

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.  
«          »            2021 ж.

Дипломдық жобаға  
**ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА**

Тақырыбы: «Өнімді жасау кезінде Laser Engineered Net Shaping а  
ддитивті технологиясын қолдануды зерттеу»

5B071200 – Машина жасау

Орындаған Амангелді Байбатыр Қайратұлы

Ғылыми жетекші,  
PhD д-ф, қауым. профессор  
Арымбеков Б.С.  
«          »            2021 ж.

Алматы 2021

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-р, қауым профессор  
Арымбеков Б.С.  
2021 ж.

**Дипломдық жоба орындауға ТАПСЫРМА**

Білім алушы Амангелді Байбатыр Қайратұлы  
Тақырыбы «Өнімді жасау кезінде Laser Engineered Net Shaping аддитивті  
технологиясын қолдануды зерттеу»

Университет ректорының «\_\_»\_\_\_\_20\_\_ж. №  
\_\_\_\_\_ бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «\_\_»\_\_\_\_20\_\_ж. Дипло  
мдық жобаның бастапқы берістері Laser Engineered Net Shaping  
технологиясының құрылымын зерттеу, және толық қанды ашып талдау


Дипломдық жобада қарастырылатын мәселелер тізімі

- а) LENS аддитивті технологияларына арналған материалдар
  - б) Laser Engineered Net Shaping жүйесі: а) ртықшылықтары мен кемшіліктері
  - в) LENS жүйесінің термомеханикалық сипаттамасы
  - г) LENS жүйесінің технологиялық процесі
  - с) Өндірісте LENS жүйесін қолдану
- Ұсынылған негізгі әдебиет: 14 атау

Дипломдық жобаны дайындау  
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәліметтер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Кіріспе. Лазерлер негізі. Nd: YA G- лазер		
Laser Engineered Net Shaping жүйесі: артықшылықтары мен кемшіліктері		
LENS жүйесінің термомеханикалық сипаттамасы		
LENS жүйесінің технологиялық процесі		
Өндірісте LENS жүйесін қолдану		

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	Арымбеков Б.С		

Ғылыми жетекші

 Арымбеков Б.С.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы

 Амангелді Б.Қ.

Күні

«\_\_\_»\_\_\_\_\_2021 ж.

## АНДАТПА

Берілген дипломдық жобада аддитивті технологиясына жататын Laser Engineered Net Shaping (LENS) - Лазерлік Инженерлік Торлы Қалыптау жүйесін пайдалана отырып, лазер негізіндегі жылдам прототиптеу процесі баяндалады. Аддитивті технологиялар негізіне, электромагниттік сәулелену табиғатына ақпарат беріліп, өндірістік лазер типтеріне шолу жасалып, оның ішінде қатты затты лазер Nd: YAG-лазеріне анықтама беріледі. LENS жүйесіне сипаттама беріліп, артықшылықтары мен кемшіліктері айтылады. LENS жүйесін пайдаланып өндірістегі бұйымдарды жасауға қажетті материалдарға сипаттама беріліп, олардың құрамдары, температуралық ерекшеліктері, өзге материалдармен әрекеттесу қабілеттілігі қарастырылады. Сонымен қатар жүйесіне термомеханикалық сипаттама жасалды. Ол сипаттама негізінде эксперимент жүргізіліп, теориямен сәйкестігі салыстырылады. Оның ішінде базалық плитаны дайындау, бұрмалау процестері жүргізіліп, қысым-деформациялық талдау жүргізіледі. Эксперимент нәтижелеріне есептеулер жасалады. LENS жүйесін пайдалана отырып, аддитивті жасалған CoFe өзекшелерінің магнитострикциялық сипаттамалары жасалады. LENS жүйесінің технологиялық процессін баяндадық. Қазіргі таңда бұл технологиялық жүйенің Өнеркәсіптік Өндірісте қолдану аясы зерттеледі.

## АННОТАЦИЯ

В данном дипломном проекте излагается процесс быстрого прототипирования на лазерной основе с использованием системы лазерного инженерного сетчатого формования - Laser Engineered Net Shaping (LENS), относящейся к аддитивной технологии. Кратко дается информация об основах аддитивных технологий, природе электромагнитного излучения, дается обзор типов промышленных лазеров, в том числе дается определение твердотельного лазера Nd: YAG-лазера. Дается характеристика системы LENS и излагаются ее достоинства и недостатки. Дается характеристика материалов, необходимых для изготовления изделий на производстве с использованием системы LENS, рассматриваются их составы, температурные особенности, способность взаимодействовать с другими материями. Кроме того, была разработана термомеханическая характеристика системы. На основе описания проводится эксперимент и сопоставляется соответствие с теорией. В том числе ведется подготовка базовой плиты, процессы искажения, проводится давление-деформационный анализ. Производятся расчеты результатов эксперимента. Разработаны магнитоэлектрические характеристики стержней CoFe, изготовленных аддитивно с использованием системы LENS. Изложили технологический процесс системы LENS. В настоящее время изучена сфера применения данной технологической системы в промышленном производстве.

## ANNOTATION

This thesis project describes the process of rapid prototyping on a laser basis using the Laser Engineered Net Shaping (LENS), related to additive technology. Information about the basics of additive technologies, the nature of electromagnetic radiation, an overview of the types of industrial lasers, including the definition of a solid-state Nd: YAG laser, is briefly given. The description of the LENS system is given and its advantages and disadvantages are outlined. The characteristics of the materials necessary for the manufacture of products in production using the LENS system are given, their compositions, temperature characteristics, and the ability to interact with other materials are considered. In addition, the thermomechanical characteristics of the system were developed. Based on the description, an experiment is performed and the correspondence with the theory is compared. This includes the preparation of the base plate, distortion processes, and pressure-strain analysis. Calculations of the results of the experiment are made. Magnetostrictive characteristics of CoFe rods manufactured additively using the LENS system are developed. We outlined the technological process of the LENS system. Currently, the scope of application of this technological system in industrial production has been studied.

## МАЗМҰНЫ

	Кіріспе		3
1	Аддитивті технология	5	
1.1	Лазерлер негізі	6	
1.2	Өндірістік лазер типтері	6	
1.2.1	Қатты күйдегі лазерлер.	7	
1.2.2	Nd: YAG-лазер	8	
2	Лазер негізіндегі жылдам прототиптеу процестері	10	2.1
	Laser Engineered Net Shaping - лазерлік инженерлік қалыптау (LENS)	16	торлы
3	LENS адитивті технологияларына арналған материалдар		20
4	LENS жүйесінің термомеханикалық сипаттамасы	22	
4.1	Теория	22	
4.2	Эксперимент	22	
4.3	Базалық плитаны дайындау	23	
4.4	Бұрмалау	23	
4.5	Қысым-деформациялық талдау	23	
4.6	Микроскопия	24	
4.7	Есептеулер	24	
4.8	LENS жүйесін пайдалана отырып, аддитивті жасалған CoFe өзекшелерінің магнитострикциялық сипаттамалары	26	
4.9	Нәтижелер және талқылау	27	
5	Өндірісте LENS жүйесін қолдану	30	
6	Аддитивті өндірістің негізгі әдістердің ерекшеліктері мен айырмашылықтары.	32	
	Қорытынды		40
	Пайдаланылған әдебиеттер тізімі		45

## Кіріспе

Бәсекелестік тұрғысынан қазіргі заманғы индустрия қолданыстағы өнімдер мен материалдардың алуан түрлілігіне және қазіргі тенденциялар аясында оның экологиялық жағына ерекше назар аударады. Қысқа мерзімде жаңа интегралды бірегей өнімді нарыққа шығару, минималды шығындарға негізделген ресурстарды жоғары тиімді пайдалану, заманауи компьютерлік технологияларды қолдану және өндірістік процестердің автоматизациясы мен икемділіктің жоғары деңгейі. Аддитивті өндірістің динамикалық дамып келе жатқан технологиялары - қойылған міндеттерді шешуге, сұранысты арттыруға және әрбір жаңа өнімді даму процесінің міндетті кезеңіне айналдыруға мүмкіндік береді. Аддитивті технологияларды қолдану дәстүрлі түрде қалыптасқан станоктар сатысын бұйымдар мен прототиптерді қолмен немесе цифрлық бағдарламаланған басқарумен (CNC) толықтай жоюға, сондай-ақ жабдықты әзірлеуге, жаңа өнім шығаруға дайындық уақытын 50-80% дейін қысқартуға мүмкіндік береді [1]. Болашақ өнімнің физикалық және геометриялық сипаттамаларына мейлінше жақын болатын жоғары сапалы прототип құру өте қиын мәселе. Бұл жолда геометриялық пішінді дәл көбейту, құрастыру, сыртқы түріне сәйкестендіру және қажетті стандарттарға мүмкіндігінше жақын материалдарды табу сияқты маңызды мәселелер шешіледі. Қазіргі заманғы индустриядағы бұл міндеттер өндірістің қоспа технологиясын шешуге қабілетті, яғни өндірістік өнімнің компьютерлік моделіне сәйкес бөлшектің көп қабатты қалыптасуы. Заманауи аддитивті технологиялардың өндірісі қарапайым прототипті құрастырудан бір қадам алға жылжуға мүмкіндік берді, бұл өнімнің сыртқы түрін бағалауға, құрылымдық элементтерін тексеруге, қажетті сынақтарды өткізуге және келесі кастингтің шебер моделін жасауға мүмкіндік береді. [2]. Прототиптеу процесі АЖЖ жүйелерінің ортасында болашақ өнімнің моделін үш өлшемді жобалау кезеңінен басталады. Стереолитография технологиясына арналған және басқа АМ процестерінде қолданылады \* STL арнайы форматы бар. Арнайы бағдарламалық жасақтамада өнім қабаттарға (қабатқа) бөлінеді, негізінен оның қалыңдығы белгілі бір технологияға, жабдыққа, сонымен қатар қолданылатын материалға, қажет болған жағдайда механикалық өңдеуге байланысты. Әрі қарай, қабаттар туралы ақпарат жабдықты басқару блогына түседі және қабаттасып жинақталады, яғни өнім жиналады. Қазіргі заманғы машина жасау саласында аддитивті технологиялар елдің индустриялық даму деңгейін анықтайтын маңызды бағыт болып табылады. IT дәстүрлі түрде жүзеге асырылмаған мәселелерді шешеді. Шетелдік техниканы пайдалану қиын болған кезде маңызды өнеркәсіп салалары - ғарыш, авиация, оның ішінде әскери салалар үшін дайын бөлшектерді құру қажет. Сонымен қатар, АТ Қазақстанда жаңа уақыттың талаптарына жауап беретін зымыран-ғарыштық және көлік жабдықтарын құру, озық технологияла



рды құру үшін негізгі және маңызды әскери және өнеркәсіптік технологияларды жасау сияқты маңызды технологиялардың дамуына ықпал етеді. қару-жара қ, арнайы және әскери техника. Сондықтан маңызды міндет сандық үш өлшемді модельдерден қажетті бөлшектерді алудың жоғары тиімді әдістері мен технологиялық процестерін іздеу және дамыту, сондай-ақ олардың пайдалану сипаттамаларын зерттеу болып табылады.

3D басып шығару аэроғарыш, автомобиль, мұнай-газ, кеме жасау, медицина, зергерлік бұйымдар және басқа да көптеген салаларда белсенді қолданылады. Жақында 3D басып шығару инъекционды құю жабдықтарының сапасын жақсарту үшін қолданыла бастады. Кейбір аудандарда қарапайым машиналарды пайдалану кезінде қол жетпейтін нәтижелерді алу үшін AP қолданылады. Басқа өндірістерде бұрғылау және кесу үшін қысқыш құрылғылар, бекітпелер, шаблондар және бағыттағыштар сияқты өндіріс және құрастыру құралдарын жасау үшін аддитивті технологиялар қолданылады.

3D басып шығару көптеген өнімдерді өндіруге үлкен әсер етеді. Ірі және кіші кәсіпорындар дайын өнімді өндіру үшін технологияны сәтті қолданады. Сарапшылардың пікірінше, тікелей өндіріс қосымша технологияларды қолданудың ең үлкен саласына айналады. Бұл технология өндіріске басқа дәстүрлі әдістерге қарағанда көбірек әсер етуі мүмкін.

Сала дамуын жалғастыруда, жаңа әдістер, технологиялар, материалдар, қолданбалы міндеттер және бизнес-модельдер пайда болуда. AP-ны өнеркәсіптік қолдану аясы мен географиясы кеңейуде. Аддитивті технологиялар жобалау мен өндірістің дамуына үлкен әсер етті; болашақта олардың рөлі арта түседі.

Бұл дипломдық жұмыстың мақсаты - Торды Қалыптау Технологиясын (LENS) қолдану арқылы бұйымдарды жасау үшін лазерлік сәулеленуді қолданатын ұнтақ типті материалдарды лазерлік инженериямен таза пішіндеу. Ол үшін сізге кем дегенде келесі ақпаратты білу қажет.

## 1.Аддитивті технология

(Additive Manufacturing – аддитивтілік – үстемелеу сөзінен) – компьютерлік 3D технологиялардың көмегімен объектінің қабаттық құрылуы және синтезі. Өнертабыс 1986 жылы алғашқы стереолитографиялық үш өлшемді принтерді жасаған Чарльз Халлға тиесілі. Модельді қабатты құрудың аддитивті процесі нені білдіреді және ол қалай жүреді?

Қазіргі өнеркәсіпте бұл бірнеше түрлі процестер, нәтижесінде 3D нысаны модельденеді:

1. Ультракүлгін сәулелену;
2. экструзия;
3. сиялы бүрку;
4. сплавление;
5. ламинаттау.

Аддитивті технологияларда қолданылатын материалдар: 1.

балауыз;

2. гипс ұнтағы;
3. сұйық фотополимерлер;
4. металл ұнтақтары; 5. әр түрлі полиамидтер;
6. полистирол.

Технологиялық прогресс адамның өмірі, денсаулығы мен қауіпсіздігі үшін көптеген пайдалы заттарды өндіруге ықпал етеді, мысалы, авиациялық өндірістегі аддитивті технологиялар неғұрлым үнемді және жеңіл әуе көлігін құруға көмектеседі, ал оның аэродинамикалық қасиеттері толық сақталады. Бұл ұшақтың қанаттарын жобалауда құс қанатының сүйек құрылымының принциптерін қолдану нәтижесінде мүмкін болды. Аддитивті технологияларды қолданудың басқа салалары:

1. құрылысы;
2. ауыл шаруашылығы өнеркәсібі;
3. машина жасау;
4. кеме жасау;
5. космонавтика;
6. медицина және фармакология.

Аддитивті 3D технологиялары:

Қарқынды дамып келе жатқан 3D басып шығару технологиялары прогрессивті өндірістерде қолданылады. Қосымша технологиялардың бірнеше инновациялық түрлері бар:

1. FDM (Fused deposition modeling) – өнім балқытылған пластикалық жіптен қабаттарда қалыптасады.
2. Cjp (ColorJet printing) – гипстен тұратын ұнтақты желімдеу принципі ба р әлемдегі жалғыз 3D толық түсті басып шығару.
3. SLS (Selective Laser Sintering) – лазерлі пісіру технологиясы, онда кез келген көлемдегі аса берік объектілер түзіледі.
4. MJM (MultiJet Modeling) фотополимерлер мен балауызды қолдана о тырып, көп ағынды 3D модельдеу.
5. SLA (Laser Stereolithography) - лазердің көмегімен сұйық полимердің қабаты қатайды.

### 1.1. Лазерлер негізі.

Лазер (ағылшынша лазер, стимуляцияланған сәуле шығару арқылы жарық күшейтудің қысқартылған сөзі «стимуляцияланған сәуле шығару арқылы күшейту») немесе оптикалық кванттық генератор - бұл сорғы энергиясын түрлендіретін құрылғы (жарық, электр, жылу, химиялық, т.б.) энергетикалық ко герентті, монохроматикалық, поляризацияланған және тар бағытталған сәуле а ғынына. Қазіргі уақытта лазерлер үшін қолданыс аясы өте кең, мысалға медицина, электротехника, тіпті техниканың барлық салаларында қолданыс та буда.Қазіргі таңда лазерлік сәулелену технологиясын кез-келген салада пайдала ну үшін оның жұмыс істеу механизмі мен қасиеттерін,ерекшеліктерін білу қа жет.

### 1.2 Өндірістік лазер типтері.

Алғашқы лағыл лазері ойлап табылғаннан бастап, 1960 жылы лазерлер тура лы ақпарат жүздеген мақалаларда жарияланды. Бірақ бүгінгі күнге дейін ла зерлерде қолданылатын белсенді зат мөлшері шектеулі. Лазерлерді қолданатын заттың физикалық қасиеттеріне байланысты оны төрт негізгі топқа жіктеуге бо лады. Олардың ішіндегі кейбір маңызды лазерлер 1.1 кестеде келтірілген. Біз о лардың барлығын жіктеп, талқылаудың қажеті жоқ. Сонымен, бізге қажет ла зерді сипаттап берейік.

1.1 –кесте – Пайдаланатын материалдар типіне байланысты лазер түрлері

Лазер типі	Толқын ұзындығы (нм)
------------	----------------------

<b>Қатты затты лазерлер</b>	
Nd:YAG	1,064
Ruby	694
Nd:glass	1,062
Alexandrite	700–820
Ti-sapphire	700–1,100
Er:YAG	2,940
Nd:YLF	1,047
<b>Газ лазерлері</b>	
HeNe	632.8
Argon	488, 514.5
Krypton	520–676
HeCd	441.5, 325
CO <sub>2</sub>	10,600
ArF	191
KrF	249
XeCl	308
XeF	351
Copper vapor	510.6, 578.2
Gold vapor	628
<b>Жартылай өткізгіш лазерлер</b>	
InGaAs	980
AlGaInP	630–680
InGaAsP	1,150–1,650
AlGaAs	780–880
<b>Сұйық бояғышты лазерлер</b>	
Rhodamine 6G	570–640
Coumarin 102	460–515
Stilbene	403–428

### 1.2.1 Қатты күйдегі лазерлер.

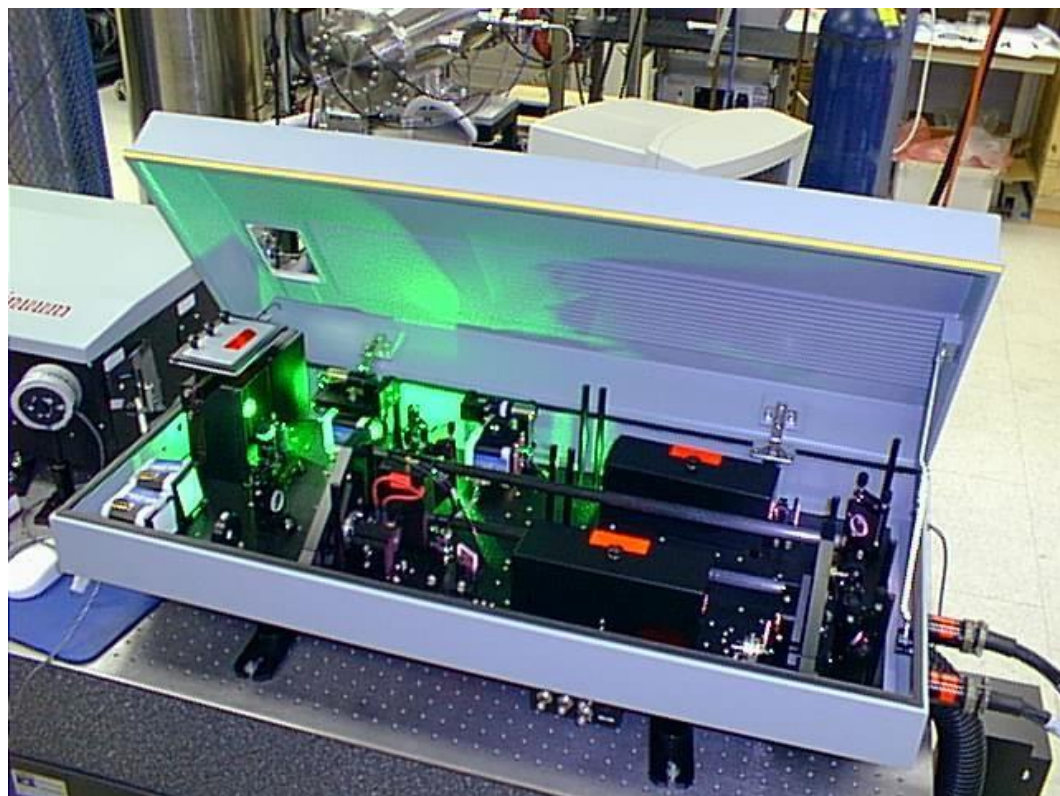
Қатты күйдегі лазер - қатты күйдегі зат белсенді орта ретінде қолданылатын лазер (газ лазерлеріндегі газдар мен бояғыш лазерлердегі сұйықтықтардан айырмашылығы).

Қатты күйдегі лазердің түрлері-талшықты лазер және жартылай өткізгіш лазер. Қатты күйдегі лазерлер де бар, оларда белсенді орта ретінде сирек кездесетін элементтермен белсендірілген әртүрлі әйнектер мен кристалдар қолданылады. Ең алғашқы қатты күйдегі лазер және сонымен бірге Әлемдегі алғашқы жұмыс істейтін лазер-бұл импульсті разрядты лампаның сәулеленуімен сорылатын Рубин эмитенті. Бұл лазерді 1960 жылы Т.Майман жасаған.Қатты затты лазер түрлеріне Nd:YAG, nd: glass, alexandrite және Ti:sapphire т.б жатады.

### 1.2.1 Nd: YAG-лазері.

Nd: YAG лазері - қатты күйдегі лазер. Белсенді орта - неодимий (Nd) иондары қосылған иттриум алюминий гранаты (YAG,  $Y_3Al_5O_{12}$ ).

Лазинг 1064 нм толқын ұзындығында жүреді. Мұндай лазерлер үздіксіз және импульсті режимдерде жұмыс істей алады. Импульстің режимдері лазерлік сәулеленудің генерация сипатымен ерекшеленеді. Еркін лизинг кезінде импульстің ұзақтығы әдетте лазердің жоғарғы деңгейінің қызмет ету мерзіміне тең болады (неодим концентрациясына байланысты шамамен 250 мкс); импульс дегеніміз - жүздеген наносекундқа дейінгі ұзақтығы бар сәулелер жиынтығы. Q-ауысқан режимде ұзақтығы наносекундтар бірлігінен микро секундқа дейін өзгеруі мүмкін. Импульстің ең жоғары қуатын Q-switch режимінде жұмыс істеген кезде алуға болады. Сызықты емес кристалда толқын ұзындығы 1064 нм болатын импульстен үлкен қуаттың арқасында толқын ұзындығы екі, үш, төрт есе (т.с.с.) қысқа импульс алуға болады, мысалы: 532 нм, 355 нм, 266 нм, 213 нм.



## 1– сурет – Nd: қалпағы ашық YAG лазері

Nd: YAG лазері негізгі материал ретінде  $Y_3Al_5O_{12}$  химиялық формуласы бар кристалды YAG лазерінен тұрады.  $Nd^{3+}$  иондары жасушадағы иттрийдің иондық аймақтарын максималды заңдастыру деңгейімен шамамен 2% ауыстырады. Бұл әдеттегі төрт деңгейлі лазерлік жүйе. Лазерлік ауысулар  $4f_3 / 2$  және  $4f_1 / 2$  аралығында болады (Свелто және Ханна 1989). Бастапқы және соңғы энергетикалық деңгейлердің үзілістерінде бірнеше лазерлік толқын ұзындықтары болуы мүмкін, ал олардың ең күштісі 1,064 мкм [9]. Nd лазерлік шығысы: YAG үздіксіз, импульсті немесе Q ажыратқышы болуы мүмкін. Қыздыруға арналған жарық көзі кристалдың сіңіру сипаттамаларына байланысты. Үздіксіз жұмыс үшін лазер үздіксіз криптон немесе ксенон доға лампалары немесе жарық өткізгіш диодты лазерлермен қозғалады. Криптондық шамдар CW Nd: YAG лазері үшін тиімді сорғы көзі болып табылады, өйткені криптондық шамдардың сәулелену желілері Nd: YAG-де сіңіру сызықтарымен жақсы сәйкес келеді. Импульстік жұмыс үшін әдетте қыздыру шамдары қолданылады. Егер импульс энергиясын салыстырмалы түрде жоғары алу қажет болса, онда лазер жарқылмен қозғалады, ол импульстің салыстырмалы түрде төмен жиілігімен импульстарды жібереді. Nd: YAG лазері жиіліктің екі еселенген режимінде де қол жетімді, мұнда лазердің шығуы көрінетін спектрдің жасыл бөлігінде 532 нм. Лазер жиілік-қосарлы операциядан басқа жиілік-үштік (355 Нм) және жиілік-төрттік (266 Нм) режимдерінде де қол жетімді. [11]

## 2. Лазер негізіндегі жылдам прототиптеу процестері

Қазіргі бәсекеге қабілетті өндіріс жағдайында өнім шығаратын салалар көптеген қиындықтарға тап болады, мысалы, өнімнің түрін арттыру және өнімнің күрделілігін арттыру және жеткізу мерзімдері қысқарту. Осы сын-қа терлерге жауап ретінде негізгі өндірістік және ғылыми-зерттеу кәсіпорындары жедел дамуға, жылдам орналастыруға және жылдам прототипке баса назар аударады. Лазерлер әртүрлі жылдам прототиптеу технологияларында кеңінен қолданылады.

Жылдам прототиптеу дегеніміз-үш өлшемді автоматтандырылған дизайн (CAD) деректерін қолдана отырып, физикалық бөліктің масштабты моделін жылдам құрастыру немесе құрастыру үшін қолданылатын әдістер тобы. Бұл бөліктер немесе жинақтар әдетте аддитивті әдістермен салынғандықтан, дәстүрлі алу әдістерінен айырмашылығы, бұл термин аддитивті өндіріс пен 3D басып шығарудың синониміне айналады.

"Машина жасауда" жылдам прототиптеу "сандық 3D моделіне негізделген үлгілерді жылдам жасау мағынасында қолданылады. Кәдімгі сөйлеуде "жылдам прототиптеу" қосымша өндіріс категорияларының бірі болып табылады, бірақ әсіресе өнімді әзірлеу саласында тұжырымдаманың ерекшелігі-бұл нақты жағдайларда дизайнды жылдам сынау әдісі. Өнімді дамыту процестерін оңтайландыруға ұмтылатындар бәсекені инновациялық шешімдерде басқарады. Жедел прототиптеу және оның генеративті процестері жаңа ұғымдарды тез және итеративті түрде енгізуге, тексеруге және жетілдіруге мүмкіндік береді. Дизайнерлер мен жобаның салымшылары нәтижеге жету үшін толық жұмыс істейтін прототиптерді - тірі жабдықта - жылдам тексере алады, аралық қадамдарды жоққа шығарады және түпнұсқа өнімнің дәстүрлі прототиптеу әдістеріне қарағанда тезірек келетініне көз жеткізеді.

Аддитивті өндіріс және жедел прототиптеу іс жүзінде қолдану мүмкін емес немесе өте қиын дизайн идеялары мен әзірлемелерін қолдауға арналған. Бұл инновациялық шешімдерді жылдам енгізу, оларды сынау, оңтайландыру және оларды жұмыс істеу деңгейіне дейін жақсарту тәсілі. Бұл нақты өндіріс жағдайында салыстыру үшін прототиптерді берілген материалдан немесе бірнеше материалдардан көп күш жұмсамай-ақ жасауға болатындығын ескере отырып, материалдарды таңдау үшін кең мүмкіндіктер ашады. Нәтижесінде функционалдылықтың әртүрлі аспектілерін тексеру және жақсарту үшін бір уақытта әртүрлі материалдардан бірнеше прототиптер жасауға болады.

Прототиптердің түрлері

○ Құрылымдық прототип: Бұл тип объектінің сыртқы түріне қойылатын талаптарға сәйкес келетіндігін және жалпы түсінікке сәйкес келетіндігін тексеру

үшін жасалады. Бұл модельдерде функционалдылық жетіспейді, оларды стандартты полимерлерден жасауға болады.

○ Геометриялық прототип: ол қолданыстағы жабдыққа дәл сәйкес келеді және қандай-да бір модификациялау қажет пе, жоқ па, соны білуге болады. Сондай-ақ, материалдың талаптарға сәйкес келетіндігін немесе оның беріктігін анықтау керек екендігін сынамадан тексеруге болады.

○ Функционалды прототип: функционалдылығы бойынша ол жобаланған өнімге сәйкес келеді, оны қолданыстағы жабдықта тікелей тексеруге болады. Ол үшін сынамалар әр түрлі жұмыс жағдайларын ескере отырып жүргізілетін етіп сынамалардың шағын сериясын жасау ұсынылады.

○ Технологиялық прототип: Егер соңғы объектінің геометриясы мен материалы туралы шешім қабылданса, онда технологиялық прототип жұмыс істеп тұрған жабдықтың бөлігі ретінде тексеріледі. Модель материалды, механикалық қасиеттерді және геометрияны ескере отырып, соңғы нысанға толығымен сәйкес келеді.

○ Өнеркәсіптік прототип: сериялық өндіріске дейін өнімдер көбінесе шағын сериямен шығарылады, әсіресе автомобиль жасау саласында (мысалы, өндіріске дейінгі автомобильдер партиясы үшін), нәтижесінде клиенттер жаңа модельді сынап көре алады. Дамудың осы кезеңінде материал құрамының өзгеруі жиі қажет.

Үстел мен стендтің 3D басып шығаруының пайда болуы бұл жағдайды өзгертті және осы процесті тоқтатудың кішкене белгілерінсіз қолдануға шабыт берді. Ішкі 3D басып шығарумен инженерлер мен дизайнерлер сандық жобалар мен физикалық прототиптер арасында тез Итерация жасай алады. Енді сіз күн ішінде прототиптер жасай аласыз және нақты тестілеу мен талдау нәтижелері негізінде дизайнды, өлшемді, пішінді немесе құрастыруды жылдам итерациялай аласыз. Сайып келгенде, жылдам прототиптеу компанияларға бәсекелестеріне қарағанда нарыққа жақсы өнімдерді тезірек шығаруға **көмектеседі**.



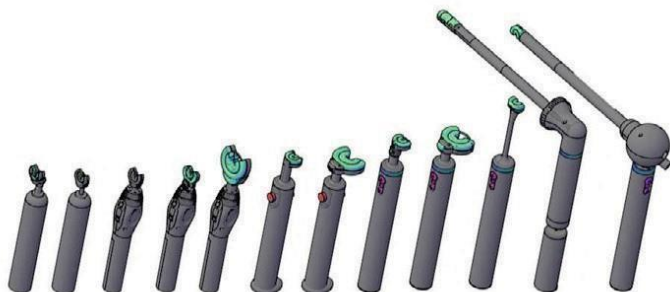
2– сурет – 3D басып шығару үрдісінің циклы



Жылдам прототиптеу тәуекел деңгейі төмен зерттеулерде бастапқы идеяларды алға тартады, олар бірден нақты өнімдерге ұқсайды. Бұл мемлекеттік тіл-та тулықтың ұйытқысы шеңберінен шығып виртуалды визуализация, упрощая түсіну сыртқы түрі мен салыстыра отырып, тұжырымдамасын бір-бірімен.

Физикалық модельдер әзірлеушілерге өз идеяларын әріптестерімен, клиенттерімен және қызметкерлерімен бөлісуге мүмкіндік береді, идеяларды экрандағы сызбаларды визуализациялау арқылы қолдануға болмайтын тәсілдермен жеткізуге мүмкіндік береді. Жылдам прототиптеу әзірлеушілерге олардың дизайнын нақтылау және жақсарту үшін қажет нақты және тиімді кері байланысты жеңілдетеді.

Дизайн әрқашан итеративті процесс болып табылады, ол түпкілікті өнімге айналмас бұрын бірнеше раундты тестілеуді, бағалауды және нақтылауды қажет етеді. 3D басып шығаруды қолдана отырып, жылдам прототиптеу икемді түрде нақты прототиптерді жасауға, маңызды сынақ пен қателік процесін жетілдіреті отырып, өзгерістерді тез және тез енгізуге мүмкіндік береді.



2– сурет – Sutrue-дің дәйекті итерациялары, Formlabs SLA принтерлерінде прототиптелген автоматтандырылған хирургиялық қапсырма,

Жақсы модель-бұл 24 сағаттық дизайн циклы: жұмыс кезінде жобалау, бір түнде 3D басып шығару, келесі күні тазалау және тексеру, дизайнды түзету, содан кейін қайталау.

3D басып шығаруды пайдалану кезінде қымбат құралдар мен параметрлердің қажеті жоқ; бірдей жабдықты әртүрлі Геометрияларды жасау үшін пайдалануға болады. Меншікті прототиптеу айтарлықтай шығындарды жояды және аутсорсингке байланысты уақытты қысқартады.

Дизайн және бұйым жасауда дизайнның кемшіліктерін ертерек анықтау және жою компанияларға болашақта қымбат дизайн өзгерістері мен құрал-саймандрдың өзгеруінен аулақ болуға көмектеседі.

Жылдам прототиптеу инженерлерге прототиптерді мұқият тексеруге мүмкіндік береді, олар өндіріске өтпес бұрын пайдалану ыңғайлылығы мен өңделу қаупін азайтады.

Жылдам прототиптеуді қолдану

Қол жетімді технологиялар мен материалдардың көптігімен 3D басып шығаруды жылдам прототиптеу дизайнерлер мен инженерлерді бастапқы

тұжырымдамалық модельдерден бастап дизайн, валидация және өндіріске дейін өнімді дамытуда қолдайды.

Тұжырымдамалық модельдер немесе дәлелдеу тұжырымдамасының (POC) прототиптері өнімді жасаушыларға идеялар мен болжамдарды негіздеуге және өнімнің өміршеңдігін тексеруге көмектеседі. Физикалық тұжырымдама модельдері идеяны мүдделі тараптарға көрсете алады, пікірталас тудырады және төмен қауіпті тұжырымдаманы зерттеу арқылы шешім қабылдауды немесе қабылдамауды тездетеді.

Тұжырымдаманы сәтті модельдеудің кілті-жылдамдық; дизайнерлер физикалық модельдерді жасамас бұрын және бағаламас бұрын көптеген идеялар жасауы керек. Бұл кезеңде ыңғайлылық пен сапаның маңызы аз, ал командалар да йын бөлшектерге барынша сүйенеді.

3D принтерлер тұжырымдамалық модельдеуді қолдаудың тамаша құралы болып табылады. Олар компьютерлік файлды физикалық прототипке айналдыру үшін теңдессіз өңдеу уақытын қамтамасыз етеді, бұл дизайнерлерге көбірек ұғымдарды тезірек тексеруге мүмкіндік береді. Көптеген шеберханалар мен өндіріс құралдарынан айырмашылығы, 3d жұмыс үстеліндегі принтерлер кеңсе үшін ыңғайлы, бұл арнайы кеңістікті бөлу қажеттілігін жояды.



3–сурет – Швейцариялық дизайн және кеңес беру студиясының дизайнерлері Panter & Tourron екі апта ішінде тұжырымдамадан терезеге өту үшін SLA 3D басып шығаруды қолданды



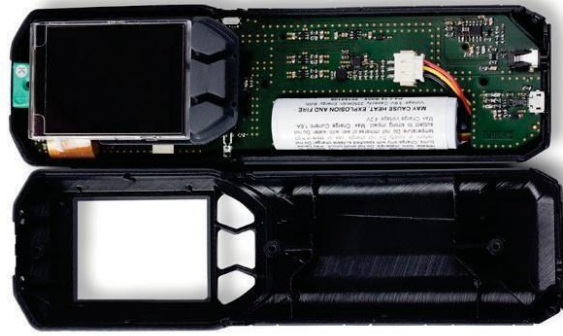
4– сурет – Дайвинг камерасының өндірушісі Paralenz теңіз деңгейінен 200 метрден астам тереңдікте сынақтан өткен шынайы прототиптерді жасау үшін 3D басып шығаруды қолданды.

Өнім келесі кезеңдерге ауысқан кезде, бөлшектер маңызды бола бастайды.

3D басып шығару инженерлерге түпкілікті өнімді дәл көрсететін жоғары дәлдіктегі прототиптерді жасауға мүмкіндік береді. Бұл дизайнды, жарамдылықты, функционалдылықты және технологиялылықты тексеруді, қымбат құралдарға инвестиция салғанға дейін және өндіріске ауысқанға дейін, өзгеріс енгізу уақыты мен құны артып келе жатқан кезде жеңілдетеді.

3D басып шығаруға арналған жетілдірілген материалдар құю сияқты дәстүрлі өндірістік процестерді қолдана отырып жасалған бөлшектердің сыртқы түріне, сезімдеріне және материалдарына дәл сәйкес келуі мүмкін. Әр түрлі материалдар бөлшектерді ұсақ бөлшектермен және құрылымдармен, тегіс және төмен үйкеліс беттерімен, қатты және берік денелермен немесе жұмсақ және мөлдір компоненттермен модельдей алады. 3D басып шығарылған бөлшектерді түпкілікті бөліктің кез-келген визуалды атрибутын көбейту үшін тегістеу, жылтырату, бояу немесе гальванизация сияқты қайталама процестермен өңдеуге болады, сонымен қатар бірнеше бөлшектер мен материалдардан құрастырулар жасау үшін өңделеді.

Инженерлік прототиптер бөліктің немесе құрастырудың жүктеме әсерінен және өрісте қалай жұмыс істейтінін көру үшін кең функционалды тестілеуді қажет етеді. 3D басып шығару жылу, химиялық және механикалық жүктемелерге төтеп бере алатын жоғары сапалы прототиптерге арналған техникалық Пластмассаларды ұсынады. Бұл технология, сондай-ақ дәйекті деректерді жинау арқылы функционалды тестілеу және сертификаттау жеңілдету мақсатында пайдаланушы тест объектілерін құру үшін тиімді шешімі ұсынады.



5– сурет – Wohlers инженерлері қатты және жұмсақ сенсорлық түймелері ба бірнеше материалдардан жасалған су өлшегіштің нақты прототипін жасады



6– сурет – Медициналық құрылғыларды дамыту компаниясы Coalesce ішкі тестілеу үшін арнайы құрылғыларды пайдаланады.



7– сурет – Pankl Racing Systems автоматтандырылған өндіріс желісіндегі 3D басып шығару құрылғылары.

Тамаша прототипке ие болу-бұл тапсырманың жартысы ғана; сәтті түпкілікті өнім болу үшін дизайн бірнеше рет тексеріліп, экономикалық тұрғыдан тиімді болуы керек. Технологиялық талаптарды ескере отырып жобалау (DFM) түпкілікті өнімнің талаптарын сақтай отырып, құрылымның эстетикасы мен

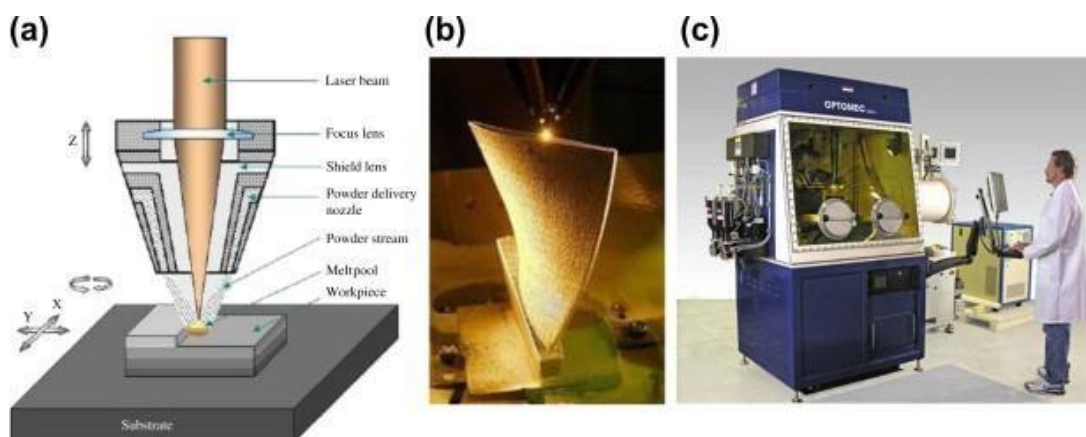
функционалдығын теңдестіреді. DFM өндіріс шығындарын азайту және бөліктің құнын қажетті деңгейден төмен ұстау үшін өндіріс процесін жеңілдетеді.

Жылдам прототиптеу инженерлерге кішігірім партияларды, бір реттік жеке шешімдерді және дизайн мен құрастыруды (EVT idvt) және өндеуді тексеруге мүмкіндік береді.

## 2.1 Laser Engineered Net Shaping - лазерлік инженерлік торлы қалыптау (LENS)

Лазерлік инженерия (LENS) торабында бірнеше сағат ішінде металл ұнтақта рының үрленген ағындарын арнайы бөлшектер мен қалыптарға дәнекерлейтін компьютерлік басқарылатын лазерлер қолданылады. Бұл әдіс өрескел өндеу қажеттілігін болдырмайтын соңғы өнімге жақын пішіндер шығарады. LENS мақсаттарының бірі - тығыздығы жоғары бөлшектердің немесе қалыптардың шағын партияларын шығару.

Саптамалардың әрқайсысы металл ұнтағының ағынын оның астындағы орталық нүктеге бағыттайды. Сонымен бірге бұл нүкте қуатты лазер сәулесімен қызады. Лазер мен реактивті қозғалтқыштар қозғалыссыз қалады, ал модель мен оның субстраты суретте көрсетілгендей металды үздіксіз тұндырудың жаңа мақсаттарын қамтамасыз ету үшін қозғалады. 14.13 (а). Бұл үш өлшемді металл кесіндісін алу үшін қажетті көлденең қиманың геометриясы аяқталғанға дейін негізде, содан кейін өсіп жатқан қабаттарда жасалады (14.13 (б) -сурет). Бұл күрделі операция, өйткені жоғары температура балқытылған металдардан дәл, тегіс заттарды қалыптастыруды қиындатады. Технологияны металдың алуан түрімен, соның ішінде титанмен, болатпен, мыспен және алюминиймен қолдануға болады.



9-сурет – LENS технологиясы: (а) лазерлік генерацияланған желіні қалыптастыру схемасы (б) LENS өндірісін мұқият қарау (с) Optomec LENS 850 жүйесі



LENS АҚШ-тың Sandia National Laboratories-да CAD қатты күйдегі модельдерінің негізінде металл бөлшектерін ( 61 ) жасау және металл бөлшектерін жасау уақытын қысқарту үшін жасалған . Жүйе nd-ден тұрады: YAG лазері, басқарылатын атмосферадағы қолғап қорабы, компьютермен басқарылатын үш осьті позициялау жүйесі және ұнтақ беру құрылғысы. Позициялау сатылары бақыланатын атмосферасы бар, аргонмен толтырылған және оттегінің номиналды деңгейінде миллионға 2-3 бөлік жұмыс істейтін қолғап жәшігінің ішіне орнатылады. Сәуле қолғап жәшігінің жоғарғы жағына орнатылған терезе арқылы қолғап жәшігіне енгізіледі және тегіс дөңес линзаның көмегімен тұндыру аймағына жіберіледі. Ұнтақты беру саптамасы ұнтақ ағынын тікелей фокусталған лазер сәулесіне енгізуге арналған., ал линза мен ұнтақ саптама бірлік ретінде қозғалады. Әр қабатты құруға арналған құралдың траекториясының үлгілері бұрын жасалған CAD қатты күй моделін қабаттар тізбегіне электронды кесу арқылы алынады. Физикалық тұрғыдан алғанда, әр қабат алдымен компоненттердің негізгі сипаттамаларының контурын жасау арқылы жасалады, содан кейін көлденең қиманы тегістеу техникасын қолдана отырып толтырады. Қажетті компонент бөліктің түбінен бастап бір қабатта жасалады. Қатты субстрат объектив салу үшін негіз ретінде қолданылады. Лазер сәулесі әр қабатты жасау үшін ұнтақ бөлшектері бір уақытта енгізілетін дәнекерлеу ваннасын жасау үшін субстратқа назар аударды. Подложка жылжиды астында лазерлік сәулемен жағу үшін жұқа көлденең қимасының ең құра отырып қалаған геометриясы әрбір қабаты үшін. Әр қабатты қолданғаннан кейін

LENS жұқа қабырғалары мен диаметрі мен тереңдігінің жоғары қатынасы бар бөлшектерді жасаудың ерекше қабілетіне ие. Бөлшектер диаметрі 0,014 дюйм (0,356 мм) және биіктігі 1 дюйм болатын, тереңдігі 70: 1-ден асатын тесіктермен жасалды. LENS - тің тағы бір ерекше технологиялық ерекшелігі металды қолданыстағы бөліктерге іріктеп қолдану немесе негізгі материалдың тұтастығын сақтай отырып, тозған немесе сынған бөлшектерді жөндеу мүмкіндігі. ( 62 ) .

LENS-тегі алғашқы жұмыстардың көпшілігі қорытпаларды жасауға және композициялық градиент құрылымдарын жасауға бағытталған және SLMмен салыстырғанда біз осы техниканың көмегімен сүйек импланттары мен жақтаулардың дамуына аз көңіл бөлеміз. Бірақ LENS-ті биомедициналық қолдану әрекеттері аз болды. Vandyopadhyay et al. бірқатар мақалалар табиғи сүйектің қасиеттеріне сәйкес келетін механикалық қасиеттері бар кеуекті титан импланттарын шығару туралы хабарлады. Кеуекті үлгілерді жасау үшін техникалық таза (HP) титан ұнтағы қолданылды. ( 63) (42 , 64) қалыңдығы 3 мм ті прокат тақталарының субстратында пайдаланылған жүйе LENS-750 болды (Optomec Inc., Альбукерке, Нью-Мексико) лазермен Nd: YAG қуаты 500 Вт. Үлгілер өңдеу кезінде титанның тотығуын шектеу үшін миллионға 10

бөліктен аз оттегі бар аргон атмосферасы бар қолғап қора бында жасалды. 250 және 300 Вт лазердің қуаты қалаған кеуекті құрылымдарды құру үшін тұндыру процесінде металл ұнтақтарын ішінара балқыту үшін таңдалды. Әр түрлі кеуектілігі бар құрылымдарды жасау үшін 5, 10, 15 және 18 мм сканерлеу жылдамдығы қолданылды. Сол сияқты, ұнтақтың берілу жылдамдығы 18, 23, 28 және 38 Г мин. - 1 - 1 үлгілердің кеуектілігін өзгерту үшін қолданылды. Сонымен қатар, екі қатарлы лазерлік сканерлеу арасындағы қашықтық тері тесігінің мөлшері мен таралуын реттеу үшін 0,76-дан 9,52 мм-ге дейін өзгерді. Бастапқыда микроқұрылымдық зерттеу әр түрлі өңдеу параметрлерінде өңделген барлық үлгілер үшін кеуек пішінінің гетеро генділігін анықтады. Тері тесігінің мөлшері мен байланысы да аз болды. Төмен лазерлік қуатпен, үлкен шығу қашықтығымен, жоғары ұнтақ беру жылдамдығымен және жоғары сканерлеу жылдамдығымен өңделген үлгілердегі көптеген технологиялық параметрлер өзгергеннен кейін, төмен тығыздықпен бірге жоғары өзара байланысты кеуектілік байқалды. 5-суретте көлемдік тығыздықпен тиімді қаттылықты азайту үшін әртүрлі мөлшердегі LENS көмегімен тікелей жасалған жамбас аяқтары көрсетілген.



10– сурет – LENS көмегімен жасалған таза пішін, функционалды жамбас аяқтары.

Ram et al. (65) lens – ті lens – ке қолданылатын Co-Cr-Mo-ны шектеулі байланыс аймағында, мысалы, тізе импланттарында қолдану үшін қолданды. Материал жоғары коррозияға төзімділігі мен қаттылығына байланысты таңдалды, бұл тозу мен цитотоксикалық өнімдерінің шығарылуын болдырмайды. Субстрат ретінде Co – Cr – Mo-дан диаметрі 55 мм жалған шыбықтан кесілген қалыңдығы 5 мм дискілер қолданылды. Алынған үлгілер толығымен тығыз болды және өте жұқа микроқұрылымға ие болды. Алайда, Карбид морфологиясы өте жұқа, ұзын өзара байланысты Карбид бөлшектерімен және үздіксіз Карбид торымен анықталды, бұл Деформацияланатын Co – Cr – Mo материалымен салыстырғанда құрғақ құм / резеңке шеңберді сынау кезінде абразивті тозуға нашар төзімділікке әкелді.

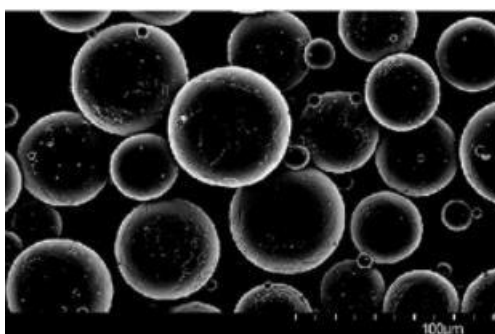
Balla et al. ( 66 ) градиент құрылымы мен құрамы бар Ti – TiO<sub>2</sub> құрылымдарын жасау үшін LENS техникасын қолданды. Олар екі материалдың тұрақты интерфейсін көрсетеді, бетінің қаттылығын арттырады. Мұндай градиент құрылымдары төмен үйкеліс коэффициенті бар тозуға төзімді сыртқы қабаттар үшін пайдалы механикалық қолдауды қамтамасыз етеді және герцтің жергілікті бұзылу ықтималдығын азайтады. әр түрлі концентрациясы бар сатылы құрылымдар TiO<sub>2</sub>, жоғарғы бетінде улы емес және био үйлесімді болып шықты. Бір жағынан ашық кеуектілігі бар және екінші жағынан үйкеліс коэффициенті төмен қатты беті бар бұл біртұтас құрылымдар толық жамбас протездері сияқты имплантанттарға арналған әртүрлі құрамы бар бірнеше бөлшектердің қажеттілігін жоя алады.



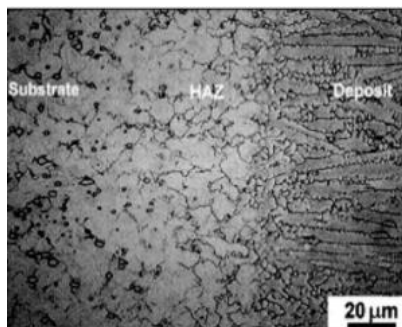
### 3 LENS адитивті технологияларына арналған материалдар

LENS адитивті технологияларына арналған материалдары ретінде-титан, никель, кобальт негізіндегі кез-келген металдар мен қорытпаларды қолдануға, сонымен қатар вольфрам, молибден және ниобий негізіндегі ыстыққа төзімді және отқа төзімді тот баспайтын стапелер, алюминий, мыс және мырыш негізіндегі қорытпалар, сондай-ақ титан, вольфрам, хром карбидтері қолдануға болады. Lens технологиясына арналған ұнтақтарға қойылатын талаптар қажетті химиялық құрамға келесідей көмектеседі:

1. Сфералық пішін
2. Бөлшектердің өлшемдері 45-150 мкм;
3. сателлиттердің болмауы; 4. Газ қосылыстарының болмауы.



11– сурет – тiбаi4v ұнтақтарының мөлшері (негізі: 45-106 мкм; 0-45 мкм: 3,2% ; 106-250 мкм: 2,9%).



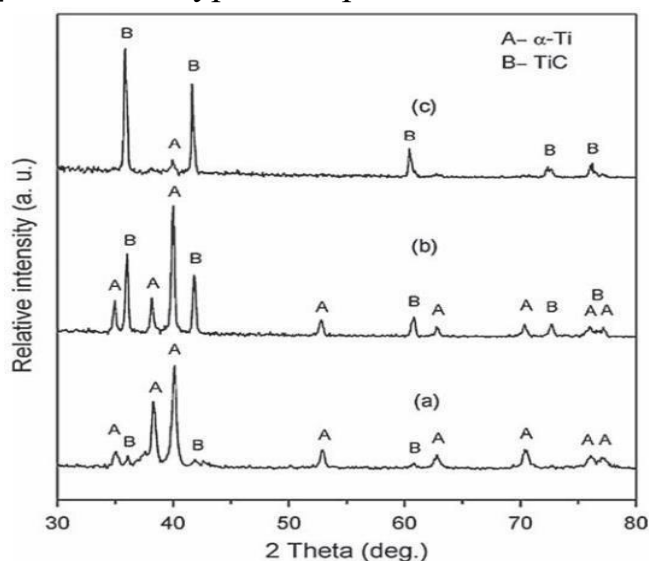
12– сурет – Қаптау аймағының микроқұрылымы.

LENS процесі кезінде жылдам қатаю компоненттің микроқұрылымына және қасиеттеріне елеулі әсер етеді. Демек, бұйым дайындау кезінде металл компоненттері, салқындату жылдамдығы сияқты түрлі жылу параметрлері және температуралық градиенттер ескерілуі қажет. Кең жылулы модельдеу

AISI 316 тот баспайтын болаты үшін LENS процесінде балқыма ваннасындағы температура градиенті шамамен  $5 \times 10^2$  К/мм екенін көрсетті. Со

нымен қатар, температура балқытылған ванна айналасында күрт өзгерістер және балқытылған аймағынан алыста азаяды.

Ni-Mo қорытпалары қоспадан 75% элементті никель және 25% элементті молибден ұнтақтарынан тұрады. Сонымен қатар, металл бөлшектер градуирленген композицияда жасалуы мүмкін. Элементті ұнтақ бірнеше жүйеде араласады.[14] Ол келесі суретте көрсетіледі:



11– сурет – Градуирленген композицияда жасалған Ti-TiC композитінің (а) төменгі, (б) аралық және (в) жоғарғы қабатынан рентгенограммалар.

## 4 LENS жүйесінің термомеханикалық сипаттамасы

Аддитивті өндірістің, атап айтқанда Laser Engineered Net Shaping (LENS) технологиясы термомеханикалық сипаттамасы Лос-Аламосадағы Ұлттық зертхана (LANL) жүргізілген зерттеулерінің басым саласы болды. LANL - да өткізілген LENS алғашқы зерттеуі LANL мен Остиндегі Техас университеті арасында бірегей жүргізіледі. Бұл жоба аддитивті өндірістің құралы ретінде тікелей лазерлік тұндыру кең спектрінің процесі туралы қосымша білім алу талпынысында эксперименттік және есептеу деректерін біріктіретін бірегей екі жақты тәсілді пайдаланады.

### 4.1 Теория

Эксперименталды нәтижелерді үлгілеумен дұрыс интеграциялау үшін материалдар жүйесі таңдалған болуы тиіс, ол постмикроскопия арқылы көруге болатын процесс сипаттамаларының маркерлерін қалдырады. Үлгіні тексеру үшін жоғары температуралар және салқындалу жылдамдығы тұндырғаннан кейін микроскопия көмегімен өлшенген жағдайда болуы тиіс. Төмен көміртекті жазықтағы перлиттер арасындағы қашықтық осы сипаттамаларды кейіннен өңдеу мүмкіндігін қамтамасыз етеді; сондықтан Болат 1018 материалдық жүйе ретінде таңдалды. Келтірілген үлгілердегі қосымша қалдық кернеу компоненттердегі қалдық кернеулердің динамикалық жинақталуын болжау, компьютерлік үлгілеу қабілетін анықтау үшін эксперименталды өлшенеді.

Уақыт бойынша тиімді тестілердің шектеулі санын жүргізу үшін екі еркіндік дәрежесі бар жүйе орнатылды. Лазер энергиясының бірлік ұзындығы және ұнтақ беру жылдамдығы өзгерісіне термомеханикалық ұнтақ қатуын тиімді сынауға дейін мүмкіндік береді.

### 4.2 Эксперимент

Қолданылатын ұнтақ-ұяшығы бар болат-100 / + 200 (-149 мкм / + 74 мкм) 1018. Ұнтақ ехова корпорациясы индуктивті-байланысқан плазмамен (ICP-MS) металл құрамын анықтау үшін масс-спектроскопияны тестілеу үшін жіберілді. Сонымен қатар, LANL-да көміртегі мен күкірттің құрамын анықтау үшін Horiba интерстициальді талдауы жүргізілді. Нәтижелер төменде көрсетілген:

	Metallic Impurities														
	Al	Sb	As	Cr	Co	Cu	Ge	Mn	Mo	Ni	P	Sn	W	V	Zn
%w	0.002	0.0013	0.004	0.052	0.005	0.073	0.002	0.78	0.016	0.062	0.004	0.007	0.001	0.057	0.007
ppm	20	13	44	520	47	730	22	7800	160	620	40	66	14	570	71

#### 4.2.1-кесте. EXOVA ICP-MS құрамы

	Non-metallic impurities	
	C	S
%wt	0.1939	0.0225
ppm	1939	225

#### 4.2.2-кесте. LANL зертханасындағы Horiba интерстициалды талдау нәтижесі

	Alloying Elements Weight%				
	Fe	C	Mn	P	S
ASM 1018	99.25-98.5	0.15-0.2	0.6-0.9	0.04 max	0.05 max
Powder Used	98.7099	0.1939	0.78	0.004	0.0225

#### 4.2.3-кесте. AISI 1018 болатын салыстыру нәтижесі.

ICP-MS тестінің және интерстициальді талдау комбинациясы ұнтақ шынымен ASM 1018 болатын көрсетеді

### 4.3. Базалық плитаны дайындау

Он бір 5"x4"x1/4" суықтай басылған болат 1018 дайындамалары лазерлік шөгуге арналған тірек плиталар ретінде дайындалды. Әрбір тірек плитаны көлемі бойынша ірі бөренеден қиып, кеседі. Содан кейін пластиналар механикалық өңдеуден кейін майды немесе қалдықтарды кетіруге арналған жуғыш құралға арналған ультрадыбыстық ваннаға орналастырылды.

### 4.4. Бұрмалау

Дайындалған он бір базалық пластинадан - он, әрқайсысы үш 3" ұзындықты шөгіндісі бар бланкіге тесттер дайындалады. Әрбір болат 1018 дайындау бір өтпелі шөгінділер, екі өтпелі шөгінділер, және қабырға биіктігі 1 дюйм болады. Үш тест комбинациясы модельдердің кіріс деректерін береді, екінші рет өту әсерлері өлшенетін эксперименталды деректер, сондай-ақ тестіленетін компоненттер. Сонымен қатар, термопар және тензодатчикті тірек плиталарда орналастырылады, ол ойылу орнында температураны ескеруге мүмкіндік береді.

### 4.5. Қысым-деформациялық талдау

Шөгінді қабырғадағы қалдық кернеуді анықтау үшін, біз кесу әдісін өлшеудің кері деформациясына пайдаланамыз. Бұл экспериментте тірек плиталар электр эрозиялық өңдеу арқылы қабырғаның әр жағынан дюймнің төрттен біріне дейін төмен бөлінеді. Қабырғадан кейін секцияланады, үлгі машинада қайта бағдарланады және біртіндеп орталыққа, шөгінді қабырғаның жоғарғы бөлігінен тірек плитасына қарай кесіледі. Шағын кесіктер деформация релаксация жасалған сияқты тірек плитасының артқы жағында тензода тчиктің көмегімен жазылады. Бұл техника өте күрделі геометрия үшін тиімді болды және жай қабырға үшін өте қолайлы, ол тек жазық кернеуді көрсетеді. Бұл тест барлық басқа өлшемдерге және микроскопияға дейін жасалуы тиіс, себебі қалдық кернеуді алу үшін үлгілер орта бойынша бөле отырып, бұзғыш тексерілуі тиіс. Осы сынақтың нәтижесінде он үлгінің ортасы тең  $\sim 1 \frac{1}{2}$  дюйм секциялар әр үлгінің жартысының бірі қатаң микроскопия үшін пайдаланылатын болады және екінші жартысы резервтік болады немесе уақыт мүмкіндік берсе, созылу үлгілері үшін пайдаланылуы мүмкін.

#### **4.6. Микроскопия**

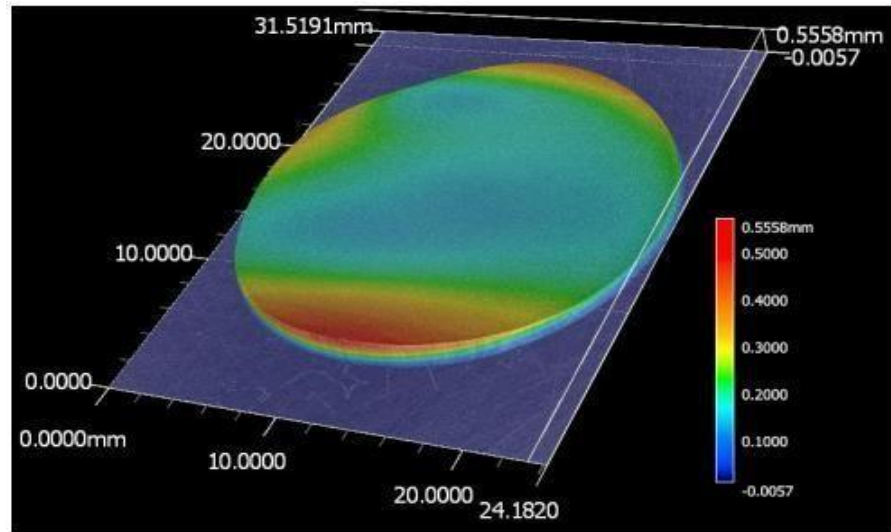
EDM кесуден кейін үлгілер микроскопия үшін Техас университетіне қайтарылады. Жоғары температураны, салқындату жылдамдығын, сұйылту және аддитивті өзара әрекеттесуді анықтау үшін әр түрлі үлестік қуат деңгейлері алынады. Температураны өзгерту деректері және SysWeld коды үшін кіріс деректер ретінде пайдаланылады.

#### **4.7. Есептеулер**

Біз термомеханикалық шешімдер арқылы SysWeld-де бір өтпелі шөгуді жүргізе бастадық. Эксперименталды нәтижелер параметрлерді өзгерту және бір өтпелі және екі өтпелі шөгу кезінде тексеру үшін пайдаланылуы мүмкін кейін үлкен қабырға жай ғана траекторияның дәнекерленген тігісін және кеңейтілген есептеу уақытын қосады.

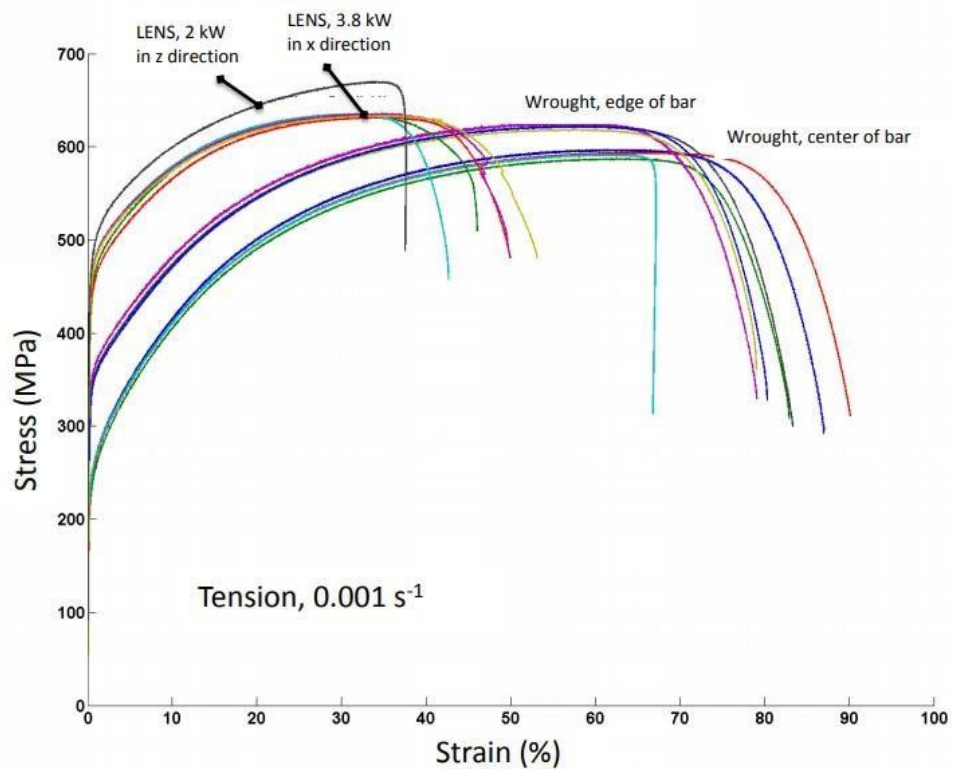
Есептеулердің бекітілген және тексерілген нәтижелері сандық үлгілеу байқалатын эксперименталды деректерді қайда көрсететінін және олар байқалатын мәндерден қай жерде ауытқуын анықтау үшін эксперименталды нәтижелермен салыстырылатын болады. Жергілікті араластыру параметрлері, температура шыңы, салқындату жылдамдығы және қалдық кернеулер, олар эксперименталды және есептеу жағынан өлшенеді.

	Austenite parameters	
	$a_l$	$a_t$
Wrought	3.5932 Å	3.5900 Å
LENS 3.8kW //	3.5938 Å	3.5904 Å
LENS 2kW +	3.5941 Å	3.5908 Å



12– сурет – Үлгі тор параметрлері

12– сурет – Үлгі тор параметрлері шағын айырмашылықтар көрсетеді. Тірек плитасы айтарлықтай өзгерген (қалыңдығы 12 мм). Үлгі тор параметрлері қиып алынған диск аз айырмашылық көрсетеді. Диск 100 мкм, өте аз деформация (25 мм артық емес мм).



12– сурет – LENS материалы соғылғанға қарағанда әлдеқайда күшті.

#### 4.8 LENS жүйесін пайдалана отырып, аддитивті жасалған CoFe өзекшелерінің магнитострикциялық сипаттамалары

Аддитивті өндіріс (АӨ) - материалдың әрбір қабаты жеке және жүйелі түрде жағылатын материалды дайындау әдісі. Бұрынғы зерттеулердің көп бөлігі полимерлік жүйелерге арналған, ал металдар негізіндегі жүйелер соңғы уақытта айтарлықтай дамыды. Бұл жүйелер пайдалану неғұрлым күрделі және әдетте инертті атмосфераға, жоғары температура камераларына, бөлшектердің аз өлшемдеріне және лазерді немесе электрондық шоғырды металдарды балқытуға арналған энергия көзі ретінде пайдалануға қойылатын жалпы талаптарға байланысты әлдеқайда аз монтаждық пластиналарды талап етеді, бірақ барлық жүйелер осы сипаттамаларға сәйкес келмейді. Магнитті линзалармен басқарылатын электрондық-сәулелік жүйелер лазерлік өңдеу үшін қолданылатын механикалық ауыспалы сатыға қарағанда әлдеқайда жылдам басқаруды қамтамасыз етеді. Дехофф және т. б. микро құрылымдарды изотропты поликристаллдан монокристалды микро құрылымдарға дейін бір жинақтың ішінде термоядролық синтездің электронды-сәулелік, ұнтақты жүйелерін пайдалана отырып түрлендіруге мүмкіндік берді [3,4]. Бұл қасиеттері магниттік қолдану үшін өте қажет болса да, осы коммерциялық ұнтақ қабатының көптеген тексерілген құрылымдық ұнтақтарды ғана пайдалануға мүмкіндік береді, ал ұнтақ қабатының жүйелері, сондай-ақ жинауды бастау үшін материалдың көп мөлшерін талап етеді. Ұнтақ қабаты үшін қолданылатын ұнтақтың көп мөлшері бұл әдістерді өте қымбат етеді. Сонымен қатар, ұнтақ қабатындағы құрам бекітілген болғандықтан, зерттеу үшін осы технология арқылы қорытпаларды жобалау тиімді емес. Лазерлік-инженерлік торлы формалар (LENS™) [5] жоғарыда аталған әдістерге ұқсас, бірақ бастапқы материалды әлдеқайда аз талап етеді және құрастыру кезінде композициялық вариацияларға жол береді. LENS - бұл ұнтақ лазермен жасалатын балқыманың бассейніне берілетін энергия бағытталған АӨ әдісі. Ұнтақтың қабатындағы тізбекті қабаттарды балқытудың орнына, ұнтақтар бөлшектер үшін қажетті көп ұнтақты талап ете отырып, қызықты жерде ғана балқиды. Geng оның әр түрлі құрамдағы FeCo үлгілерінің магниттік қасиеттерін экспресс-бағалауда қолданылуы көрсетілген [6]. АӨ үшін жылдам LENS әдісі қолайлы әдіс болып табылады.

Бұл зерттеуде  $Co_{1-x}Fe_x$  екі өзегі осы класты магнитострикциялық материалдардың өнімділігін бағалау үшін LENS әдісін пайдалана отырып, материалдарды жасаудың дәстүрлі емес әдістерін пайдалана отырып басылып шықты. FeCo кобальтты қорытпалары магнитострикцияның елеулі мәндерін көрсетті -  $Fe_{30}Co_{70}$  және  $Fe_{35}Co_{65}$  монокристаллдарына ұқсас қанығу магнитострикциясын көрсетті,  $(3/2) \lambda_{100}$ , ~248-280 мкН кернеулерді [9-11]



және 195 мкН кернеулерді сәйкесінше көрсетті [12].

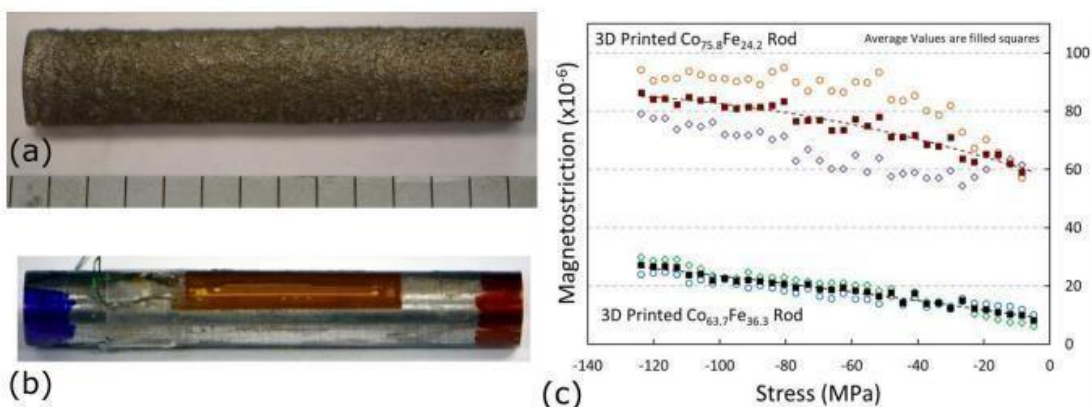
#### 4.9 Нәтижелер және талқылау.

3D баспа өзекшелерінің магнитострикциясы -суретте көрсетілген. Олар құрамы бойынша өте жақын және бір тиражда басылғанына қарамастан, олар әртүрлі сипаттамаларды көрсетеді: 76% Со-өзек 100 ppm жақын, 64% Соөзек 30 ppm төмен. Бір де бір өзек қолда бар қолданбалы кернеумен қанықпайды, алайда 76% Со өзекшесі қысу кернеуінің ұлғаюымен тегістеледі. 76% Со өзегі үшін екі тензометриялық датчиктерде үлкен шашыраңқы бар, алайда бұл күтпеген нәтиже емес және магнитострикцияның үлкен мәндерімен байланысты болуы мүмкін, себебі екеуі де төменде көрсетілгендей ұқсас микроқұрылымдар бар. Қоса берілген қысылған кернеудің ұлғаюына қарай мәндер қанығуға жақындауы тиіс магнитострикция шамасы  $(3/2) \lambda$ .

Керісінше, өлшенген магнитострикция, қанығу монокристалдық диск Со  $^{67}\text{Fe}_{33}$  құрады,  $(3/2) \lambda_{100} = 197 \text{ ppm}$  және  $(3/2) \lambda_{111} = 136 \text{ ppm}$ .  $(3/5) \lambda_{111} + (2/5) \lambda_{100}$  деп есептелген изотропты поликристалды мән  $107 \text{ ppm}$  құрайды, ал қанығудың толық мәні  $(3/2) \lambda_s$   $161 \text{ ppm}$ . 76% Со өзегі осы мәндерге жақындайды, алайда осы өзек үшін қажетті қысу кернеуі, бұл уақытта қол жетпеді; алайда, 76% - дық Со үлгісі  $161 \text{ ppm}$  есептелген қанығу мәні төмен болады деп күтілуде, өйткені магниттік трикция кобальт мөлшерінің ұлғаюымен азырақ тиіс.

Екі үлгінің қанықтырылуын магниттелуін өлшеу үшін төсекке жақын және бос бетінде VSM пайдаланды; екі шеті ұқсас сипаттамаларды көрсетті. 64% Со үлгісі үшін  $\sim 181 \text{ emu/g}$  және 74% Со үлгісі үшін  $200 \text{ emu/g}$  құрады. 76% Со іріктеуі әдеби мәндерге тікелей сәйкес келеді, ал 64% Со іріктеуі

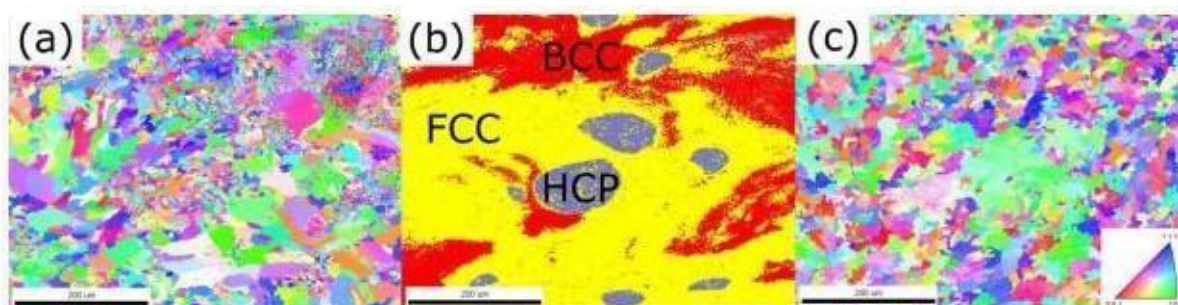
$\sim 35 \text{ emu/g}$  күтілгеннен төмен[15]; бұл өнімділіктің төмендеуі АМ процесінде қатаюдан төменде көрсетілгендей тең емес фазалардың болуымен түсіндіруге болады .



13– сурет – LENSTM пайдалана отырып жасалған, (а) беттің алынған күйін көрсететін кодтық стержендер



Бұл суретте LENSTM пайдалана отырып жасалған, (а) беттің алынған күйін көрсететін кодтық стержендер (сызғышта 1/8 дюйм таңбалау); (б) өңделген бет жағылған тензометриялық сенсормен бөлінеді. Қызыл және көк түстері өзектің бос ұштары мен ұштарын ажырату үшін қолданылды; (с) осьтік қысу кернеуіне байланысты жасалған өзекшелердің 76% Со және 64% Со LENS<sup>TM</sup> магнитострикциясы. Толтырылған квадраттар екі тензометриялық датчиктердің орташа мәндері болып табылады; нүктелі сызықтар көзге бағыттаушы болып табылады.



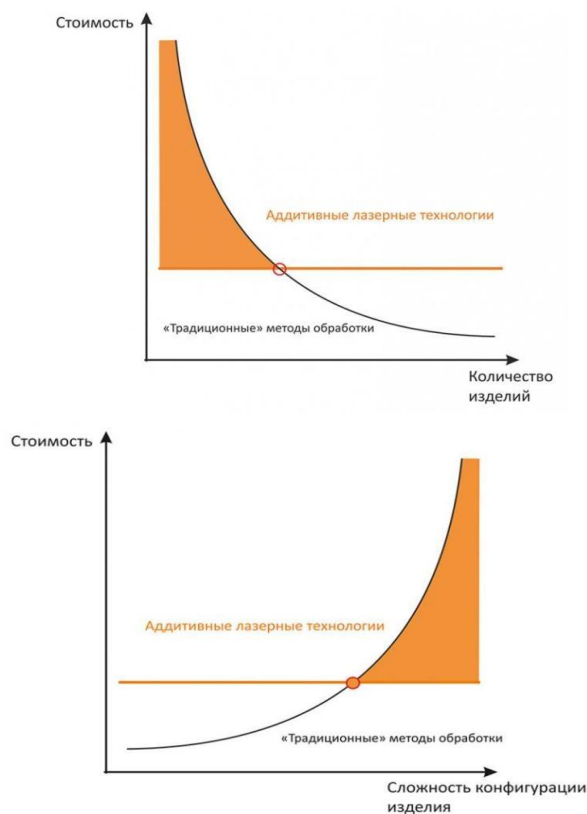
14– сурет –  $CO_{1-x}Fe_x$ -тен жасалған LENS<sup>TM</sup> өзекшелерінің көлденең қимасының EBSD-нің төменгі (тік) бейнелері тиісті фазалық картасы бар (b) 64% Со үшін (a) кері полюсті фигураны (IPF), сондай-ақ (c) 76% Со үлгісі үшін IPF көрсетеді.

Аддитивті жасалған  $CO_{1-x}Fe_x$  магнит өрісі LENS<sup>TM</sup> арқылы жасалды. 76% және 64% Со үлгілері елеулі магнитострикцияны көрсеткен кезде, 76% Со үлгісі есепті поликристалды мәндерге жақындағанда әлдеқайда жоғары мәнге ие болды. Бұл өнімділікті сәйкессіздік химиялық біртектілікпен қатар 64% Со үлгісінде бірнеше кристалды фазалардың болуымен байланысты болды, ал 76% Со үлгісі тұтастай бір фазалы түйіршіктер өлшемімен болды. Бұл нәтижелер, сондай-ақ серпімді константаларды және магниттілікті қарайтын RUS және VSM өлшемдерімен үйлеседі. Басып шығару параметрлерін реттей отырып, жақсы тегістеуге, BCC бір фазасының бағаналы өсуіне қол жеткізуге болады; бұл LENS<sup>TM</sup> сатысының қозғалысын X-Y және тек Z бағытында жұмыс істеу арқылы немесе ұнтақты қабатты балқытудың электронды-сәулелік жүйесіне ауысу арқылы қол жеткізуге болады. Мұндай оңтайландырылған кристаллография байқалатын магнитострикциялық ұнқатысуды жақсартар еді және белсенді құрылымдарды немесе белсенді компоненттері бар статикалық құрылымдарды құру үшін осындай технологияны пайдалануға мүмкіндік берер еді. Одан әрі кристаллографиялық талдау және тұрақты серпімділікті өлшеу баспа параметрлерін оңтайландыруға көмектеседі.

## 5 Өндірісте LENS жүйесін қолдану

Көптеген сұрақтар туындайды: жаңа әдіспен өндірілген бөлшектерді енгізу мен сертификаттаудың күрделілігінен бастап, сарапшылардың шектеулі санына дейін. Алайда, жалпы алғанда, бұл мәселелер бір - бірімен байланысты және оларды шешу-бұл уақыт мәселесі. Сонымен қатар, технологияның болашағы, аддитивті технологияларды өндіріске енгізудің орындылығы мен тиімділігі маңызды болып табылады. Жалпы алғанда, лазерлік аддитивті технологиялардың көмегімен бөлшектерді өндіру, ең алдымен, күрделі геометриясы бар бөлшектердің аз мөлшерін өндіруге қатысты жағдайларда бәсекеге қабілетті (7-сурет),

1). Бұл авиация өнеркәсібінде, ғарыш индустриясында, стоматологияда және импланттар өндірісінде металл бұйымдарының қабатты лазерлік синтезін орнатуға деген үлкен сұранысты түсіндіреді.

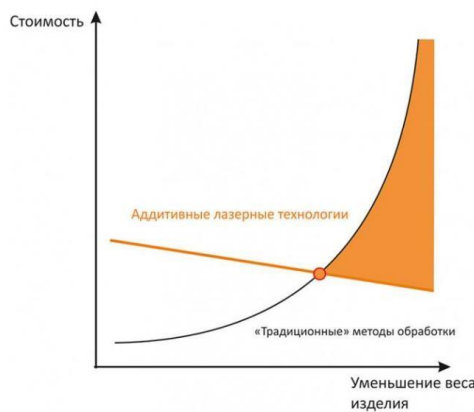


15– сурет – Аддитивті технологияларды қолдану тиімділігінің графиктері

Соңғы жылдары ұшақ құрылысына көп көңіл бөлінді. Автомобиль өнеркәсібі жеңіл конструкцияларды жасауға мүмкіндік беретін технологияларға бөлінеді. Оларды пайдалану жанармайды қосымша үнемдеуді қамтама сыз етеді. Airbus A380 ұшағын жасау кезінде 2000 жылдардың басында дәстүрлі тойтарманың орнына фюзеляждың кейбір бөлшектерін лазермен дәнекерлеу технологиясы белсенді түрде енгізілді. Содан кейін бұл салмақты 15% азайтуға мүмкіндік берді. Ұшақ жасауда салмақты 1 кг-ға азайту жылына 100 литр отынды үнемдеуге мүмкіндік береді, ал автомобиль өнеркәсібінде салмақты 10% - ға азайту отынды 4% үнемдеуге мүмкіндік береді. Мұндай жеңіл конструкцияларды енгізу, әдетте, оларды қосымша лазерлік технологиялардың көмегімен жасауды қажет етеді (сурет. 8, 9, 10).



15– сурет – Аддитивті технологияларды қолдану арқылы конструкциялардың салмағын азайту



15– сурет – Салмақты азайту арқылы өнімнің құнын төмендету кестесі



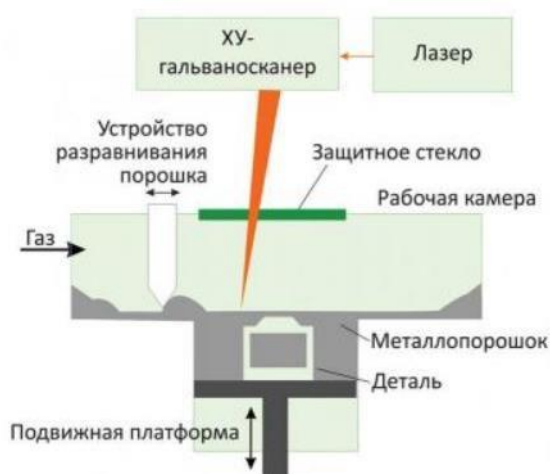
16– сурет – SLM технологиясы арқылы жасалған авиациялық кресло элементтерін бекіту кронштейні

## 6 Аддитивті өндірістің негізгі әдістердің ерекшеліктері мен айырмашылықтары

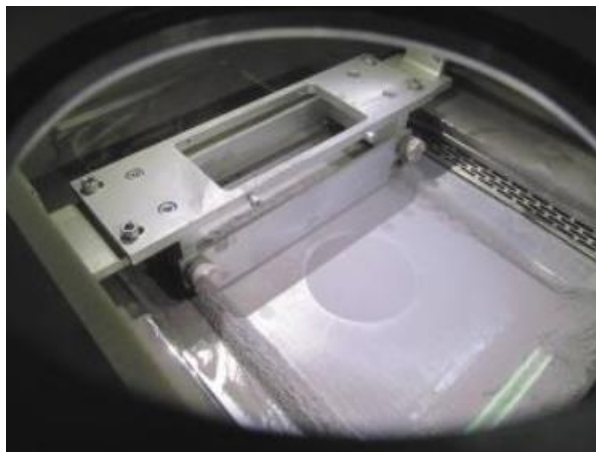
Лазерлік аддитивті технологияларды екі топқа бөлуге болады: технологиялық процесте және атауларды патенттеу мәселелерімен.

1) SLM Selective Laser Melting селективті лазерлік ваннаны пайдалана отырып балқыту (синтездеу немесе күйдіру)

Балқыма (сурет. 2. 3). Бұл белгілі бір беттің болуы туралы, алдымен қабат пайда болады, содан кейін осы қабатта материалды іріктеп бекітеді. Осы санатқа SLS және SLA, DMLS сияқты технологиялық белгілерді қамтиды, Laser Cusing, SPLA және басқалар. Laser Cusing, SPLA және басқалар.

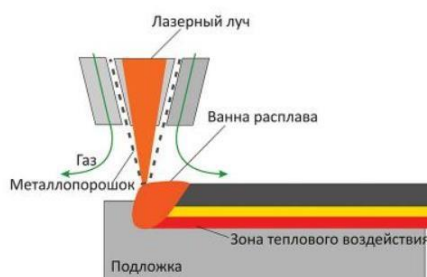


17– сурет – SLM технологиясы бойынша бөлшектерді құру схемасы

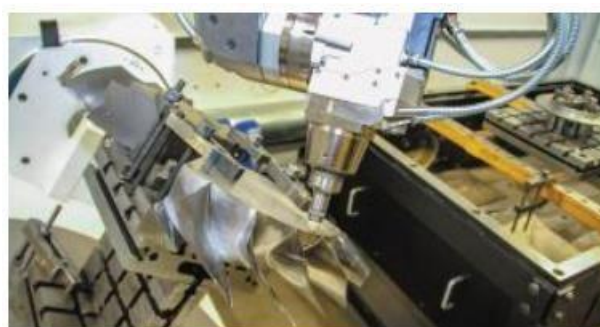


18– сурет – Лазерлер және "лазерлер" фирмасының ml6-1 білдегінің жұмыс камерасы

2) LMD - металл лазермен бүрку-тікелей лазермен тұндыру немесе тікелей лазермен өсіру, тікелей ұнтақты немесе сымды тікелей құрылыс орнына беру (сурет. 4, 5). Бұл санатқа мына технологиялар кіреді: DMD-тікелей металды тұндыру, ЛИНЗА-Лазерлік инженерлік торлы форма, DM Direct Manufacturing, M. JS көп фазалы реактивті қатаю.



19– сурет – LMD технологиясы бойынша бөлшекті құру схемасы



20– сурет – LMD технологиясы бойынша бөлшекті құру схемасы

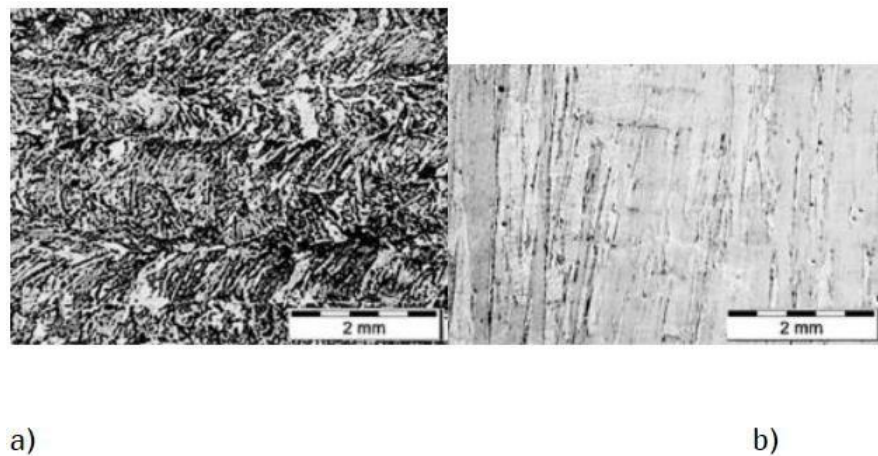
Қазіргі уақытта қосымша технологиялар саласындағы әлемдік көшбасшылар SLM әдісінің басты артықшылығы ретінде құрылыстың жоғары



дәлдігі мен сапасын атап өтеді. Осы технологияны қолдана отырып, ішіндегі қуыстары, ілулі бөліктері бар практикалық, қызықты өнімдер жасауға болады. Алайда, мұндай жүйелердегі құрылыс жылдамдығы мен өсетін бөлшектердің мөлшері шектеулі. Тікелей жауын-шашын, өз кезегінде, үлкен жылдамдықпен және үлкен көлемде құрылыс жүргізуге мүмкіндік береді, көптеген материалдар зерттелді, бірақ мұндағы дәлдік төмен және өсірілетін бөліктердің күрделілігі шектеулі (сурет. 6. кесте 1). SLM және LMD технологияларын қолдана отырып, бірдей бөлікті жасау тәжірибесі. Осы мақсатта Airbus A 320 ұшағының қозғалтқышты қорытпадан жасалған қанаттың астына бекітуге арналған тірек бөлшегі дайындалды

Инконель 718. Алынған бөлік жоғары температура, химиялық және механикалық соққыларға төзімді болуы керек. Қазіргі уақытта ол құю және фрезерлеу арқылы жасалады.

Алынған материалдың құрылымындағы белгілі бір айырмашылықтан басқа (сурет. В) және созылу және қысу күші, келесі айырмашылықтарға назар аударады: LMD. Құрылыс уақыты 14 сағатты құрады, құрылыс жылдамдығы 146,7 мм<sup>3</sup>/сек құрады. Құрылыс барысында параметрлерді түзету қажет болды, кейбір тесіктер болмады (қосымша өңдеу қажет болды). SLM. Құрылыс уақыты 40 сағатты құрады, жылдамдығы 15 мм<sup>3</sup>/сек. Сонымен қатар, бөлшектердің деңгейі мен сапасы өте жоғары болды.



21– сурет – LMD (a) және SLM құрылымдары (b)

	LMD	SLM
Материалдар	Үлкен таңдау ұнтақ	Шектелген ұнтақтар саны
Өлшемдері бөлшектер	Шектелген жүріс мөлшері шектеулі осьтер	
Күрделілігі	Шектелген	Шектелмеген
Дәлдік	$\geq 0,3$ мм	$\geq 0,1$ мм
Жылдамдық құру	10-40 см <sup>3</sup> /сағ	2-10 см <sup>3</sup> /сағ
Субстрат	Беті күрделі пішінді Қазірдің өзінде қолда бар деталь	Тегіс беті Арнайы платформа
Rz	60-100 мкм	30-50 мкм
Қалыңдығы қабат	0,1-1 мм	0,03-0,1 мм

**7-кесте.** LMD (a) және SLM (b) технологияларын салыстыру

3D басып шығару нақты өндірістік процесті ескере отырып, төзімділікті тексеруді және жаппай өндіріске көшпес бұрын ішкі және далалық кешенді сынақтарды жүргізуді жеңілдетеді. 3D басып шығару бөлшектері прототиптеу құралдарымен, пішіндермен, монтаждау және өндіріс желісіне арналған қондырғылармен қатар өндірісті де қолдайды.

3D басып шығаруды жобалау кезінде өндіріс басталған кезде дизайн аяқталмауы керек. Жылдам прототиптеу құралдары дизайнерлер мен инженерлерге өнімді үнемі жетілдіріп отыруға және құрастыру процестерін немесе сапаны бақылауды жақсартатын монтаждау және орнату құрылғыларымен желілердегі проблемаларға тез және тиімді жауап беруге мүмкіндік береді.



**22– сурет – Жылдам прототиптеу технологиялары: FDM / SLA / SLS**

Соңғы бірнеше жыл ішінде жоғары ажыратымдылықтағы 3D принтерлер қол жетімді, пайдалану оңай және сенімді бола бастады. Нәтижесінде, технология енді көптеген кәсіпорындар үшін қол жетімді, бірақ әр түрлі бәсекелес 3D басып шығару шешімдерін таңдау қиын болуы мүмкін.

Сіздің нақты қосымшаңызға қандай технология сәйкес келеді? Қандай материалдар бар? Бастау үшін Сізге қандай жабдықтар мен жаттығулар қажет?

Инвестицияның шығындары мен қайтарымы туралы не айтуға болады? Әрі қарай, біз пластикті 3D басып шығарудың ең көп таралған үш технологиясын қарастырамыз: қабатты модельдеу (FDM), стереолитография (SLA) және селективті лазерлік синтездеу (SLS)



22– сурет – Стереолитография (SLA)

Жылдам прототиптеу құралдары: FDM / SLA / SLS. Соңғы бірнеше жыл ішінде жоғары ажыратымдылықтағы 3D принтерлер қол жетімді, пайдалану оңай және сенімді бола бастады. Нәтижесінде, технология енді көптеген кәсіпорындар үшін қол жетімді, бірақ әр түрлі бәсекелес 3D басып шығару шешімдерін таңдау қиын болуы мүмкін.

Сіздің нақты қосымшаңызға қандай технология сәйкес келеді? Қандай материалдар бар? Бастау үшін Сізге қандай жабдықтар мен жаттығулар қажет?

Инвестицияның шығындары мен қайтарымы туралы не айтуға болады? Әрі қарай, біз пластикті 3D басып шығарудың ең көп таралған үш технологиясын қарастырамыз: қабатты модельдеу (FDM), стереолитография (SLA) және селективті лазерлік синтездеу (SLS)

**Балқыту әдісімен модельдеу (fDM).** Қалқымалы модельдеу-әуесқой 3D принтерлердің пайда болуынан туындаған тұтынушылық деңгейде 3D басып шығарудың ең көп қолданылатын түрі. FDM 3D принтерлері термопластикалық жіпті балқыту және экструзиялау арқылы бөлшектерді жасайды, оны басып шығару басы құрастыру аймағында қабаттарға салады.

FDM ABS, PLA, олардың әртүрлі қоспалары сияқты бірқатар стандартты термопластикамен жұмыс істейді. Бұл әдіс негізгі тұжырымдамалық модельдерге, сондай-ақ әдетте өндеуге болатын бөлшектер сияқты қарапайым бөлшектерді тез және арзан прототиптеуге жақсы сәйкес келеді.

FDM SLA немесе SLS-пен салыстырғанда ең төмен ажыратымдылықпен дәлдікке ие және күрделі құрылымдар мен бөлшектерді күрделі нысандармен басып шығарудың ең жақсы нұсқасы емес. Жоғары сапалы әрлеуді химиялық және механикалық жылтырату арқылы алуға болады. FDM өнеркәсіптік 3D принтерлері кейбір мәселелерді жеңілдету үшін еритін тіректерді пайдаланады



және техникалық термопластиканың кең спектрін ұсынады, бірақ олар да жоғары бағаға ие.

**Селективті лазерлік агломерация (SLS).** Селективті лазерлік агломерация бұл өнеркәсіптік қолдануға арналған ең көп таралған қоспалар технологиясы. 3D SLS принтерлері полимерлі ұнтақтың ұсақ бөлшектерін синтездеу үшін қуатты лазерді пайдаланады. Пайдаланылмаған ұнтақ басып шығару кезінде бөлікті қолдайды және мамандандырылған тірек конструкцияларының қа жеттілігін жояды.

Бұл SLS-ті күрделі геометриялар үшін тамаша технология етеді, оның ішінде ішкі заттар, кесу, жұқа қабырғалар және теріс заттар. SLS басып шығарумен жасалған бөлшектер керемет механикалық сипаттамаларға ие, олардың беріктігі инъекциялық қалыптау арқылы жасалған бөліктерге ұқсайды.

Селективті лазерлік синтездеуге арналған ең көп таралған материал – бұл нейлон, жоғары механикалық қасиеттері бар танымал инженерлік термопластика.

Нейлон жеңіл, берік және икемді, сонымен қатар соққыларға, химиялық заттарға, жылуға, ультракүлгін сәулелерге, су мен кірге төзімді.

Төмен партиялық шығындар, жоғары өнімділік және орнатылған материалдардың үйлесімі SLS функционалды прототиптеу инженерлері арасында танымал таңдау болып табылады және Шектеулі Шығарылым немесе параллель өндіріс үшін қалыптауға үнемді балама болып табылады.



22– сурет – FDM бөлшектері көрінетін қабат сызықтарына ие және күрделі функциялардың айналасында дәлсіздіктерді көрсете алады. Бұл мысал Stratasys uprint өнеркәсіптік 3D принтерінде еритін медиамен басып шығарылды (машина бағасы 15900 доллардан басталды).



23– сурет – SLA бөлшектерінде өткір жиектер, тегіс бет және минималды көрінетін қабаттар бар. Бұл мысалда бөлік Formlabs Form 2 Жұмыс үстеліндегі SLA 3D принтеріне басып шығарылды



23– сурет – SLS бөлшектері сәл өрескел бетке ие, бірақ көрінетін қабат сызықтары жоқ. Бұл мысалда бөлшек Formlabs Fuse 1 Жұмыс үстеліндегі SLS 3D принтерінде басылған (бағасы 9 999 доллардан басталады).

**FDM, SLA және SLS технологияларын салыстыру.** Әрбір 3D басып шығару технологиясы өзінің күшті және әлсіз жақтары мен талаптарына ие және әртүрлі қосымшалар мен бизнеске сәйкес келеді. Келесі кестеде кейбір негізгі сипаттамалар мен ойлар келтірілген.

7-кесте. **FDM, SLA және SLS технологияларын салыстыру**

	Flowing дельдеу FDM	мо Стереолитогра фия SLA	Селективті пісіру <sup>лазерлі</sup> SLS
Рұқсат	★★★★☆☆	★★★★★★	★★★★★★

<b>Дәлдігі</b>	★★★★☆	★★★★★	★★★★★
<b>Беттік өңдеу</b>	★★★★☆☆	★★★★★	★★★★☆
<b>Өткізу қабілеті</b>	★★★★☆	★★★★☆	★★★★★
<b>Күрделі дизайн</b>	★★★★☆☆	★★★★★	★★★★★
<b>Пайдаланудың қарапайымдылығы</b>	★★★★☆	★★★★★	★★★★☆
<b>Артықшылықтары</b>	Жылдамдық Төмен тұтыну машиналары мен материалдары	Жоғары құны Жоғары дәлдік Тегіс беті Функционалды қолданудың алуан түрлілігі	Қатты функционалды бөліктер Дизайн еркіндігі Қолдау құрылымдары қажет емес
<b>Кемшіліктері</b>	Төмен дәлдік Төмен бөлшектер Шектеулі дизайн үйлесімділігі	Құрылыстың орташа көлемі УК-сәулеленудің ұзақ әсеріне сезімталдық	Кедір-бұдыр беті Материалдың шектеулі нұсқалары
<b>Қолданылуы</b>	Арзан жылдам прототиптеу Негізгі тұжырымдамалық модельдер	Функционалды прототиптеу стол матологиялық қолдану Прототиптеу және құю зергерлік модельдеу	Функционалды прототиптеу Шағын көлемді, тәжірибелік немесе жеке өндіріс
<b>Басып шығару көлемі</b>	200 x 200 x 300 мм дейін (жұмыс үстелі 3D принтерлер)	145 x 145 x 175 мм дейін (жұмыс үстелі 3D принтерлер)	165 x 165 x 320 мм дейін (стендтік 3D принтерлер)

<b>Материалдар</b>	ABS, PLA және олардың әртүрлі қоспалары сияқты стандартты термопластика.	Түрлі полимерлер (термоактивтік пластмассалар) Стандартты, техникалық (ABS-тәрізді, PP-тәрізді, икемді, ыстыққа төзімді), құю, стоматологиялық және медициналық (биолесімді)	Инженерлік термопластика Nylon 11, Nylon 12 және олардың құрамдары
<b>Оқыту</b>	Машинаны орнату, пайдалану және әрлеу бойынша болмашы оқыту ; қызмет көрсету бойынша орташа дайындық	"Қосу және жұмыс". Машинаны орнату, қызмет көрсету, пайдалану және әрлеу бойынша шамалы оқыту	Монтаждау, техникалық қызмет көрсету, машинаны пайдалану және әрлеу бойынша орташа көлемді оқыту
<b>Нысан-талаптар</b>	Кондиционерленген орта немесе жұмыс үстелі машиналары үшін жеке желдету.	Жұмыс үстелі машиналары кеңсе ортасына жарамды	Стендтік жүйелер үшін кеңістікке қалыпты талаптары бар жұмыс ортасы
<b>Қосалқы бдықтар</b>	Ерітілетін тазарту қалпына келтіруге арналған кейінгі өңдеу станциясы	Пост-қатаю станциясы, жуу станциясы (міндетті емес автоматты), әрлеу құралдары	Бөлшектерді тазартуға және материалды қалпына келтіруге арналған кейінгі өңдеу станциясы

## ҚОРЫТЫНДЫ

Диплом жазу барысында барлық алға қойылған мақсаттарға қол жеткізілді. Алдымен қажетті негізгі ақпараттарға тоқталып, аддитивті технология, лазер және оның түрлеріне сипаттама жасалып, қажет ақпараттар жиналды.

Қазіргі заман талабына сай аддитивті өндіріс үшін тиімді болып келетін Laser Engineered Net Shaping - лазерлік инженерлік торлы қалыптау (LENS) жүйесі – бұл лазер негізіндегі жылдам прототиптеу процессі. Оның көмегімен өте күрделі

конструкцияларды жылдам әрі сапалы дайындауға болады. Бұл жүйе арқылы негізінен ғарыш, медицина және т.б ұсақ детальдарды дайындау мүмкіншілігі өте зор, және тиімді болып келеді.

LENS адитивті технологияларына арналған материалдар пластик немесе кейбір метал түрлері болуы мүмкін. Сонымен қатар бұл технология үшін материалдар саны күн сайын артуда. Оның кейбіріне дипломдық жұмыста сипаттама беріліп, зерттеулер жүргізілді.

Нәтижесінде, бұл жобадағы зерттеулер кеңінен бағытталған лазерлік тұндыру процесінің есептік-эксперименттік сипаттамасы, атап айтқанда LENS процесінде жүргізіледі. Жоғары температуралар, салқындату жылдамдығы, қалдық кернеулер, сұйылту және т. б. қажетті қасиеттері лазер қуаты мен лазер жылдамдығына байланысты қарастырылады және адитивті өндірістегі технологиялық ортаны одан әрі түсінуге, кеңітуге жол ашады.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Достижения в аддитивном производстве и оснастке Ш. Риза , К. Вен , в Комплексной обработке материалов , 2014 г.
2. Быстрое прототипирование Куанг-Хуа Чанг , в электронном дизайне , 2015
3. SLM and LMD Manufacturing Processes, Dr. Wilhelm Meiners,
4. Fraunhofer ILT, Aachen.
5. Lightweight in Automotive and Aerospace, Dr. E. h. Peter Leibinger, 6. TRUMPF GmbH + Co. KG, Ditzingen.
7. Institut fuer Lasertechnik ILT, Aachen. RWTH Aachen

8. University Lehrstuhl fuer Lasertechnik LLT.
9. Comparison LMD and SLM In Additive Manufacturing, Dipl. Ing.
10. Moritz Alkhayat, Fraunhofer ILT, Aachen
11. Srivatsan T.S. Additive Manufacturing Innovations, Advances, and Applications. Taylor & Francis Group, LLC, 2016. 444 p
12. David L. Bourella, Joseph J. Beaman, Jr., Ming C. Leub and David W. Ro sent. A Brief History of Additive Manufacturing and the 2009 Roadmap for Additive Manufacturing: Looking Back and Looking Ahead. RapidTech 2009, [www.rapidtech.itu.edu.tr](http://www.rapidtech.itu.edu.tr).
13. Каблов Е. Новые материалы и технологии – основа технологического лидерства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://via.m.ru/news/5032>.
14. Аддитивное производство: технологии и материалы [Электронный ресурс].
15. Режим доступа: <https://poisk-ru.ru/s58t8.html>.
16. Осокин Е. Н. Процессы порошковой металлургии. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: курс лекций / Е. Н. Осокин, О. А. Артемьева. – Красноярск: ИПК СФУ, 2008.
17. –No 31. –С. 299–322.
18. S. Kumar. Comprehensive Materials Processing, volume 10. Elsevier, 2014.
19. [http://www.3dsystems.com/products/datafiles/lasersintering/datasheets/Laser\\_Form\\_ST\\_100\\_uk.pdf](http://www.3dsystems.com/products/datafiles/lasersintering/datasheets/Laser_Form_ST_100_uk.pdf)
20. M. S. Węglowski, K. Kwieciński, K. Krasnowski, and R. Jachym, “Characteristics of Nd:YAG laser welded joints of dual phase steel,” Arch. Civ. Mech. Eng., vol. 9, no. 4, pp. 85–97, 2009
21. K. Takasawa, R. Ikeda, N. Ishikawa, and R. Ishigaki, “Effects of grain size and dislocation density on the susceptibility to high-pressure hydrogen environment embrittlement of high-strength low-alloy steels,” Int. J. Hydrogen Energy, vol. 37, no. 3, pp. 2669–2675, 2012.

## Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

**Автор:** Амангелді Байбатыр Қайратұлы ,

**Название:** Ұнімді дайындау кезінде аддитивті Laser Engineered Net Shaping технологиясын қолдануды зерттеу

**Координатор:** ассоц. Профессор Арымбеков Б.С. ,

**Коэффициент подобия 1:0**

**Коэффициент подобия 2:0**

**Замена букв:1**

**Интервалы:8**

**Микропробелы:4**

**Белые знаки: 0**

**После анализа Отчета подобия констатирую следующее:**

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

**Обоснование:**

.....

.....  
*Дата*

  
.....  
*Подпись Научного руководителя*



**Протокол анализа Отчета подобия**

**заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения**

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

**Автор:** Амангелді Байбатыр Қайратұлы ,

**Название:** Өнімді дайындау кезінде аддитивті Laser Engineered Net Shaping технологиясын қолдануды зерттеу

**Координатор:** ассоц. Профессор Арымбеков Б.С. ,

**Коэффициент подобия 1:**0

**Коэффициент подобия 2:**0

**Замена букв:**1

**Интервалы:**8

**Микропробелы:**4

**Белые знаки:**0

**После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:**

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

**Обоснование:**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Дата



Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

**Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:**

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

.....  
.....

Дата



Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения