. Оның мәні ұнтақты материалдарға (композиттер, пластик, металлдар) әсер етті, ол оларды балқытуға әкелді және осылайша қабат сыртынан бөлшектер қалыптасты.

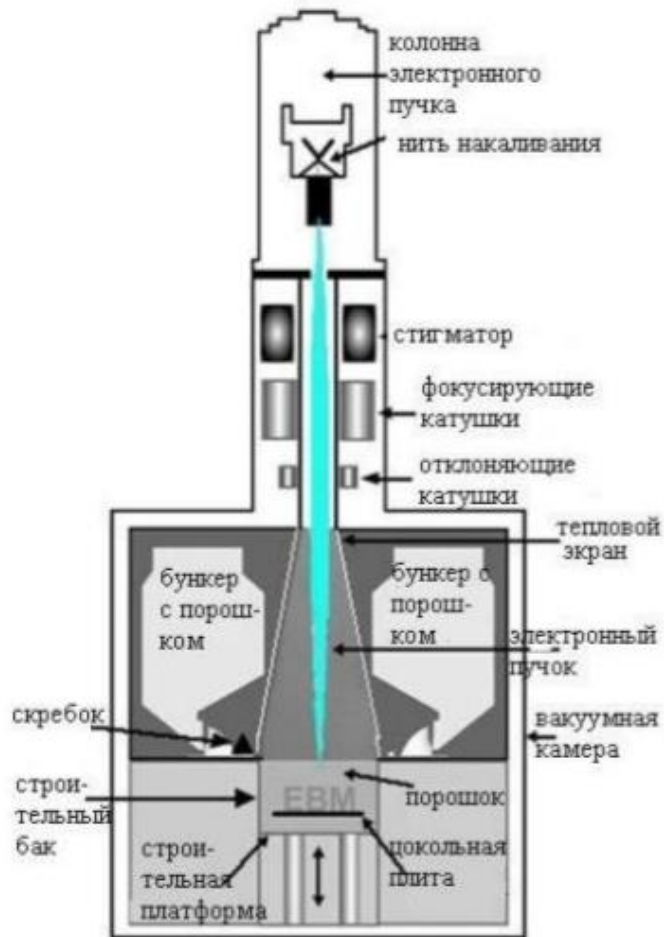
1997 жылы Arcam AB шведтік компаниясы құрылды, ол осы технологияны жетілдіріп, оны электронды-сәулелі балқыту деп атады (Electron Beam Melting, EBM). Электронды-сәулелі балқыту процесін коммерциялық негізге Arcam (Швеция) компаниясы 1997 жылы қойды.

Олардың қызметінің негізгі бағыты титан мен оның қорытпаларынан, сондай-ақ медициналық имплантаттардан аэроғарыштық сала үшін протездер, бөлшектер өндірісі болып табылады. Бүгінгі таңда компания әлемнің 10 еліне 100-ден астам жүйені сатты.

Сканерлейтін бума металл ұнтағын (қалыңдығы 70 – 250 мкм) ішінара балқытады, оны жентектендіреді. Жабыстырылған ұнтақ книзаға бағытталған бұйымның айналасындағы үстіңгі қабатқа арналған тіректі қамтамасыз етеді, ал өңдеуден кейін тазаланады, осылайша ол қайтадан пайдалану үшін пісіруге ұшырамаған ұнтақтың көп бөлігін сақтауға мүмкіндік береді. EBM процесінің лазерлік процестерден тиімді айырмашылығы-бұл жоғары сканерлеу жылдамдығы, бұл өнімді дайындау уақытын қысқартуға мүмкіндік береді, және аз термиялық кернеулер. Бірақ, бұйым бетінің сапасы лазерлік процестердің нәтижесіне жол береді, өйткені пайдаланылатын материалдар шеңбері электр тогын өткізуші металл ұнтақтармен шектеледі. EBM процесі терең вакууммен камерада орындалады, бұл оны өте шығынды етеді, бірақ тотығуға сезімтал материалдармен жұмысты жеңілдетеді, бұл, мысалы, медициналық имплантаттарды дайындау үшін және кейбір авиациялық қосымшаларда маңызды.

Бөлшектерді өндіру әдісі арқылы металл ұнтақтан жасалған металл модельдерін жоғары тығыздықты қалыптастыру мүмкіндігі бар. Механикалық қасиеттері бойынша соңғы өнім құйылған бөлшектерден іс жүзінде ерекшеленбейді. Жабдық үш өлшемді сандық үлгіні қамтитын файлдан мәліметтерді оқиды және ұнтақ материалының дәйекті қабаттарын салады. Модель қабаттарының контурлары электрондық бумен, жанасу орындарында балқитын ұнтақ жасалады. Балқыту вакуумдық жұмыс камераларында жүргізіледі, бұл оксидациялауға сезімтал материалдармен жұмыс істеуге мүмкіндік береді– мысалы, таза титанмен.

Балқыту процесі 1-суретте көрсетілген, онда электронды зеңбіректің, балқытылатын дайындаманың және кристаллизатордың өзара орналасуы көрсетілген. Будың қуатының үлесі дайындаманың шетіндегі балқытылатын қорытпаны балқыту температурасына дейін қыздыру мақсатында қолданылады. Қорыта отырып, тамшылар түріндегі материал кристаллизатордағы балқыту ваннасына ағады. Балқытудың жылдамдығы балқытылатын дайындамаға келетін будың қуатына пропорционалды. Будың тағы бір бөлігі кристаллизаторға жеткізіледі. Ол ваннадағы материал кристаллизатордың қабырғасына дейін балқытылған күйде болуы үшін жеткілікті болуы тиіс. Бұл тегіс бүйір беті бар құймаларды алуға мүмкіндік береді. Егер мұндай құйманы қалыптастырудан басқа балқыманы тазарту қажет болса, онда кристаллизаторға берілетін қуатты арттыру керек.



1 - сурет - Электронды -сәулелі балқыту процесінің схемасы

Материалдар таза металл ұнтағынан тұрады. Электронды сәулелі балқыту 700-1000°C режиміне жететін жоғары фондық температураларда жүргізіледі, бұл салқындатылған және ыстық қабаттар арасындағы температура градиенті тудыратын қалдық механикалық кернеуден азап көрмейтін бөлшектерді өндіруге мүмкіндік береді.

Шығыс материалдары байланыстырушы толтырғышсыз таза металл ұнтағынан тұрады, ал дайын модельдер кеуектігімен ерекшеленбейді. Осылайша, қажетті механикалық беріктікке жету үшін басылған үлгіні күйдірудің қажеті жоқ. бұл аспект EBM-ді іріктемелі лазерлі балқытумен (SLM) бір қатарда және іріктемелі лазерлі жентектеу технологияларынан (SLS) және металдарды тікелей лазерлі жентектеу технологияларынан (DMLS) бөлек жіктеуге мүмкіндік береді.

Электронды-сәулелі балқыту құюмен үйлесуі мүмкін. Құймамен үйлесімге жету үшін қажетті элемент-материалды жеткілікті мөлшерде сұйық балқытатын және қолдайтын сызықтық тигель. Құю тигелі футерленген немесе мыс су салқындататын болуы мүмкін. Тигельдер мен сауытқорамдардың қыш футерлеуі балқымамен футерлеу материалының

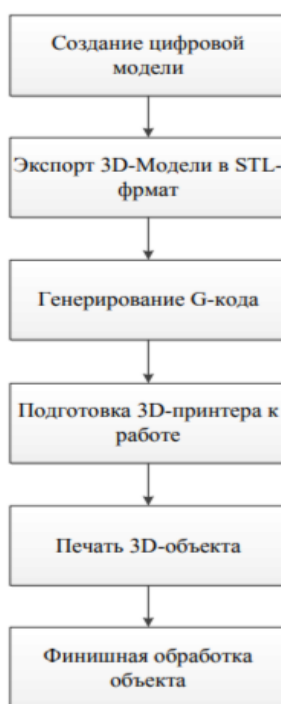
реакциясы болмаған кезде немесе олар өнімнің сапасына зиян келтірмеген кезде ғана рұқсат етіледі.

Электронды-сәулемен балқытудың даму перспективалары ядролық, аэроғарыштық техника, мұнай-химия өнеркәсібі, электроника және химиялық технология жоғары температура кезінде беріктік қасиеттерін сақтайтын немесе жоғары химиялық төзімділікке ие аса таза материалдардағы қажеттіліктеріне негізделген. Қазіргі уақытта әлемде өнеркәсіпте жұмыс істейтін жүздеген электронды-сәулелі балқыту қондырғылары бар.

Электронды-сәулемен балқыту ниобий мен танталдан жасалған құймалар өндірісінде берік позицияны алады. Титан және басқа да жоғары белсенді және баяу балқитын металдар, сондай-ақ кремний металлургиясында өндірістің қайтарымды қалдықтарын қайта өңдеу тәсілі ретінде электронды-сәулелі балқытудың мәні артады.

1.2 3D-баспа технологиясы

ЕВМ әдісімен 3D-басып шығару технологиясы 2-суретте көрсетілген келесі кезеңдерден тұратын виртуалды үлгілерден физикалық объектілерді алудың жоспарланған дәйекті процесі.



2 - сурет - 3D-баспа кезеңдерінің схемасы

1 кезең: сандық модель құру: 3D-басып шығаруды орындау үшін алдымен автоматтандырылған жобалау құралдары – CAD-бағдарламалар

көмегімен Болашақ физикалық объектінің 3D-моделін жасау қажет, мысалы, "Компас", "AutoCAD", "SolidWorks" және т. б.. кейде виртуалды модельдерді жасау барысында 3D-сканерлерді қолданамын, бірақ бұл жағдайда нысандардың дәлдігі азаяды. Жоғары дәлдікті нысанды алу үшін оны қолмен жасау ұсынылады.

2 кезең: 3D моделін STL-форматқа экспорттау: 3D принтер жобалау объектісін тануы үшін, дайындалған 3D моделін STL-формат файлына экспорттау керек. Жоғары дәлдік параметрін таңдап, модельді үшбұрышқа бөлу дәрежесі (егер триангуляция әдісі қолданылса) жоғары болады, бөлу тығыз болады, алынған файлды өңдеу көп уақыт алады, бірақ нәтижесінде бөлшектің жоғары сапалы беті шығады. Ал, керісінше, дәлдіктің өрескел параметрін таңдағанда, бөлу тығыздан аз болады, алынған файл қатты дискідегі аз орын алады, ал оны өңдеу процесі едәуір жылдамырақ болады. Бірақ бұл беттің сапасы әлдеқайда төмен болады. Объектіні бөлектеу тәсілін таңдау бұйым бетінің сапасына және мөр алдында үлгіні өңдеуге мүмкіндік беретін жұмыс машинасының қуатты сипаттамаларына қойылатын талаптарға байланысты.

3 кезең: басқарушы G-кодты генерациялау: беттегі шоғыр қозғалысының траекториясын қалыптастыру үшін қажетті кодтар алу үшін, фокустау тогының, сәуле тогының, кернеуді жылдамдататын және т.б. белгіленген мәндері бар "Sliser.exe". Бұл бағдарлама қажетті бөлшектің STL форматын жүктейді, бөлшекті қабаттар бойынша қиып, G-кодтар файлын жасайды. Бағдарламада қабаттың қалыңдығы қойылады.

Оператор басқару бағдарламасы арқылы G-коды бар мәтіндік файлды жүктейді. 2-сурет-бір-бірімен жұмыс істеу үшін, бір-бірімен жұмыс істеу үшін, бір-бірімен жұмыс істеу үшін, бір-бірімен жұмыс істеу үшін, бір-бірімен жұмыс істеу үшін, бір-бірімен жұмыс істеу үшін, бір-бірімен жұмыс істеу үшін.

2 - сурет - "Ethernet" интерфейсі бойынша деректерді тарату TCP/IP желілік протоколын пайдалана отырып жүзеге асырылады.

Ең танымал бағдарлама-слайсерлер KISSlicer, Cura, Skeinforge, Slic3r және т.б. сияқты бағдарламалар болып табылады.

1.3 3D-басып шығаруға арналған материалдар

Металл ұнтақтары-3D басып шығару үшін ең берік материалдардың бірі. Металл 3D принтерінен алынған өнімдер көптеген параметрлер бойынша

аналогтардан асып түседі. Металл ұнтағынан жасалған бұйымдардың негізгі сипаттамалары

- жоғары сенімділік;
- кез келген геометрия;
- металдар мен олардың қорытпаларын үлкен таңдау;
- жүн беті;
- қорытпаның кернеулігінің болмауы;
- кез келген пост-өңдеу;
- қолдау материалы қайта басып шығару үшін пайдаланылуы мүмкін.

ЕВМ әдісімен 3D-басып шығару үшін металл ұнтақтарының түрлері

Титан немесе Ti-6Al-4V. Медицинада, авиақұрылыста, машина жасауда, өнеркәсіпте қолданылатын жоғары берік биосместимый материал.

Титан Англияда 1791 жылы ашылды. Крол процесінің пайда болуы арқасында титан коммерциялық өнім болды. Реттік нөмірі 22 элементтердің периодтық жүйесіндегі Титан (Ti) өтпелі металл ретінде анықталады. Титан ең көп таралған элементтердің бірі (ең көп таралған элементтердің ондығына кіреді). Материал әсіресе коррозияға төзімді және жоғары механикалық қасиеттерімен қоса төмен үлес салмағына ие. Таза титанның тығыздығы 4.54 г / см^3 және 1677°C балқу температурасы бар.

Ti-6Al-4V қорытпасы-ЕВМ процесінде қолданылатын ең көп таралған материал. 3-суретте осы қорытпаның негізінде жасалған үлгі көрсетілген.

Құрамы бойынша 6% алюминий, 4% ванадий, қалғаны-титан. Сондай — ақ ұсақ қоспалар болуы мүмкін-максимум 0.25% темір және 0.2% оттегі.



3 - сурет - Титан қорытпасынан жасалған бөлшектердің макеті

Қолданудың ең жоғары температурасы 400 °С, тығыздығы — 4420 кг/см², Юнг модулі — 100 ГПа, беріктілік шегі — 1000 МПа. Салыстыру үшін стандартты күйдірілген тот баспайтын болат тығыздығы 8000 кг/см², Юнг модулі 193 ГПа, беріктік шегі — барлығы 570 МПа. Балку температурасы қорытпа — шамамен 1600 °С.

Ti-6Al-4V 3D баспа материалын қолдану аясы

Аэроғарыштық сала:

- Газтурбиналық қозғалтқыштардың бөлшектері, қаңқалар;
- Энергетика;
- Бу турбиналарының қалақтары, жылу алмастырғыштар.

Химиялық өнеркәсіп:

- Химикаттарды сақтауға арналған сыйымдылық.

Отын өндіру:

- Бензинге, еріткіштерге және басқа да көмірсутектерге төзімді бөлшектер

Медицина:

- Сан және тіс импланттары.

Спорт және демалыс:

- Теннис ракеткасы, гольф тұмсығы, зергерлік бұйымдар.

1-кестеде титан қорытпасының техникалық сипаттамалары берілген

Кесте 1 Титан қорытпасының техникалық сипаттамалары

	Ti-Al6-V4 (1)	TiAl6Nb7 (3)	Таза Титан (1)
Беріктік шегі (Мпа)	1286+/-57	>972	>290
Ағымдылықтың ығысуы (Мпа)	1116+/-61	>865	>180
Қирау кезіндегі деформация (%)	8+/-2	>10	>20
Салыстырмалы тарылу	30+/-10	-	-
Юнг Модулі (Гпа)	114+/-4	-	105
Қаттылығы Виккерс бойынша (HV10)	384+/-5	360	130-210
Беттің кедір – бұдырлығы (µм)	36+/-4	36+/-4	36+/-4

Аспаптық және тот баспайтын болат. Түрлі қорытпалар – 3D баспаға арналған ең көп таралған материалдар. Олар түрлі салаларда кең ауқымды міндеттерді шешу үшін қызмет етеді, коррозияға төзімді, жоғары төзімділікке және тозуға төзімді.

Бұл материалдар термоөңдеу кезінде көміртегінің төмен мөлшерін ескере отырып, жоғары беткі қаттылыққа жетеді – тек 0,5-1,5 %. Қорытпаның компоненттерін қосу әр түрлі мақсаттарға қажетті арнайы қасиеттерді алуға мүмкіндік береді. Мысалы, коррозияға төзімді болат да алынуы мүмкін. Бұл тот баспайтын болат деп аталады, оның түрлері аз азот пен фосфордың (0,025% - дан аз) болуымен ерекшеленеді. SLM Technology арқасында өндіріс және болат негізіндегі материалдарды қолдану мүмкіндігі үнемі дамып келеді. SLM компаниясы шығаратын болат бұйымдар біртекті тығыз құрылыммен сипатталады. SLM өндірістік процесінің ерекшелігіне байланысты, белгілі бір қаттылық дәрежесіне термоөңдеудің әдеттегі әдістерімен қол жеткізе алмайды. Соңғы өндеуден кейін бұйымды қажетті кондицияға жеткізуге болады.

2-кестеде құрал-саймандық және тот баспайтын болаттың техникалық сипаттамалары келтірілген.

Кесте 2 Болаттардың техникалық сипаттамалары

	1.4540 (15-5PH) (1)	1.4404 (316L) (1)	1.2344 (H13) (1/3)	1.2709 (1/3)
Беріктік шегі (Мпа)	1100+/-50	654+/-49	1730+/-30	1015+/-34
Ағымдылықтың ығысуы (Мпа)	1025+/-25	550+/-39	-	854+/-50
Қирау кезіндегі деформация (%)	16+/-4	35+/-4	-	10+/-1
Салыстырмалы тарылу	-	59+/-3	-	26+/-9
Юнг Модулі (Гпа)	-	169+/-31	-	142+/-43
Қаттылығы Виккерс бойынша (HV10)	-	233+/-2	-	310+/-4
Беттің кедір – бұдырлығы (µм)	14+/-2	40+/-11	34+/-4	39+/-8

Алюминий және оның қорытпалары. 3D басып шығару үшін басқа металдармен салыстырғанда ең төмен тығыздыққа ие жеңіл қорытпа. Жақсы легірлеуші қасиеттері мен электр өткізгіштігі бар. автомобиль жасауда,

аэроғарыш саласында, өнеркәсіпте қолданылады. 4 - суретте алюминий қорытпасынан алынған бөлшектер көрсетілген.



4 - сурет - Алюминий қорытпасынан жасалған бөлшектердің орналасуы

Алюминий (Al, реттік нөмірі 13 периодтық элементтер жүйесінде) жеңіл металдар тобына жатады және қатты түрде табиғи жолмен алуға болмайды. Алюминий бокситтерден алынады. Боксит (алюминий кені) — жер қыртысындағы ең таралған заттардың бірі. Алюминий $2,7 \text{ г / см}^3$ тығыздығы және 660°C балқыту температурасы бар. Беріктігі төмен болғандықтан оны кремний, магний, мыс, марганец және мырыш қорытпаларын дайындау үшін пайдаланады. SLM компаниясы шығаратын алюминийден жасалған бұйымдар біртекті, бос құрылымсыз сипатталады. SLM өндірістік процесінің ерекшелігіне байланысты, қарапайым өңдеу әдістері жоғары қаттылыққа қол жеткізуге мүмкіндік бермейді. Келесі өңдеулер арқасында өнімді қажетті күйге жеткізуге болады.

3-кестеде алюминий қорытпасының техникалық сипаттамалары келтірілген.

Кесте 3 Алюминий қорытпасының техникалық сипаттамалары

	AlSi12 (2)	AlSi10Mg (2)	AlSi7Mg (2)
Беріктік шегі (Мпа)	409+/-20	397+/-11	294+/-17
Ағымдылықтың ығысуы (Мпа)	211+/-20	227+/-11	147+/-15
Қирау кезіндегі деформация (%)	5,1	6+/-1	3,3
Салыстырмалы тарылу	-	8+/-1	-
Юнг модулі (Гпа)	-	64+/-10	-
Қаттылығы Виккерс бойынша (HV10)	110	117+/-1	105
Беттің кедір-бұдырлығы (µм)	34+/-4	-	31

Кобальт-хром. Коррозияға төзімді биосместимый материал. Кобальт-хром қорытпалары медицинада және стоматологияда кеңінен қолданылады. Жоғары қаттылықтың арқасында бұл қорытпалар тіс протездерін жасау үшін қолданылады. Тағы бір фактор – қорытпалардың биосайымдылығы. Қатты материал бола отырып, кобальт хром әдетте құю үшін қолданылады және механикалық өңдеуге ұшырамайды. Кобальт-хром қорытпаларын қолданудың басқа да мүмкіндіктері – жамбас-сан немесе тізе буындарының протездері мен имплантаттарын дайындау. Кобальт-хром қорытпасының негізінде алынған бұйым 5 - суретте көрсетілген.



5 - сурет - Кобальт-хром қорытпасынан жасалған бөлшектердің макеті

Кобальт-хром қорытпалары медицинада және стоматологияда кеңінен қолданылады. Жоғары қаттылықтың арқасында бұл қорытпалар тіс протездерін жасау үшін қолданылады. Тағы бір фактор – қорытпалардың биосайымдылығы. Қатты материал бола отырып, кобальт хром әдетте құю үшін қолданылады және механикалық өңдеуге ұшырамайды. Кобальт-хром қорытпаларын қолданудың басқа да мүмкіндіктері – жамбас-сан немесе тізе буындарының протездері мен имплантаттарын дайындау.

SLM компаниясы шығарған кобальт-хром қорытпаларынан жасалған бұйымдар біртекті, бос құрылымы жоқ. Кобальт-хром механикалық өңдеуге нашар болғандықтан, SLM осы материалдан объектілерді жасаудың жылдам және үнемді әдісін ұсынады. Кобальт-хром қорытпасы келесі қасиеттерге ие, атап айтқанда, жоғары қаттылыққа, үлкен беріктікке, БИОС сыйысымдылыққа және коррозияға төзімділікке ие.

4-кестеде хром қорытпасының кобальтының техникалық сипаттамалары келтірілген.

Кесте 4 Кобальт-хром қорытпасының техникалық сипаттамалары

	CoCr (F75) (1)
Беріктік шегі (Мпа)	1050+/-20
Ағымдылықтың ығысуы (Мпа)	-
Қирау кезіндегі деформация (%)	-
Салыстырмалы тарылу	-
Юнг Модулі (Гпа)	-
Қаттылығы Виккерс бойынша (HV10)	345
Беттің кедір-бұдырлығы (μм)	29+/-4

Никель қорытпалары (6 - сурет). Материал тамаша механикалық беріктігі және дәнекерленуі. Авиацияда, энергетикада, аспаптар өндірісінде және басқа салаларда қолданылады. Никель қорытпасының негізінде алынған өнім 6-суретте көрсетілген.



6 – сурет - Никель қорытпасынан жасалған бөлшектердің макеті

1960-шы, IN 718 басында әзірленген жұмыс температурасы 650°C төмен авиациялық қозғалтқыштардың көптеген құрамдас бөліктері үшін әлі күнге дейін маңызды материал болып қала береді. Никель қорытпалары мынадай қасиеттерге ие, коррозияға төзімді, 700°C дейінгі температураларда жоғары механикалық беріктікке және көрнекті дәнекерлеуге төзімді.

Инконель 718 – бұл алюминий мен титанның аз мөлшерімен қатар темірдің, ниобий мен молибденнің едәуір мөлшерін қамтитын дисперсиялық беріктікке қабілетті никель-хром қорытпасы. Бұл қорытпаның коррозиялық төзімділігі мен жоғары беріктігін көрнекті Дәнекерлеумен және дәнекерлеуден кейінгі жарықтардың пайда болуына төзімділікпен ұштастырады. Инконель тойтарысқа бейімділігіне байланысты өңдеуден тұрады. Сондықтан Инконель 718 сияқты қорытпаларды терең, бірақ баяу кесу арқылы қатты балқитын құралды пайдалана отырып өңдейді. Қорытпалар, 6

сериялы Инконель сияқты, керісінше, түсірудің аз тереңдігімен және жылдамдығы 40 м/мин шамасында өңделеді.

5-кестеде никель қорытпаларының техникалық сипаттамалары келтірілген

Кесте 5 Никель қорытпаларының техникалық сипаттамалары

	Hastelloy X (1)	Inconel 625 (1)	Inconel 718 (1)	Inconel 939 (1)
Беріктік шегі (Мпа)	772+/-24	961+/-41	995+/-43	1009+/-35
Ағымдылықтың ығысуы (Мпа)	595+/-25	707+/-41	689+/-67	735+/-41
Қирау кезіндегі деформация (%)	20+/-6	33+/-2	29+/-4	30+/-4
Салыстырмалы тарылу	21+/-7	51+/-5	47+/-4	45+/-7
Юнг Модулі (Гпа)	162+/-11	182+/-9	173+/-17	177+/-8
Қаттылығы Виккерс бойынша (HV10)	248+/-4	285+/-3	306+/-7	302+/-3
Беттің кедір- бұдырлығы (µм)	40+/-14	28	34+/-10	-

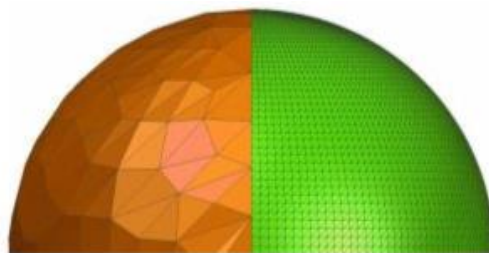
Басқа құймалар мен металдар. 3D принтерлері басып шығару үшін материалдардың кең жиынтығын пайдалана алады. Машина металдың кез келген басқа түрлерімен жұмыс істеу үшін тең болуы мүмкін: вольфрам, никель кадмий қорытпалары, темір, мыс және т. б.

1.4 EBM әдісімен алынған металл бұйымдарының ерекшеліктері

Үш өлшемді металл бұйымдарын басып шығару – болашақ технологиясы. Қазір ол прототиптеудің заманауи әдісіне тамаша балама болып отыр. Одан әрі метал басып шығаруды жүзеге асыратын 3D-принтерлер металлургия салаларында, машина жасауда, құрылыс саласында және т.б. кеңінен танымал болады.

Беттің сапасын анықтайтын маңызды параметр-бастапқы үшөлшемді CAD-моделінің сапасы. Виртуалды модель үшбұрыштардан жасалған тұйық тор түріндегі 3D беті болып табылады. Беттің кедір-бұдырлығы жасау сапасына тікелей байланысты торлар, сапасы төмен үш өлшемді модельді пайдаланған кезде файлға салынған макрокероховаттылық физикалық

модельді құру кезінде көрінуі және принтердің сапасы немесе таңдалған технологияның тиімділігі туралы жалған түсінік беруі мүмкін (6 - сурет).



6 - сурет - Шар үлгісі: сол жақта-төмен сапалы, оң жақта-жоғары



CAD-модель SLA-модель құю, болат

7 - сурет - CAD-модельдің төмен сапасы құю бетінің төмен сапасын тудырады

AM-машиналарды өндіруші компаниялардың сайттарында нақты жобаларды орындаудың әртүрлі мысалдарының көп санын табуға болады. Әдетте ең сәтті және тартымды мысалдар "ілінеді". Бірақ, егер бұл иллюстрацияларға мұқият қарасақ, онда модельдің бетінде өзіндік текстураны табуға болады, ол бойынша модель бетінің күтіліп отырған тазалығы туралы түсінік жасауға болады.

Көптеген жағдайларда үлкен немесе кіші кедір-бұдырлықтың тұтынушы үшін принципті маңызы жоқ. Қажет болған жағдайда модельдің бетін қолмен өңдеу (тегістеу, жылтырату, бояу, лактау) арқылы жақсартуға болады. Бірақ кейбір жағдайларда бұл техникалық қиын немесе модельдің дәлдігін (геометриясын) жоғалтуға әкелуі мүмкін. Әдетте, модель бетінің кедір-бұдырлығы аз болса, соғұрлым AM-машина бағасы жоғары. Бөлшектер бетінің сапасы, Аммашиналарды таңдау критерийлерінің бірі. Бөлшектердің төмен сапасын алуды болдырмау үшін сапаны бақылау бойынша жұмыстарды жүргізу қажет.

Титан құймаларындағы ішкі қатпарлықтарды (раковиналар, тесіктер, қопсытқыштар, қоқыстар) рентгеноскопия арқылы анықтайды. Құйма титан қорытпалары жоғары герметикалыққа ие және қирауға әкелетін қысымға дейін ағуды байқамайды. Ақауды түзетуде статикалық беріктіктің сипаттамаларын іс жүзінде төмендетпейтін ақауларды дәнекерлеу үлкен рөл атқарады, шаршау сипаттамалары 25-30 % - ға азаяды.

Ультрадыбыстық томография – өту әдісін немесе эхо әдісін пайдалана отырып, бақылау объектісінің қималарының екі өлшемді бейнелерін алу. Әдетте түрлі ракурстардың астында дыбысты және суреттерді компьютерлік қайта құру қолданылады.

Рентгендік томографиядан айырмашылығы, ультрадыбыстық томографияда зондирлеуші импульстердің кең жолақты көздерімен пайдаланылған, өткен және шағылысқан сәулелену пайдаланылады. Көздер мен қабылдағыштар зерттелетін объектіден барлық жағынан орналасады, тіркелетін сигнал уақытта жазылады, бұл жоғары рұқсатты алуға мүмкіндік беретін деректердің үлкен көлемін өңдеуге мүмкіндік береді.

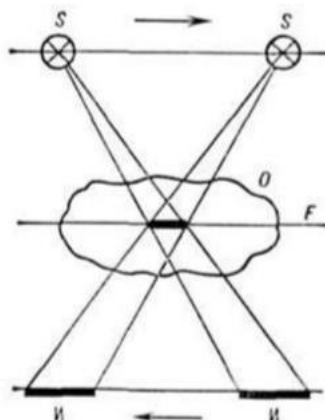
Ультрадыбыстық томография: импульстік эхо-әдісіне негізделген әдіс, ол дәстүрлі ультрадыбыстық дефектоскопиядан екі басты ерекшелікпен ерекшеленеді, бұл бақылау объектісінің ішіндегі кеңістікті шолу тәсілі және бақылау нәтижелерін ұсыну тәсілі.

Дефектоскопияның ультрадыбыстық әдістері және, атап айтқанда, эхо - импульстік әдіс бақылаудың ең әмбебап әдістерінің қатарына жатады. Олар акустикалық мөлдір конструкциялық материалдардан (металдар, пластмасса және т.б.) жасалған бұйымдардың әр түрлі қасиеттерін бақылауға мүмкіндік береді. Ең танымал және кең тараған әдіс бір арналы датчикті қолдану арқылы бақылау болып саналады, оның бір таратқыш және бір қабылдағыш элементі бар (көбінесе екі функцияны орындайтын бір біріктірілген элемент қолданылады).

Ультрадыбыстық аспаптар өте жоғары техникалық сипаттамаларға және сервистік мүмкіндіктерге ие. Олардың сезімталдығы ұсақ құрылымды болаттарда миллиметрдің ондық үлесіндегі ақауларды (немесе қатпарлығын) анықтауға мүмкіндік береді, оның рұқсат ету қабілеті 0,5 – 1 мм деңгейінде болады.

Рентгендік томография-рентгендік сәулеленудегі әр текті объектілердің құрылымын қабаттап зерттеу тәсілі, ол заттың құрамы мен тығыздығына рентгендік диапазондағы m сіңіру коэффициентінің тәуелділігіне негізделген; есептеу томографиясының әдістерінің бірі. Бұл тәсілдің дәстүрлі моделі бастапқыда ішкі органдардың көлеңкелі бейнелерінің контрастын арттыру үшін медициналық рентгенографияда ұсынылды, келтірілген (8-сурет). S сәулелену көзінің бекітілген жағдайы кезінде фотопенкада шоғыр өтетін о объектісінің барлық қабаттарының проекцияларының жиынтығы болып табылатын көлеңкелі сурет пайда болады. Егер түсіру процесінде көзді және фотопенканы (немесе көзді н объект, объект және фотопенканы) шоғыр экспозиция процесінде объектінің Сол бір учаскесі F қабатындағы ғана өтетіндей етіп, синхронды жылжытса, онда осы учаскенің бейнесі неғұрлым

анық болады, басқа учаскелердің бейнесі "майланған" болады. Бұл әдіс зерттелетін учаскелерге проекциялар салудан толық құтылуға мүмкіндік бермейді.



8 - сурет - Рентген томографиясының классикалық схемасы.

Рентгеноскопия принципі өте қарапайым. Зерттелетін объект рентген сәулесінің көзі мен детектор (қабылдағыш) арасындағы айналмалы үстелге орналастырылады. Микрофокус көзі сәуле шығаруды генерациялайды және осы үлгі арқылы рентген сәулелерін жібереді. Сандық тегіс панельді детектор рентген сәулелерімен қалыптастырылған зерттелетін үлгінің проекциясын бекітеді. Алынған суреттегі сұр реңктері материалдың тығыздығына және оның геометриясына байланысты. Темір, мыс, қорғасын сияқты қалың және тығыз заттар жұқа және жеңіл материалдар – пластик, қағаз, ауа сияқты қараңғы. Рентгеноскопияның жұмыс принципі 9-суретте көрсетілген.



9 - сурет - Айналмалы телебасқару үстелі бар әмбебап рентгенодиагностикалық кешен

2 Зерттеу объектісі мен әдістері

2.1 Зерттеу объектісі және қорытпаның қасиеттері

Зерттеу объектісі ретінде $L 20 \pm 1,42 \times 10 \pm 1,42 \times h 1 \pm 1,16$ мм геометриялық өлшемдері бар төлке түріндегі цилиндрлік форманың 3D үлгісі болып табылады. Титан ұнтағының химиялық құрамы МЕСТ 19807-91 40 бойынша ВТ6 қорытпасының құрамына сәйкес келеді және 6-кестеде көрсетілген.



10 - сурет - EBM әдісімен ВТ6 қорытпасынан жасалған үлгі

Кесте 6 Ti-Al6V4 қорытпасының химиялық құрамы

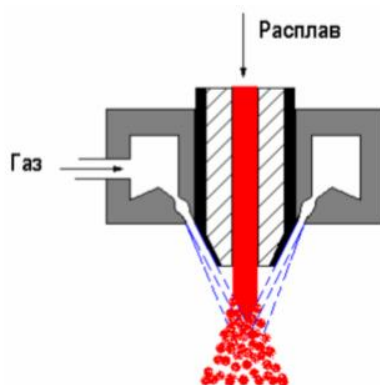
Компонент	Ti	Al	V	Zr	Si	Басқалар
Мазмұны %	>80	5,5	4,5	0,2	0,1	<1

ВТ6 қорытпасы мартенсит түріндегі титан қорытпаларына жатады. Ол жоғары технологиялығымен (соғуға, термиялық өңдеуге ұшырауы мүмкін, таза Ti қарағанда жақсы, кесумен өңделеді), химиялық құрамның біртектілігімен, кернеу концентраторларына төмен сезімталдығымен ерекшеленеді. Арқалықтар мен кронштейндерді жасау үшін авиақұрылыста кеңінен қолданылады.

ВТ6 қорытпасының негізгі легірлеуші компоненті Al болып табылады. Ол сутегі сынғыштығына бейімділікті бір мезгілде төмендете отырып, қорытпаның ыстыққа беріктігін және серпімділік модулін арттырады. Қорытпаның жұмыс сипаттамаларын арттыру үшін, сондай-ақ бар болуы беріктікті де, икемділікті де арттыратын V қоспалар қолданылады.

2.2 ЕВМ әдісімен баспаға арналған ВТ6 қорытпасының металл ұнтағын алу әдісі

3D объектісін дайындау үшін ПН-9 маркалы қорытпаның ұнтағы пайдаланылды. ВТ6 - "Нормин" өндіруші фирмалар. Ұнтақ газ атомдау әдісі арқылы жасалған. Бұл әдістің мәні балқыманы газбен тозаңдаудан тұрады және 11-суретте көрсетілген.



11 - сурет - Газды атомдау әдісімен металл ұнтағын алу тәсілі

Газды атомдау әдісімен әртүрлі диаметрлі бөлшектердің кең спектрі бар сферикалық пішінді ұнтақтарды алады. ПТН ұнтағы бөлшектерінің мөлшері 9. ВТ6 $d = 10 - 100$ мкм.

2.3 3D-объектіні дайындауға арналған ЭЕМ әдісі

"Заманауи өндірістік технологиялар" ғылыми-білім беру орталығының мамандары әзірлеген УЭЛЬС 4П500 электронды-сәулелі 3D-принтерінде 3D-нысан дайындалды (12 - сурет).



12 - сурет - Электронды-сәулелі 3D принтері УЭЛЛС 4П500

Зерттелетін металл үлгіні алу кезінде 7-кестеде ұсынылған ЕВМ қондырғысында келесі режим қолданылды. Қондырғының жұмыс режиміне шығу уақыты Құрылғы $\tau = 40$ мин.үлгіні электронды-сәулемен балқыту уақыты $\tau = 40$ мин. процесс аяқталғаннан кейін қондырғы өшіріліп, үлгі 2 сағат камерада салқындалды.

Кесте 7 ЕВМ орнату үшін басып шығару режимі

ЕВМ орнату үшін басып шығару режимі	
жедел кернеу	40кВ
ұнтақты сәулемен жылыту уақыты	20 сек
ұнтақ қабатының қалыңдығы	170 мкм
жылыту кезіндегі сәуле диаметрі	4 мм
жылыту кезіндегі электронды сәуленің жылжу жылдамдығы	16000 мм/с
электронды траекториясы ара түріндегі сәуле-сызықтар, балқу кезіндегі параллель жолдар арасындағы қашықтық	150 мкм
ұнтақ өлшемі	20-120 мкм
ұнтақ пішіні	сфералық
балқу кезіндегі электронды сәуле диаметрі	180 мкм
ұнтақты қыздыру тогының күші	4 мА
жылыту температурасы	700-750 С.

2.4 Металл 3D нысанның макроанализ әдістемесі

Макроанализді зерттелетін үлгілерді көзбен қарау жолымен және ірі ақауларды анықтау және ЕВМ әдісімен электронды сәулелі балқытудан кейін сапаны бағалау үшін аздаған үлкейгенде алынған фотосуреттердің көмегімен жүргізілді.

Микроқұрылымдық талдауға арналған шлифтер үлгінің бойлық және көлденең қималарында абразивті шеңберде және Абразив дәнінің әр түрлі мөлшері бар ажарлау терілерінде ажарлау арқылы дайындалды. Кейіннен Жылтырату шұғада хром тотығының су суспензиясын қолдану арқылы жүргізілді. Келесі құрамдағы шөптерді қолданды: 20-25% HNO_3 , 2-4% HF , қалған H_2O .

Микротруктураны түзетуден кейін тегістеу 1000 кратқа дейін ұлғаюмен Karl Zeiss (Германия) өндірісінің Observer Axio-Im жоғары класты металлографиялық микроскоптың көмегімен қарастырылды. Металлографиялық микроскоп 13-суретте көрсетілген.



13 - сурет - Observer Axio-Im класындағы Микроскоп

Микроскоп қорытпалардың фазалық және құрылымдық құрамын сандық талдау үшін бағдарламалық қамтамасыз етумен жабдықталған және келесі мүмкіндіктерге ие: металл құрылымын жарық, қараңғы және поляризацияланған жарықта қарау; экспериментті Автоматтандыру және нәтижелердің ұдайы өндірілуін; қарастырылатын өрісте бөлшектер мен фазалардың мөлшерін жоғары дәлдікпен өлшейді; бейнелерді сүзгілердің көмегімен жақсарту: жарықтығы, контрастылығы, айқындылығы; ұзындығын, ауданын, периметрін, шеңбердің радиусын, бұрыштарын қолмен өлшеу.

2.5 Ультрадыбыстық компьютерлік томография әдісі

Металл 3D үлгісінде ішкі ақауларды зерттеу үшін 14-суретте бейнеленген ИНК ТПУ ғалымдары әзірлеген роботталған ультрадыбыстық томограф қолданылды.



14 - сурет - Роботталған ультрадыбыстық томография

Қондырғының техникалық сипаттамалары 8-кестеде келтірілген.

Кесте 8 Роботтандырылған ультрадыбыстық бақылаудың техникалық сипаттамалары

Сканерлеу жылдамдығы	1 м/с дейін
Акустикалық өлшеу электроника модулі	- сәуле шығарғыштар -128 дана - қабылдағыштар - 128 дана - 0,5 ÷ 20 МГц (ЗдБ деңгейі бойынша) - бір элементті және көп элементті түрлендіргіштерді қолдау
Берілетін деректерді аппараттық өңдеу модулі	- деректерді өңдеу жылдамдығы 150 МБ / с - разрядтылығы 16 бит

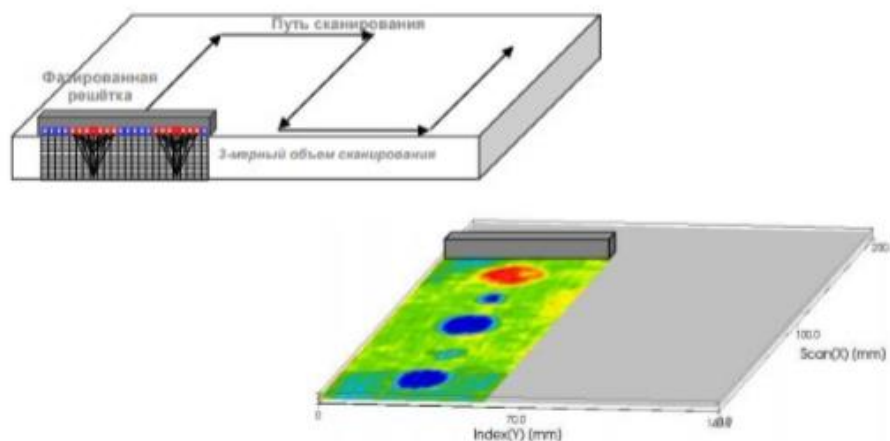
Бұл қондырғы роботталған сканерлердің дәлдігін және томографиялық қайта құру алгоритмдерінің мүмкіндіктерін, объект құрылымының үш өлшемді бейнесін визуализациялау және бұйымның нақты уақыттағы жай-күйін автоматты бағалауды қосады.

Ультрадыбыстық бақылау эхо-импульстік режимде екі әдіспен жүргізіледі: Эхо-импульстік әдіс бір элементті түрлендіргіштермен фокусталған Эхо-импульстік әдіс бақылау объектісінде синтетикалық фокусталумен фазаланған антенналық торлармен фазаланған антенна әдісі ("Digital Focus Array" принципі) бақылау жүйесінің аппараттық қамтамасыз етуі бір мезгілде 16 бір элементті түрлендіргіштерді, сондай-ақ 128-ге дейінгі элементтер санымен сызықтық фазаланған торларды қосуға мүмкіндік береді.

Әрбір бақылау операциясы кезінде немесе бақылаудың әрбір позициясында фазаланған тор түрлендіргішінің бір элементі қозғалады, ал топтың барлық элементтері (виртуалды түрлендіргіш) ультрадыбыстық эхо-сигналдарды қабылдайды.

Осылайша, әрбір бақылау операциясы кезінде бақылау көлемінің бір бөлігі қамтылады. Бақылаудың барлық позицияларындағы ақпарат ультрадыбыстың орнын ауыстыру уақытын ескере отырып, әрбір көлемді элементке көшіріледі.

Нәтижесінде бақыланатын аумақтың томографиялық бейнесі пайда болады. Параллельді компьютерлік құрылымдарды қолдану арқасында сканерлеу процесі кезінде нәтижені қайта құру және бейнелеу орындалады. Бақылау принципінің схемалық бейнесі 15-суретте көрсетілген



15 - сурет - Бақылау принципінің схемалық бейнесі

Бұл ретте бақылау нәтижелері бақылаудың әдеттегі әдістерімен салыстырғанда ақауларды анықтаудың едәуір жақсартылған қабілеттілігімен ерекшеленеді, өйткені бақылау көлемінің әрбір нүктесінде синтетикалық фокустау бақылаудың жоғары сезімталдығына және жақсартылған рұқсатқа әкеп соқтырады.

Ұсынылып отырған жүйенің негізі болып табылатын ультрадыбыстық электроника блогы физикалық тербелумен және ультрадыбыстық сәуленің фокусалауымен қарапайым фазалық торлау принциптерін, сондай-ақ бір немесе бірнеше зондтау тәсілдерінен кейін енгізудің барлық талап етілетін бұрыштарын синтетикалық қайта жаңғыртумен "Digital Focus Array" принципін іске асыратын 128 арналы Модульдер болып табылады.

Бұл модульдің базасында қарапайым (бір элементті) ультрадыбыстық түрлендіргіштер базасында Көп арналы бақылау жүйелері іске асырылуы мүмкін.

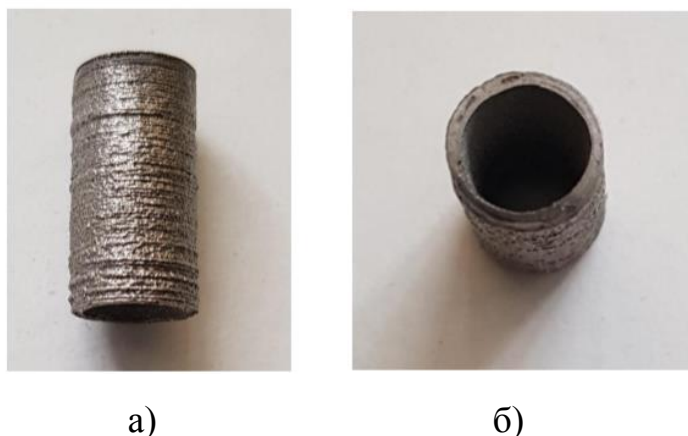
Осылайша, бұл электроника автоматтандырылған ультрадыбыстық бақылау міндеттерінің кең шеңберін шешу үшін қолданылуы мүмкін.

Томографтың көмегімен әртүрлі материалдарды зерттеуге болады: композитті материалдар, құю, дәнекерленген қосылыстар (оның ішінде биметаллдық), прецизионды өңдеу бөлшектері және т. б. қабаттану, кеуектілік, шөгінді раковиналар, қосу, ликвация, пісірілмеген, жарықтар, тесіктер сияқты ақауларды анықтау мүмкін.

3 Жүргізілген зерттеу нәтижелері

3.1 Металл 3D нысанның макроанализі

EBM әдісімен алынған BT6 қорытпасы Ұнтағынан жасалған металл объектіні кешенді зерттеу үшін геометриялық өлшемдері $L 20 \pm 1,42 \times 10 \pm 1,42 \times h 1 \pm 1,16$ мм болатын төлке үлгісі (16 - сурет) берілді.



16 - сурет – Төлкенің үлгісі: а) көлденең түрі б) тік түрі

Төлкенің макроанализі беттің едәуір кедір-бұдырлығын және қалыңдығы $h = 0,97-1,24$ мм болатын кезектесетін шығыңқы және ойпаттардан тұратын балқытылған профилі бар анық айқын білінетін көп қабатты куәландырады. Көп қабатты сұйықтық электронды-сәулелі балқыту процессінде қалыптасты, оның негізіне вакуумдағы ұнтақты қабаттап балқыту операциясы, беттерін электронды сәулемен мезгіл-мезгіл қыздырады. Беттердің айқын көп қабатты болуы ЭЕМ әдісінің басты кемшілігі болып табылады, өйткені функционалдық мақсаттағы дайындалған бөлшектердің беріктік қасиеттерін анықтайды және Беттерді кейіннен түпкілікті өңдеуді талап етеді.

Үстіңгі қабаттардың балқымалары мен ойпаттарынан тұратын, кезектесетін шығыңқы және ойпаттардан тұратын балқытылған беті профилі "термокапиллярлы әсердің" [45] нәтижесінде пайда болуы мүмкін, ол алдыңғы қалыптасқан қабаттардың балқымасының сулануының нашарлауына алып келеді және кеуектікті арттырады. Бұл әсерді жою үшін орнатудың жұмыс режимдерін мұқият таңдау қажет. Кез-келген бөлшектердің бұзылуы олардың бетінде микромефект (сызаттар, сызаттар, сынықтар) түзілуінен басталатыны белгілі [46]. Мұндай бөлшектердің жұмысқа қабілеттілігін сақтау үшін жұмыс бетінің сапасын арттыруға ұмтылу қажет. Балқу сапасын анықтау үшін төлкенің балқытылған қабаттарын жабатын жерлерде жылтыратудан кейін

бойлық және көлденең шлифтер зерттелді (17-сурет). Жер беті бастапқы сыртқы бетінен $h=0,7$ мм тереңдікке тегістелді.



а)

б)

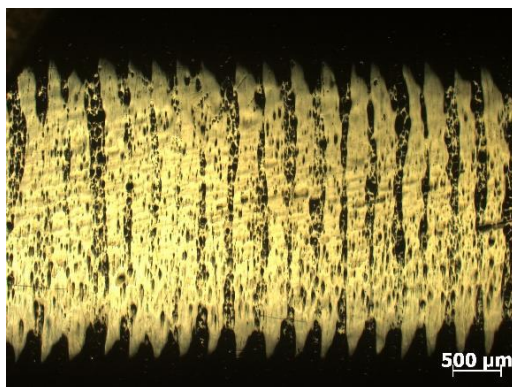
17 - сурет - Жылтыратудан кейінгі төлкенің үлгісі:

а) көлденең қима, б) бойлық қима

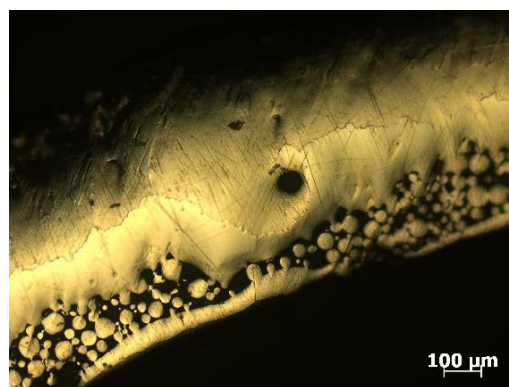
Өңделмеген шлифтерді микрошоғырды пайдаланбай қарау кезінде, әдетте, сыртқы және ішкі жағынан ірі емес учаскелермен тегіс жылтыратылған беттер көрінеді. Олар үлгіні дайындау барысында электронды буынды салу кезінде ұнтақтың үрленуі кезінде пайда болды.

3.2 ЕВМ әдісімен ВТ6 қорытпасының қорытылған ұнтағының микроструктуралық талдауы

18-суретте металлографиялық микроскоптың көмегімен қарастырылған бойлық және көлденең өңделмеген шлифтер келтірілген. Шлифтің бойлық бетінің барлық ауданы бойынша ристость байқалады. Ұнтақтың қабаттарының қабаттары қатпарланған жерлерде толық қорытылуының болмауы байқалады (18-сурет. а), сондай-ақ көлденең шлифтің ішкі бетінде (18-сурет. б)



а)

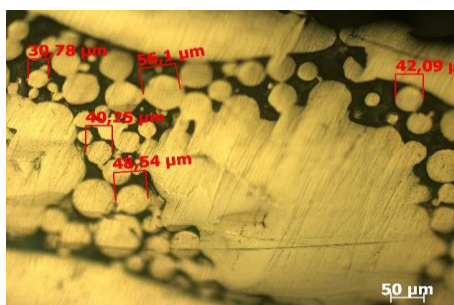


б)

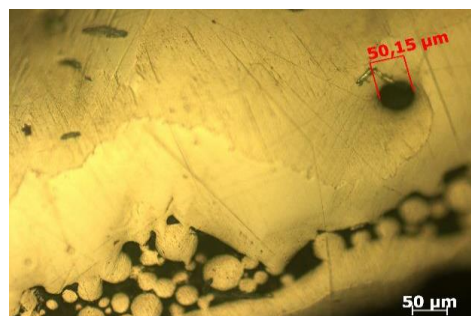
18-сурет-бойлық (а) және көлденең (б) қима үлгісінің түрі

Көптеген кеуектілігі және балқытылмаған ұнтағы бар біркелкі емес бет металл үлгісінің көлемінде де байқалады. Ол $d = (10...56)$ мкм түрлі диаметрлі сфералық формада тұрады, қолданылатын ұнтақ өлшемдерімен өлшенеді. Тесіктер ұнтақ қабатының толық емес қорытылуы нәтижесінде пайда болады және, мүмкін, келесі ұнтақты қабаттардың, сұйық ванна балқымасының жеткіліксіз сулануы мүмкін.

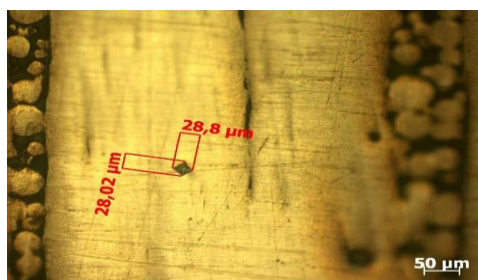
Ұнтақтың балқытылған көлемінің микро қаттылығы HV100 228 МПа (19-сурет) құрайды. Өлшенген қаттылықтың орташа мәні MEMСТ 19807-91 бойынша ВТ6 қорытылған жинақы қорытпаға қойылатын талаптарды қанағаттандырады.



а)



б)

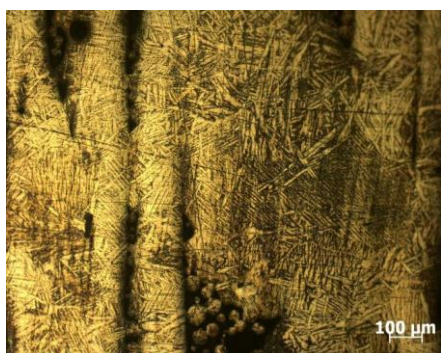


в)

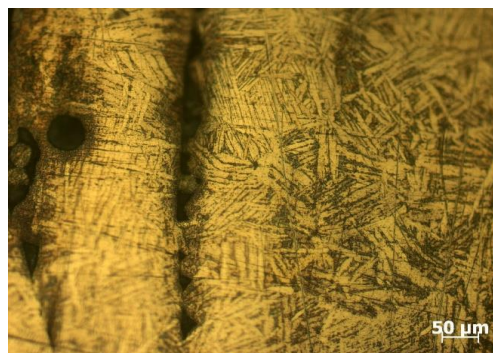
19 - сурет - Көлденең (а, б) және бойлық қиманың (в) түзілмеген бетінің шлифтері

EBM әдісімен қорытылған ВТ6 қорытпасы ұнтағының микротруктурасын анықтау үшін жылтыратылған шліфті қышқылдың су ерітіндісімен өндеуге ұшыраған. Объективтердің әртүрлі ұлғаюымен микроқұрылымның металлографиялық картиналары 35-суретте келтірілген. Электронды сәулемен қорытылған ұнтақтың микроқұрылымының, қондырғының жоғары режимдерінде, екі компонентті қорытпаларға тән типтік құйма құрылымы бар.

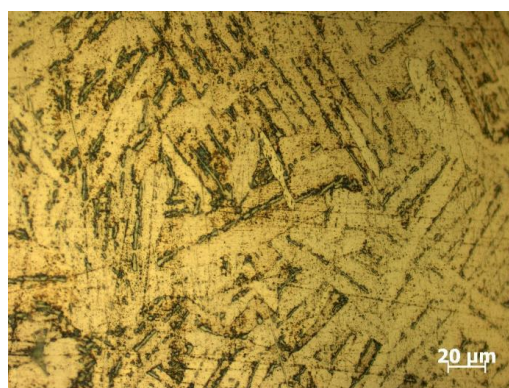
Бастапқы β -фаза дәнінің шекарасы байқалады, қалыңдығы $h = 0,5-1$ мкм ақшыл каемалы-фаза бөлінетін (20, а сурет). Жинақталған β -фаза дәндерінің мөлшері $d = 250$ мкм астам мәнге ие деп болжауға болады, яғни қорытпаның ірі Кри-болат құрылымы қалыптасты. Бастапқы β -фаза астығының ішкі аймағы пластиналардың қорабынан және әртүрлі кристаллографиялық бағыттағы кристаллдардан тұрады (күріш-нок 20 б, в). Құрылымдық құрауыштардың пластиналы түрі қорытпаның жоғары кристалдануын көрсетеді. Пластин-фазаның қалыңдығы 8-10 мкм құрайды, олардың арасында β -фазаның дисперсиялық қабаттары орналасады.



а)



б)



в)

20 - сурет - Микроқұрылым объективтердің әртүрлі ұлғаюымен

3.3 Ультрадыбысты компьютерлік томографияны пайдалана отырып төлкенің сапасын зерттеу

Цилиндрлік фор үлгісінің ішкі ақауларын зерттеу үшін біз "Kuka" маркалы роботтандырылған ультрадыбыстық томографты пайдаландық. Ультрадыбыстық сканерлеу нәтижелері 36-суретте келтірілген. Мұнда осы қималарды таңдалған сканерлеу алаңынан алты қиманың бейнесі келтірілген.

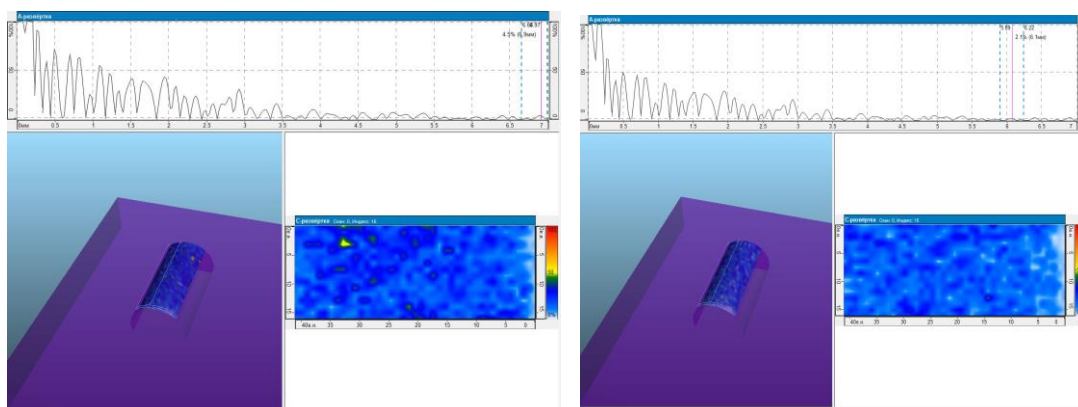
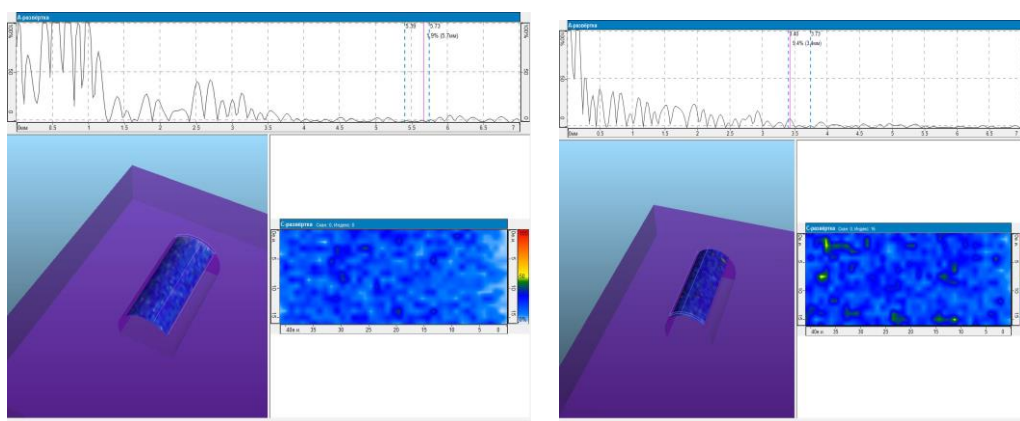
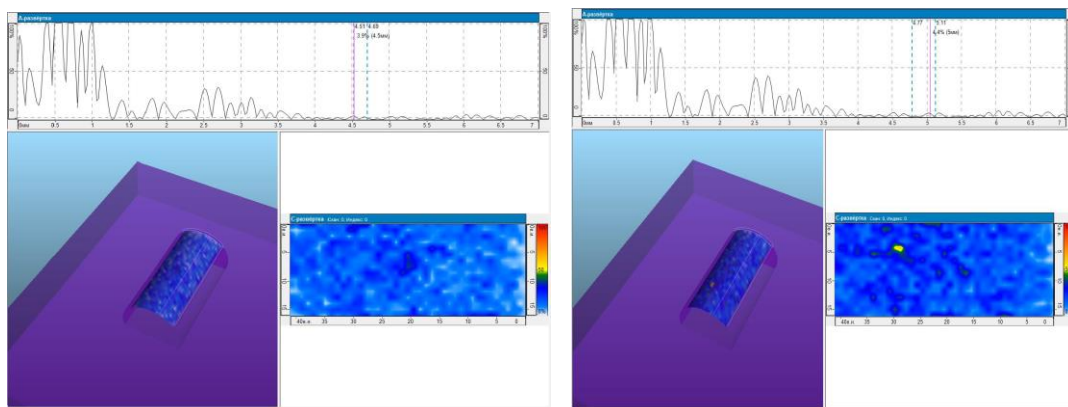
Қарастырылған қималардың қатпарлығы цилиндрлік үлгінің барлық көлемі бойынша біркелкі емес таралу сипаты бар екені анықталды. Әр түрлі диаметрдегі $d = 0,1-0,45$ мкм тесіктері зерттелетін үлгінің қимасы бойынша әр түрлі тереңдікте орналасады, қорытпаның біркелкілігін бұзады және кернеу концентраторларының көздері болып табылады.

Белгіленген қималардың айқын дақтығы алынған металл көлемінің әртүрлі түйіршіктігін куәландырады, үлгінің қорытылған көлемінде қалыптасқан дәндердің $d=0,1-0,25$ мм (100-250 мкм) аралығында мөлшері болады.

Сондай-ақ, тегіс пішінді және төлкенің көлденең бетіне перпендикуляр, негізінен бағдарлы емес қатпарлықтардың болуы анық байқалады. Олардың орналасу орындарын ұнтақтың қорытылмаған қабаттарының орындарымен салыстыруға болады.

Қатпарлығы қима бойынша барлық тереңдікте орналасады және статикалық үлкен өлшемдері $b = 0,4-0,7$ мм дейін болады (21 – сурет). Сканерлеу нәтижелері бойынша ең үлкен өлшем электрондық сәуленің жылжу бағытына қатысты параллель жазықтықта орналасқан 21 (б) суреттегі қимада анықталды.

Осылайша, ЕВМ әдісімен бұйымдарды дайындау кезінде ұнтақ қабаттарын ұзарту бағытын, сондай-ақ пайдаланудың нақты жағдайларында жасалатын бұйымдарды жүктеу схемасын ескеру қажет. Төлкенің зерттелетін үлгісі үшін неғұрлым тығыз құрылымды қалыптастыру ХҮ осьтері бағытында жүреді. Сондықтан ең жоғары кернеуді вер-тикальды - өсірілген 3D-объектіге сол осьтердің (ХҮ) бағыттары бойынша салуға болады.



21 - сурет-Үлгіні ультрадыбыстық бақылау нәтижелері

ҚОРЫТЫНДЫ

Электронды-сәулелі қорытудың технологиясы (ЕВМ) жауапты мақсаттағы 3D-бөлшектерді алу үшін перспективалы болып табылатыны анықталды. Оларды дайындағанда титан қорытпасының ұнтағының сапасына үлкен мән беріледі. Бұйымдарды пайдалану талаптарын қанағаттандыратын біртекті құрылымы мен қасиеттері бар дайындайды. Қондырғының жұмыс параметрлерінің төлкелер түрінде ұсынылған 3D-үлгіні қорытудың тиімділігіне әсері анықталды. Зығыр бетінің едәуір кедір-бұдырлығы және үлгінің ұзына бойлық қимасында ұнтақтың біртекті емес қорытылуы. $D=10-56$ мкм қолданылатын ұнтақтың диаметріне сәйкес келеді. ВТ6 қорытпасының ұнтағын электронды-сәулелі қорытпа-рында қалыптасқан микроқұрылымның ерекшеліктері анықталды. Микроқұрылымның екі компонентті қорытпаларға тән құрылымы бар. Құрылым $d = 250$ мкм айтарлықтай өлшемдегі дәндерден тұрады, бұл келесі термиялық өңдеу режимін таңдауды талап етеді.

Микроқұрылымды оптикалық әдістермен зерттеу нәтижелері УЗ-томограф көмегімен үлгінің сапасын зерттеумен сәйкес келеді. Қатпарлығы табылған, үлгінің барлық көлемі бойынша орналасады. Дөңгелек пішінді қатпарлығы $d = 0,1 - 0,45$ мм өлшемімен дәннің үлгісіне сәйкес келеді. Олардың орналасу орнын ұнтақтың балқытылмаған қабаттарының орындарымен салыстыруға болады. ЕВМ әдісімен Сәулеленген бұйымдардың сапасы мен механикалық қасиеттерін арттыру үшін ұсынылған режимдерде қорытылған бейнелерді қосымша зерттеу, сондай-ақ жаңа технологиялық әдістемелерді іздеу және өңдеу талап етіледі.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Электронно-лучевая плавка (EBM) [электронный ресурс] режим доступа: http://3dtoday.ru/wiki/EBM_print/
2. O. L. A. Harrysson, O. Cansizoglu, D. J. Marcellin-Little, D. R. Cormier, and H. A. West II, Direct Metal Fabrication of Titanium Implants with Tailored Materials and Mechanical Properties Using Electron Beam Melting Technology, Mater. Sci & Eng., C, 28 [3], 366-373 (2008).
3. S. Collins, Laser and Electron Beam Powder Bed Fusion, in Measurement Science Roadmap for Metal-Based Additive Manufacturing// NIST (2013), / Электрон. дан. – 2013. – Заглавие с экрана. – Режим доступа: http://www.nist.gov/el/isd/upload/NISTAdd_Mfg_Report_FINAL-2.pdf
4. Additive Manufacturing Study Shows Cuts in Material Consumption and Reduced CO₂ Emissions. // Powder Metall Rev. / Электрон. дан. – 2013. – Заглавие с экрана. – Режим доступа: <http://www.ipmd.net/articles/002490.html>.
5. Энциклопедия 3Д-печати. – Режим доступа: <http://3dtoday.ru/wiki/>
6. Слайсер Slic3r // Slic3r. URL: <http://slic3r.org/>.
7. М.А.Зленко, А.А. Попович, И.Н., Мутылина. Аддитивные технологии в машиностроении. Издательство политехнического университета, Санкт-Петербург, 2013.
8. Слайсер Cura // Ultimaker. URL: <https://ultimaker.com/en/products/curasoftware>
9. Слайсер Simplify3D // Simplify3D. URL: <https://www.simplify3d.com/software/>.
10. Слайсер CraftWare // CraftUnique. URL: <https://www.craftunique.com/craftware>
11. Аналитический отчет DISCOVERY RESEARCH GROUP «Рынок 3D-принтеров в России»
12. Цветкова Т.М., Исследование рынка аддитивного производства в России, Москва, издательство Финансовый университет
13. Electron Beam Melting (EBM) for Titanium Implant Production. // <http://www.medicalmodeling.com/solutions-for-engineers/electron-beam-melting-ebm-fortitanium-implant-production>

14. Металлы для 3D-печати [Электронный ресурс] Режим доступа: http://3d.globatek.ru/3d_printing_materials/metal/
15. Дорошенко В.А. Цифровые технологии и литье под низким давлением деталей из алюминиевых и магниевых сплавов // Литейное производство. – 2009. – № 8. – С. 16-18.
16. Hohmann M., Brooks G., Spiegelhauer C. Production methods and applications for high-quality metal powders and sprayformed products. Produktionsmethoden und Anwendungen für qualitativ hochwertige Metallpulver und sprühkompaktierte Halbzeuge. Stahl und Eisen. – 2005.
17. Федотов А.В. Новые технологии порошковой металлургии // Материалы в машиностроении. – 2012. – № 1 (76). – С. 53-56.
18. Additive Manufacturing Study Shows Cuts in Material Consumption and Reduced CO₂ Emissions. // Powder Metall Rev. / Электрон. дан. – 2013. – Заглавие с экрана. – Режим доступа: <http://www.ipmd.net/articles/002490.html>
19. Techel A. et al., Laser Additive Manufacturing of Turbine Components, Precisely and Repeatable. Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology (IWS), интернет-издание Laser Institute of America. Доступ свобод. <http://www.lia.org/blog/category/laser-insights2/laser-additive-manufacturing/>
20. Колачев Б. А. Механические свойства титана и его сплавов / Б. А. Колачев, В. А. Ливанов, А. А. Буханова. М.: Металлургия, 1974. 544 с.
21. Полуфабрикаты из титановых сплавов; под ред. Б. А. Колачева. М.: ОНТИ ВИС, 1996. 581 с.
22. Колчин А.Ф., Стрекалов А.Ф., Сумароков СВ. Управление жизненным циклом продукции. М.: Анахарсис, 2002. -303 с: ил.
23. Коротин А.И., Лазарев А.Л., Плаксин А.А., Шмыров С.Ф. Основы ультразвуковой дефектоскопии металлических конструкции: учебное пособие. – Саранск, 2008. – 60 с.