

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

Махмуд Бақдәулет Исламұлы

Бұйымдарды дайындау кезінде Direct Metal Deposition аддитивті технологиясын
қолдануды зерттеу

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5B071200 – Машинажасау мамандығы

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

Өнеркәсіптік инженерия кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі
PhD д-ф., қауым. профессоры
_____ Арымбеков Б.С.
«____» _____ 2020 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Бұйымдарды дайындау кезінде Direct Metal Deposition аддитивті технологиясын қолдануды зерттеу»

5B071200 – Машинажасау

Орындаған

Махмуд Б.И.

Ғылыми жетекші
PhD д-ф., қауым. профессоры
_____ Арымбеков Б.С.
«____» _____ 2020 ж.

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

Өнеркәсіптік инженерия кафедрасы

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі
PhD д-ф., қауым. профессоры
_____ Арымбеков Б.С.
«___» _____ 2020 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Махмуд Бақдәулет Исламұлы

Тақырыбы «Бұйымдарды дайындау кезінде Direct Metal Deposition аддитивті технологиясын қолдануды зерттеу»

Университет ректорының «___» _____ 2020 ж. №___ бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «___» _____ 2020 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері DMD аддитивті технологиясының өндірісте қолданылуын тиімділігін зерттеу

Дипломдық жобада қарастырылатын мәселелер тізімі:

- а) DMD аддитивті технологиясымен танысу
- ә) DMD аддитивті технологиясына негізделген 3D принтерлермен танысу
- б) DMD әдісімен алынған үлгілерді микроструктуралқ талдау

Ұсынылатын негізгі әдебиет: 11

Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәліметтер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
DMD аддитивті технологиясы		
DMD технологиясына негізделген 3D принтерлер және оны құраушылар		
DMD аддитивті технологиясының қолданылуын зерттеу		

Дипломдық жұмыс бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа қойған
қолтаңбалары

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

Ғылыми жетекші _____ Арымбеков Б.С.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы _____ Махмуд Б.И.

Күні « ____ » _____ 2020 ж.

АНДАТПА

«Бұйымдарды дайындау кезінде Direct Metal Deposition аддитивті технологиясын қолдануды зерттеу» атты дипломдық жоба қағаз түрінде 24 беттен тұрады. Жұмыс кіріспеден, негізгі 3 бөлімнен, қорытындыдан, 11 суреттен және 4 кестеден, 11 ғылыми мақалалар мен оқу құралдары көрсетілген тізімінен тұрады.

Мақсаты. DMD технологисының қолдану аясы мен алынған үлгілерге микрқұрылымдық талдау жүргізу.

Бұл жұмыста DMD аддитивті технологиясына түсіндірме мен өндіріс орындарында қолдану тиімділігі және алынған үлгілірге зерттулер көрсетілген.

Нәтижесінде зерттеулерден алынған мәліметтерді дәстүрлі әдістермен алынған үлгілермен салыстыра отырып, оларға баға берілді.

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа «Исследование применения аддитивной технологии Direct Metal Deposition при изготовлении изделия» на бумажном носителе состоит из 24 страниц. Работа состоит из введения, 3 разделов, заключения, 11 рисунков и 4 таблиц, списка с указанием 11 научных статей и учебных пособий.

Цель. Проведение микроструктурного анализа полученных образцов и области применения технологии DMD.

В этой работе отражены интерпретации аддитивной технологии DMD и эффективность использования на предприятиях и исследования полученных моделей.

В результате, данные, полученные из исследований, были оценены в сравнении с образцами, полученными традиционными методами.

ANNOTATION

The diploma work «Study of the application of additive technology Direct Metal Deposition in the manufacture of products» on paper consists of 24 pages. The work consists of an introduction, 3 sections, conclusion, 11 figures and 4 tables, a list of 11 scientific articles and textbooks.

Purpose. Microstructural analysis of the obtained samples and the application of DMD technology.

This work reflects the interpretation of additive DMD technology and the effectiveness of its use in enterprises and research of the obtained models.

As a result, the data obtained from the studies were evaluated in comparison with samples obtained by traditional methods.

МАЗМҰНЫ

	Кіріспе	7
1	DMD аддитивті технологиясы	8
1.1	DMD аддитивті технологиясна түсініктеме	8
1.2	Технологияның жұмыс жасау принципі	8
1.3	Қолданылатын материалдар және оларды алу жолдары	10
2	DMD технологиясына негізделген 3D принтерлер және оны құраушылар	13
2.1	3D принтер түрлері мен артықшылықтары	13
2.2	3D принтерлерде қолданылатын бастиектер схемасы	
	Және олардың айырмашылықтары	14
3	DMD аддитивті технологиясының қолданылуын зерттеу	17
3.1	Зерттеу әдістемесі	17
3.2	Зерттеу нәтижелері	18
	Қорытынды	23
	Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	24

КІРІСПЕ

Қазіргі заманғы машинажасау салаларында өнімнің өзіндік құнын төмендету және оның жұмыс ресурсын ұлғайтуды жаңа сатыға шығару, жаңадан инновациялық технологияларды өндіріске енгізбей жүзеге аспайды.

XXI ғасыр технологиялардың даму заманы болғандықтан, кез-келген дерлік қойылған сұраныстар мен талаптарды қанағаттандыратын жаңа технологияларды жобалау, жаңа заман ресурстары арқасында қатты қиындық тудырмайды. Машинажасау, авиация және аэроғарыш салаларында өте күрделі геометриялы бұйымдарды өндіру мен қалпына келтіру дәстүрлі әдістермен алу мүмкін болмады. Осы мақсатта XX ғасырдың 70 жылдары көптеген компаниялар тәжірибелік түрде сан алуан технологияларды ұсынды. Алайда олардың көп бөлігі келтірілген талаптарды қанағаттандырмады. Бірақта, осы жобаланған технологиялардың арасында DMD аддитивті технологиясы барлық үміттерді ақтады. Көптеген бөлінген инвестициялар арқасында қазіргі таңға дейін DMD технологиясы өзін жылдар бойы жетілдіру арқасында елеулі нәтижелерге жетті.

DMD технологиясы өзінің күрделі жұмыс жасау принципі арқасында бұл уақытқа дейін алу мүмкін болмаған металл қосылыстарынан жасалған үлгілерді дүниеге алып келді. Осының арқасында композитті материалдар бағытын жаңа сатыға көтерді. Алынған үлгілер салыстырмалы түрде айтарлықтай төмен өзіндік құны мен күрделі, әрі майда дәнді микроқұрылымымен сипатталды. Бұл қасиеттер өндірістік салада ең маңызды шарт болып табылады.

1 DMD аддитивті технологиясы

1.1 DMD аддитивті технологиясына түсініктеме

DMD (Direct Metal Deposition) – бұл POM фирмасы әзірлеген металл өңдеу мен құрал саймандарды жаңа бағытқа шығаруға арналған аддитивті технология. Металл бөлшектерін тікелей өндірудің бұл әдісі соңғы онжылдықтағы металл өңдеу технологиясындағы маңызды қадам болып табылады. [1]

DMD технологиясы зақымдалған құны жоғары әрі геометриялық конструкциясы күрделі бұйымдарды жөндеу және қалпына келтіру мен күрделі үшөлшемді компоненттерді өндіруге бағытталған технология. Ол өзімен бірге бес танымал технологияны біріктіреді: CAD, CAM, CAE, лазерлер, сенсорлар және ұнтақты металлургия. Басқару бағдарламасы сызылған үшөлшемді CAD моделіне сәйкес CAM системасының қозғалу траекториясымен CO2 лазерінің оптикасы мен саптамасын басқарады.



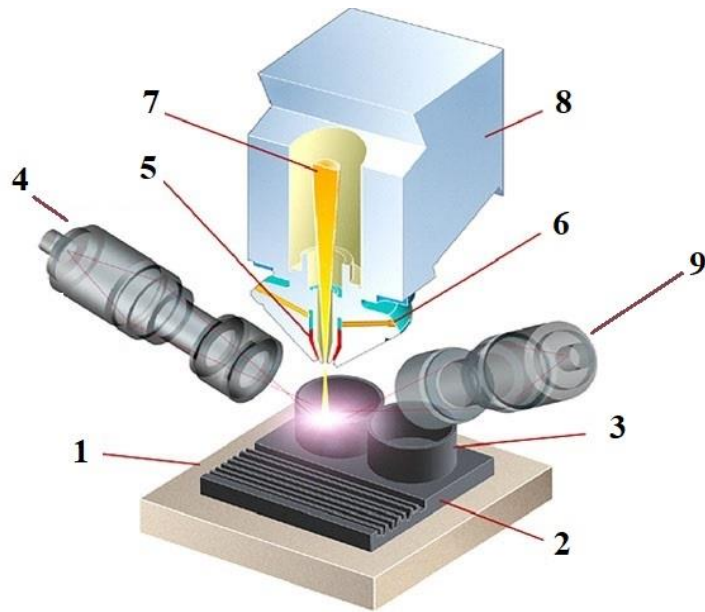
1 - сурет - Дайын өнімді алу жолының схемасы.

Қазіргі технологияның қарқынды дамып келе жатқан заманында көп салаларда аддитивті технологияға деген сұраныс артып жатыр. Солардың бірі авиация мен аэрокосмостық салалар. Авиация саласында ұшақ қозғалтқыштарындағы деформацияланған немесе сынған турбина бөлшектерін жаңасына ауыстыру экономикалық жағынан қымбат. Ал егер сол сынған бөлшектерді осы технологиямен қалпына келтіру тиімдірек келеді. Бұл мақсатта қазіргі таңда DMD технологиясына тең келетін аналогы жоқ.

1.2 Технологияның жұмыс жасау принципі.

Материалдарды өңдеудің дәстүрлі фрезерлеу, соғу, қалыптау және тағы басқа әдістерінен қарағанда DMD технологиясымен жасалған бөлшектерге материал артық шығындалмайды. Оның құпиясы технологияның жұмыс жасау принцинде.

Бөлшектің қалыптасу процессі келесідей жолмен жүреді (2-сурет).

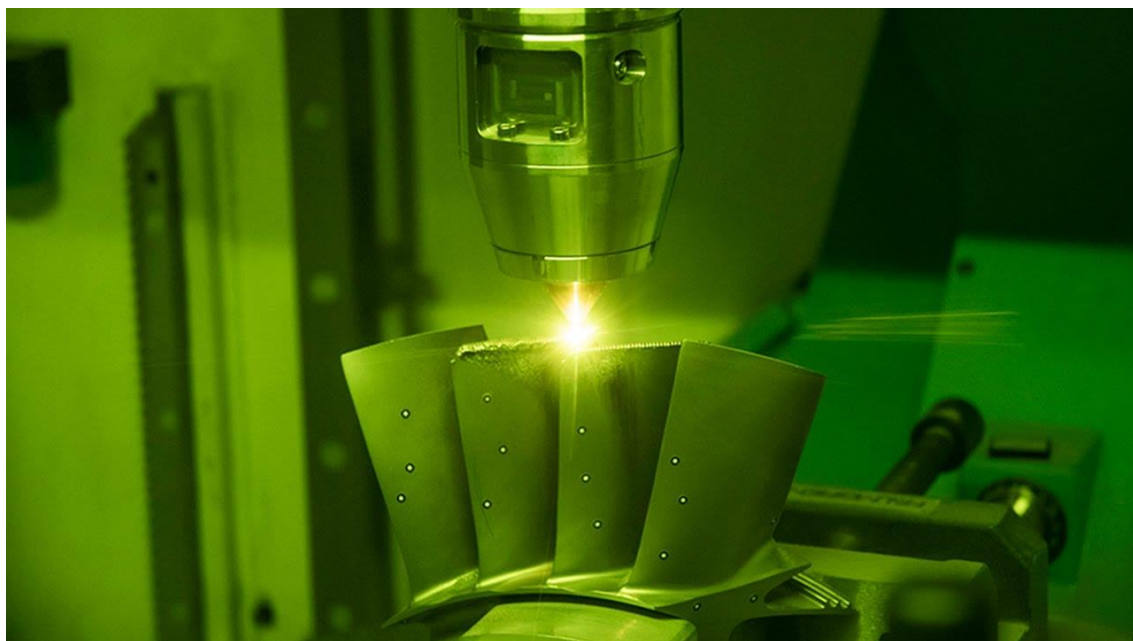


2 - сурет - DMD үдерісінің схемасы: 1 - платформа, 2 - төсем, 3 - формаланып жатқан бөлшек, 4,9 - оптикалық жүйе (видеокамера), 5 - инертті газды үрлеу саптамасы, 6 - ұнтақ беру каналы, 7 - лазер сәулесі, 8 - шоғырлаушы оптикалық жүйе

Лазер сәулесі балқытылған металл аймағын құру үшін төсемеге шоғырланады. Металл ұнтақ каналдар бойынша беретін науадан инертті газдың көмегімен коаксиалды шүмекке шығарылады және көлемді өсіру үшін балқыманың динамикалық аймағына ағыспен жағылады. Лазер САМ жүйесіне экспортталған САД файлдары құрған жолдарымен қозғалады және металл ұнтағын ерітеді. Бағдарламалық қамтамасыз ету жүйесі металды жағу үдерісінде балқыту аймағын бақылау үшін оптикалық жүйелер мен кері байланысты сенсорларды пайдаланады. Балқытылған металл тез суып қатайады, бұл сызық бойынша және қабат бойынша өсуіне әкеледі. Дайын болғанда біркелкі микроқұрылымы бар жоғары беріктіктегі бөлшектер алынады. [3]

Қандай да бір зақымдалған бөлшекті қалпына келтіру үшін ең алдымен оны 3D сканермен сканерлеп алу керек. Сканерленген бөлшекті оның эталонымен салыстырылып оған қаншалықты зақымдалғанына баға беріледі және оның қандай материалдан жасалғанын анықтаймыз. Бұл үдерістен кейін бөлшек 3D басып шығару машинасының платформасына бекітіліп, оның қай жерде орналасқанын сенсорлармен анықтаймыз. Басқару бағдарламасына бөлшектің координатаның қай нүктелеріде орналасқаны белгілі болған соң бастапқы қалпына келтіру үдерісі басталады. Алдын ала таңдалған материалдың ұнтаған контейнерге құйып, үдерісті бастауға бұйрық беріледі. Бұл кезеңнің уақыты бөлшектің қаншалықты зақымдалғанына тікелей байланысты. Дайын болған бұйымды тағы 3D сканермен сканерлеп эталонмен салыстырылады. Егерде қандай да бір ауытқу байқалса оны қайтадан қалпына келту үдерісіне жөнелтеді, ал егер барлығы нормаға сай келсе бұйымды механикалық өңдеуге жібереді. Бұл жерде бұйым керекті нормаға сай кедір-бұдырлыққа дейін

өңделеді. Бөлшек қайтадан жұмыс жасауға дайын. Қалпына келтіру процесі 3 – суретте көрсетілген.



3 - сурет - Ұшақ турбинасың қалақтарын қалпына келтіру поцессі

1.3 Қолданылатын материалдар және оларды алу жолдары

3D металмен басып шығару машиналарының барлығында дерлік қолданылатын материал ретінде металл ұнтақтарын пайдаланады. Металл ұнтақтарының геометриялық формасы, физикалық, химиялық және механикалық қасиеттері болашақ жасалынатын бұйымға тікелей әсерін береді.

Ұнтақты металлургияның негізгі артықшылықтары (материалдар мен бұйымдарды өндіру әдісі ретінде):

1. Ұнтақты металлургияны қолданатын әдістермен дәстүрлі әдістермен алу мүмкін болмайтын бұйымдар мен бөлшектерді дайындауға мүмкіндік береді.

2. Металлургия және машинажасау өндірісінің қалдықтарын (жоңқалар, қақтар, гальваникалық қалдықтар және т.б) ұнтақты бұйымдарды өндіру үшін бастапқы шикізат ретінде пайдалану мүмкіндігі.

3. Түпкілікті өлшемдерге жақын бұйымдарды өндіру есебінен қалдықтарды елеулі төмендету мүмкіндігі және кесу арқылы өңдеуді болдырмау.

4. Таза бастапқы ұнтақтарды пайдалану есебінен құйма қорытпаларға қарағанда қоспаларының аз құрамы бар және берілген құрамға неғұрлым дәл сәйкестігі бар материалдарды алу мүмкіндігі.

Ұнтақтарды алудың барлық заманауи әдістерін шартты түрде механикалық және физика-химиялық деп бөлуге болады.

Механикалық әдістер – бұл бастапқы материал сыртқы күштердің әсерінен оның химиялық құрамын елеулі өзгертпей ұсақталатын технологиялық үдерістер. [2]

Механикалық әдістерге әр түрлі диірмендерде ұсақтау және ұнтақтау, балқытылған металл ағысын сумен немесе сығылған газ ағысымен тозандату, металды кесу арқылы бөлшектерді алу.

Физика-химиялық әдістер – бұл бастапқы шикізаттың химиялық құрамының өзгеруі арқылы ұнтақты алу үдерісі. Бұл ретте соңғы өнім (ұнтақ), әдетте, химиялық құрамы бойынша бастапқы материалдан ерекшеленеді.

Физика-химиялық әдістерге оксидтердің ұнтақтарын және басқа қосылыстарды қалпына келтіру, су ерітінділерінің және балқытылған тұздардың электролизі, қыздыру кезінде карбонилдердің диссоциациясы және басқалар жатады.

Ұнтақты металлургия технологиясында қолданылатын ұнтақтрды алудың негізгі өнеркәсіптік және тәжірибелік әдістері 1 - кестеде көрсетілген.

1 - кесте – Ұнтақтарды алудың өнеркәсіптік және тәжірибелік әдістері

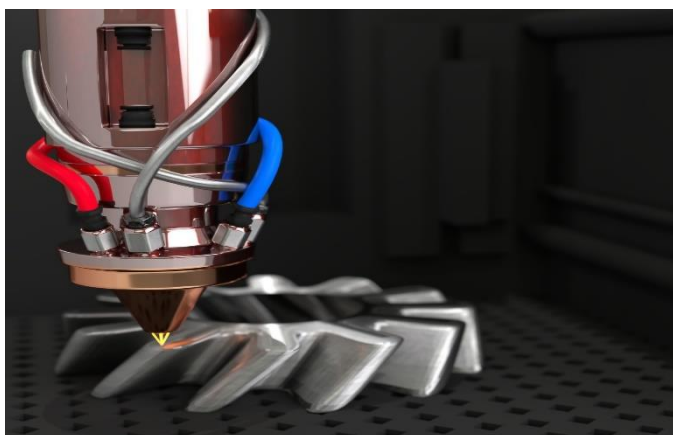
Ұнтақты алу әдісі	Бастапқы шикізат	Ұнтақ материалы
Механикалық әдістер		
Қатты материалдарды бөлшектеу:		
Бөлшекті	Электролиттік шөгінділер, металды қалпына келтіру өнімдері	Темір, титан, мыс, қола
Ұсақтау	Металл жаңқалары, сым қалдықтары, қабыршақтар	Темір, болат, қола
Балқытпаларды бөлшектеу:		
Сығылған газбен тозаңдату, (ауа, аргон, азот)	Тозаңдалатын металдың балқымасы	Мыс, қола, темір, коррозияға төзімді болаттар
Қысымдағы сумен тозаңдату	Тозаңдалатын металдың балқымасы	Мыс, қола, темір, коррозияға төзімді болаттар
Физика-химиялық әдістер		
Газбен қалпына келтіру (сутек, табиғи газ, диссоциацияланған аммиак, генераторлық газ), көміртекпен (күйе, графит, ағаш көмірі, кокс)	Кенді концентрат, қас, химиялық қосындылар, таза тотықтар және олардың қосындылары	Темір, никель, вольфрам, молибден, мыс, легіріленген болаттар және қорытпалар
Натриймен, магниймен, кальциймен және кальций гидридімен металлотермиялық қалпына келтіру	Металл галогендері, тотықтар, темір ұнтақтарының металл тотықтарымен қосындылары	Титан, легіріленген болаттар және қорытпалар
Су ерітінділерінің электролизі	Металлдардың сульфатты тұздарының ерітінділері	Мыс, никель, темір, вольфрам, молибден, Fe–Ni, Fe–Ni–Mo, Ni–Mn қорытпалары

2 DMD технологиясына негізделген 3D принтерлер және оны құраушылар

2.1 3D принтер түрлері мен артықшылықтары

Қазіргі сәтте DMD технологиясына негізделген 3D принтер түрлері мен оны жасайтын өндірушілер сан алуан. Бірақ олардың жұмыс жасау принциптері бойынша оларды жеке жеке қарастыруға болады.

Ең қарапайым түрі ретінде X, Y өстері бойымен қозғалатын бастиегі бар және Z өсі бойынша қозғалатын жұмыс үстелінен немесе керісінше жылжымалы жұмыс үстелі мен Z өсіне бекітілген бастиегінен тұратын конструкциялы 3D принтерлер. Бұл жүйенің артықшылығы бағасының арзандығы, конструкциясының қарапайымдылығы және істен шыққан жағдайда жөндеудің жеңілдігінде. Алайда бұл жүйедегі 3D принтерлерде зақымдалған бөлшектердің қалпына келтіру мүмкін емес. Үшөлшемді көлемі үлкен металл модельдерді басып шығару тек принтер жұмыс үстелінің аумағымен ғана шектеледі (4 - сурет).



4 - сурет - Қарапайым DMD 3D принтер

Өндіріліп жақан DMD технологиясымен жұмыс жасайтын 3D принтерлардың басым бөлігі көп өсті немесе роботталған манипуляторлы платформасы бар конструкциядан тұрады. Ол роботталған қол немесе көпөсті жұмыс үстелінен, бастиектен, басқару блогынан, материал енгізу блогынан және сенсорлардан тұрады (5 - сурет). Роботталған қолмен кез-келген жазықтықта орналасқан беттерді және де әртүрлі қиындықта жобаланған бөлшектерді қалпына келтіруге болады.



5 - сурет - KUKA роботталған қолмен жабдықталған 3D принтер

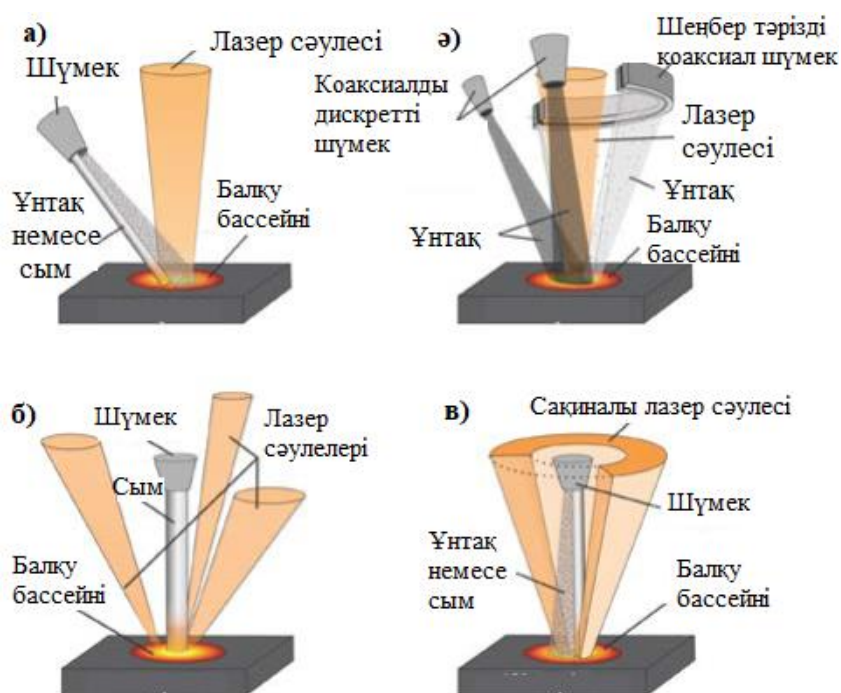
Қазіргі таңда бұл жүйедігі машиналар аэрокосмос, машинажасау және авиация салаларында қолданылуда. Турбовентиляторлы қозғалтқыштың тек бір ғана қалақшасы жаңа автокөліктің бағасымен тең. Ал мұндай қалақшалар қозғалтқышта 500 ден астам. Экономикалық жағынан жаңа бөлшектерді сатып алу қымбатқа түседі, ал оны жөндеу әлдеқайда тиімдірек. Осы мақсатта қазіргі уақытта Pratt & Whitney, NASA, General Electric, Boeing, Honeywell, Snecma және Rolls-Royce компаниялары бұл технологияны өздерінің өндіріс саласына толық циклде енгізді. Болашақта Space X, NASA DMD технологиясын қолдана отырып орбиталды техникалық қызмет көрсету станциясын ғарышқа жөнелтуді жобалауда.

2.2 3D принтерлерде қолданылатын бастиектер схемасы және олардың айырмашылықтары

DMD аддитивті технологиясында балқытылған қабаттың және дайындалған бөлшектің геометриялық, физикалық және механикалық қасиеттері лазерлік сәуле мен оған берілетін материалдың өңделетін бөлшекпен тікелей өзара күрделі әрекеттесуіне байланысты. Олар үдеріс параметрлерінен басқа, лазер сәулесінің берілетін сым немесе ұнтақ ағынының геометриялық арақатынасымен анықталады. Лазер сәулесінің каустикасы мен берілетін және ұнтақ ағысы геометриясынан басқа геометриялық арақатынастар ең алдымен металл материалды балқыма бассейніне түсіретін балқыма бастиегінің конструкциясымен анықталады. Мұндай бастиек DMD жүйесінде үдеріске өте қатты әсерін беретін бағыттаушы лазер сәулесі, оптикалық шоғырлаушыдан және металл сым мен ұнтақты бүркітін шүмек компоненттерінен тұрады.

Қолдану аймағына байланысты, сериялық шығарылатын DMD жүйелері жағдайында, Гауссты осьтік лазер сәулесі және бір жағынан бір ғана шүмегі бар

басы (6а – сурет) әдетте металл материалды балқыма бассейніне жеткізу үшін қолданады. [8] Бүрку шүмегінің бір жақты орналасуының басты артықшылығы оның қарапайым геометриясы мен конструкциясы болып табылады. Алайда, тиісті тұндыру үдерісі лазерлік сәулеге қатысты асимметриялы болғандықтан тұндыру бағытына тәуелді. Процесс симметриясын және еркін формасын қамтамасыз ету үшін металл ұнтақты тұндыру бағытына тәуелсіз жағдайда бірнеше ағыспен немесе үздіксіз сақиналы ағынмен коаксиалды шүмек қолданылады (6ә – сурет). Бүйірлік және шеңбер тәрізді коаксиалды шүмегі бар балқыма бастиектерінің басты ұқсастықтары Гаусс немесе Тофат лазер сәулелерінің өн өсі бойымен төсемге түсуі. Бүйірлік немесе шеңберлі коаксиалды жолмен ұнтақты тұндыру, лазермен шоғырланған аумақтың орталығында материалдың қызап кетуі мен центрдің жан-жағында қызудың жетіспеушілігіне әкеледі. Сонымен қатар, осының әсерінен лазер сәулесінің қуаты төмендейді. Бұл ұнтақтың жоғары тығыздығы мен оның шеті ортасына қарағанда жылдам суытылуына алып келеді. [9] Ал ол өз кезегінде материалдың атомаралық байланысының төмендеуіне алып келеді. Қабаттардың біркелкі жатуының тиімділігін арттыру үшін лазер сәулесінің интенсивтілігі мен материалды бүрку жиілігін және тығыздығын қолданылатын материалға байланысты жете баптау керек.

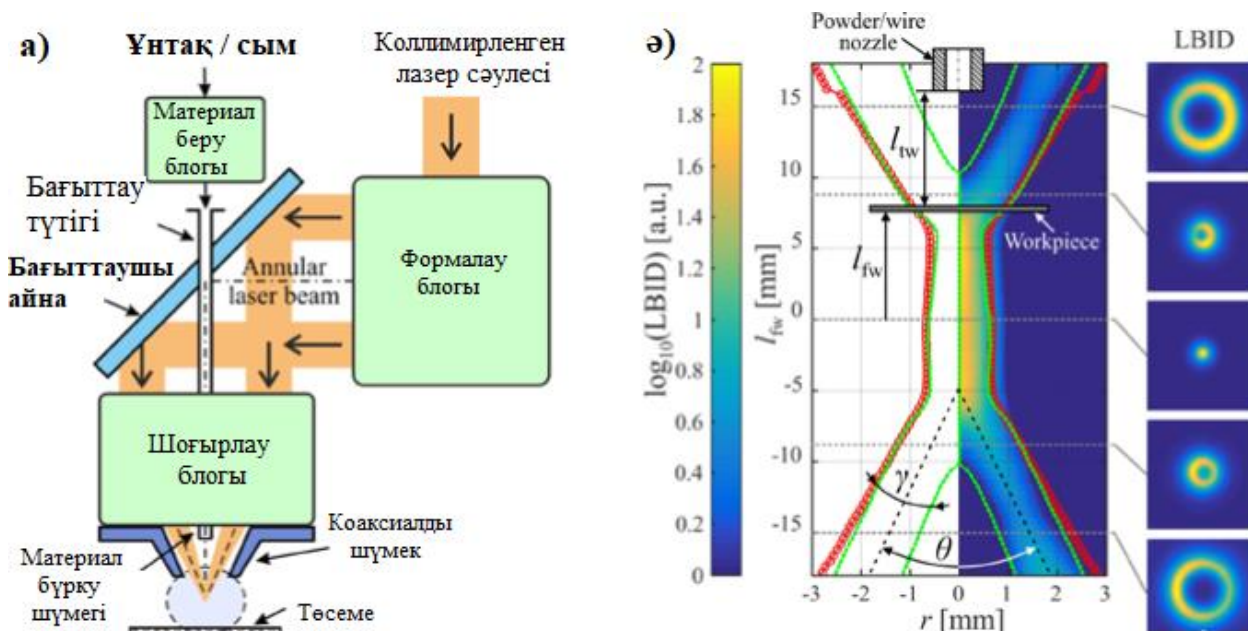


6 - сурет - Бастиектердегі материал мен лазер сәулелерінің орналасу сұлбасы: а) өстік сәулесі бар бүйірлі, ә) сәулеге өстес, б) үш лазер сәулесі бар өстік, в) сақиналы лазер сәулесімен өстес

Жоғарыда көрсетілген кемшіліктерді болдырмау мақсатында жақында өстік ұнтақты бүрку шүмегі және өстес бүйірлі бірнеше лазер сәулесі (6б – сурет) немесе сақиналы лазер сәулесі (6в – сурет) бар жаңа құрылым әзірленді. [10]

Сондай ақ, бұл жүйе беттің кез-келген бөлігінде материалдың температурасын керекті шамаға дейін өзгертуіне мүмкіндік береді.

Металды бастиекпен тікелей бүркудің жаңа сақиналы лазерлік шоғырының (ALB) схемасы 7 – суретте көрсетілген. Ол лазерлік сәулені қалыптастыру блогынан, бағыттаушы айнадан, лазерлік сәулені шоғырландыру блогынан, материалды беру блогынан, осьтік материалды беру шүмегінен және коаксиалды қорғау газының шүмегінен тұрады. Лазерлік сәуленің қалыптасу блогында коллимирленген сәуле сақиналы лазерлік сәуле болып қалыптасады. Арнайы айналар арқылы сақиналы лазер сәулесі дайындама бетіне шоғырланатындай етіп материал беру блогының түтікше өсіне коаксиалды шоғырлау блогына бағытталады. Екі аксиконнан және олардың арасындағы линзадан тұратын лазерлік сәулелерді қалыптастыру блогы линзаның орнын өзгерту жолымен лазерлік сәуленің түрлі сақиналы каустикаларын қалыптастыру үшін пайдалануға да болады. Лазерлік сәуленің фокальды жазықтығына I_{fw} байланысты лазерлік сәуленің қарқындылығын тарату қатынасымен жұқа металл фольгада ИҚ-камерамен өлшенген ALB-каустика үлгісі 7ә – суретінде көрсетілген. Бұл жерде θ – жинақтылықты, ал γ – лазер сәулесінің интенсивтілік шегіне негізделген сына каустикасының бұрышын білдіреді. Қорыта айтқанда I_{fw} және аксикона арасындағы линзаның орналасу шартын өзгерту арқылы лазер сәулесі таралу интенсивтілігінің сақиналы күйінен Гаусс күйіне дейін өзгертуге мүмкіндік береді.

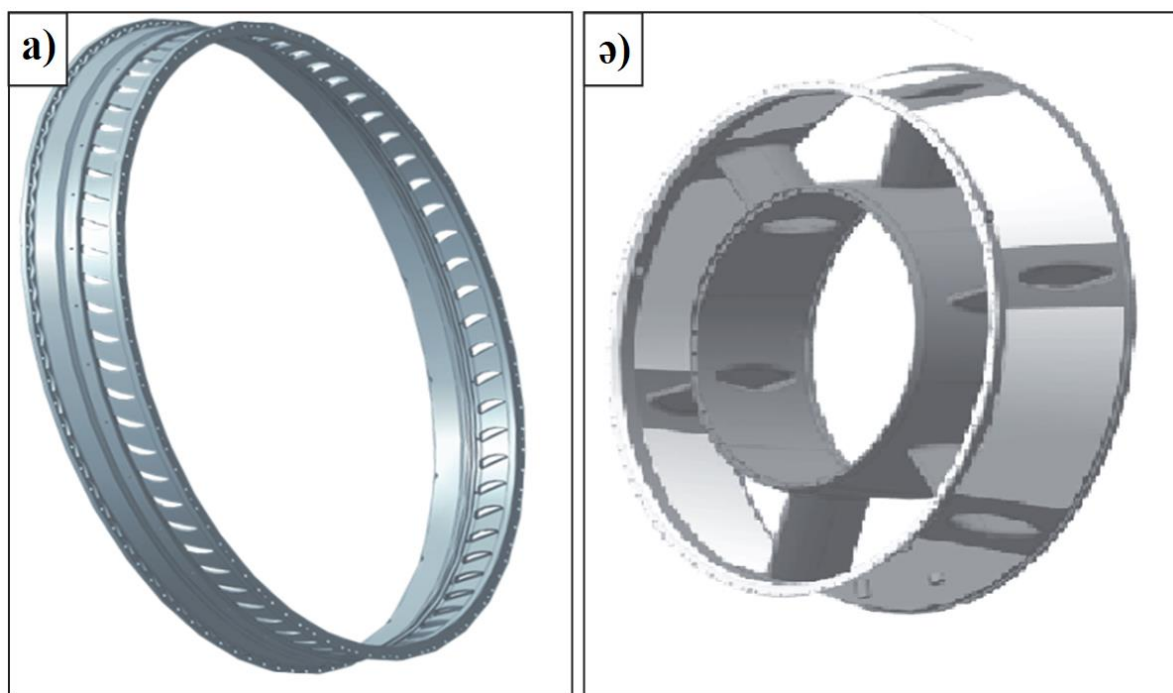


7 – сурет. а) Сақиналы лазер сәулелік бастиектің сызбасы, ә) Сақиналы лазер сәулесінің интенсивтілік күй сызбасы

3 DMD аддитивті технологиясының қолдануылуын зерттеу

3.1 Зерттеу әдістемесі

Дайындалатын нысын ретінде НК-36СТ газтурбиналы қозғалтқышының 4-ші сатысының сыртқы сақинасы (8а – сурет) мен шығыс корпусы (8ә – сурет) алынды. Нысандардың эксплуатациялық деректері олардың агрессивті жоғары температуралы (650°C), күштік жүктемесі 15 тонна, кіріс және шығыс қысымдарының елеулі айырмашылықтарымен сипатталады.



8 - сурет - НК-36СТ газтурбинасының бөлшектері: (а) 4-ші сатының сыртқы сақинасы, (ә) шығыс корпусы

Үлгілерді дайындау Санкт-Петербург қаласындағы Ұлы Петр лазерлік және дәнекерлік технологиялар институты зертханалық кешеніндегі Fanuc өнеркәсіптік роботы базасында, гетерофазды ұнтақты металлургия әдісімен тікелей лазерлік өсіру технологиясын қолдану арқылы жүргізілді. Тікелей лазерлік өсіру әдісімен үлгілерді дайындау үшін жоғары дәлдікті цилиндрлік құйма-электродтарды пайдалана отырып зерттеу сынақтарын жүргізу үшін ЖС6У МЕСТ 1 90126-85 никельді ыстыққа төзімді қорытпасынан ұнтақтар алынды. Ұнтақтарды дайындау УЦР-6 қондырғысында айналмалы құйма-электродты плазмалық центрден тепкіш тозаңдату жолымен жүргізілді. Құйма-электродтың айналу жиілігі 14000 айн/мин.

Үлгілер мынадай режимдер бойынша өсірілген:

- сәулелену қуаты – 400 Вт;
- дақтың диаметрі 0,8...1,4 мм;
- газдың шығыны 5...10 л/мин;
- атмосфера – аргон;

Термоөңдеу вакуумда 1210 °С ең жоғары температурада, ұстау уақыты 3,5...4 сағатты құрады, ал салқындату жылдамдығы 1000 °С дейін минутына 45 °С кем емес. ЖС6У МЕСТ 1 90126-85 және ХН60ВТ МЕСТ 5632-77 материалдарының химиялық құрамы 2,3 - кестеде көрсетілген.

2 Кесте – ЖС6У МЕСТ 1 90126-85 ыстыққа төзімді қорытпасы

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	Cr	Se	Mo	W	Co	Nb	Ti	Al	Zr
1	0,13-0,2	0,4	0,4	54,3-62,7	0,01	8-9,5	0,02	1,2-2,4	9,5-11	9-10,5	0,8-1,2	2-2,9	5,1-6	0,04

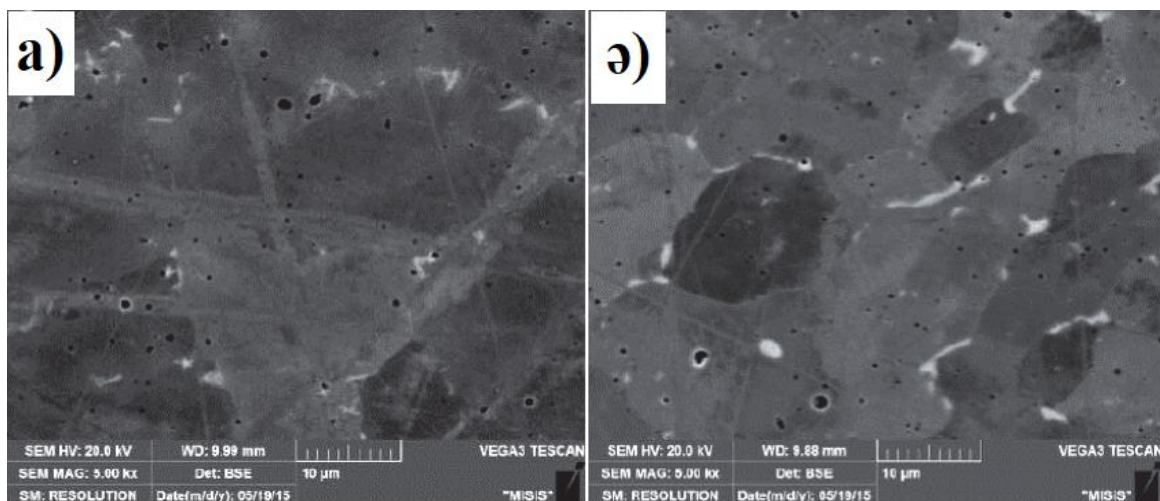
3 Кесте – ХН60ВТ МЕСТ 5632-77 ыстыққа төзімді қорытпасы

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	W	Ti	Al
4 дейін	0,1 дейін	0,8 дейін	0,5 дейін	50,874-63,2	0,013 дейін	0,013 дейін	23,5-26,5	13-16	0,3-0,7	0,5 дейін

"СПБПУ" және "МБЖҚИ" ТҒЗУ жабдықтарында ыстыққа төзімді никель қорытпаларынан өсірілген үлгілердің металлографиялық зерттеулері және механикалық сынақтары орындалды. Алынған микроқұрылымдарды термоөңдеуге дейін және кейін салыстыру жүргізілді. [4]

3.2 Зерттеу нәтижелері

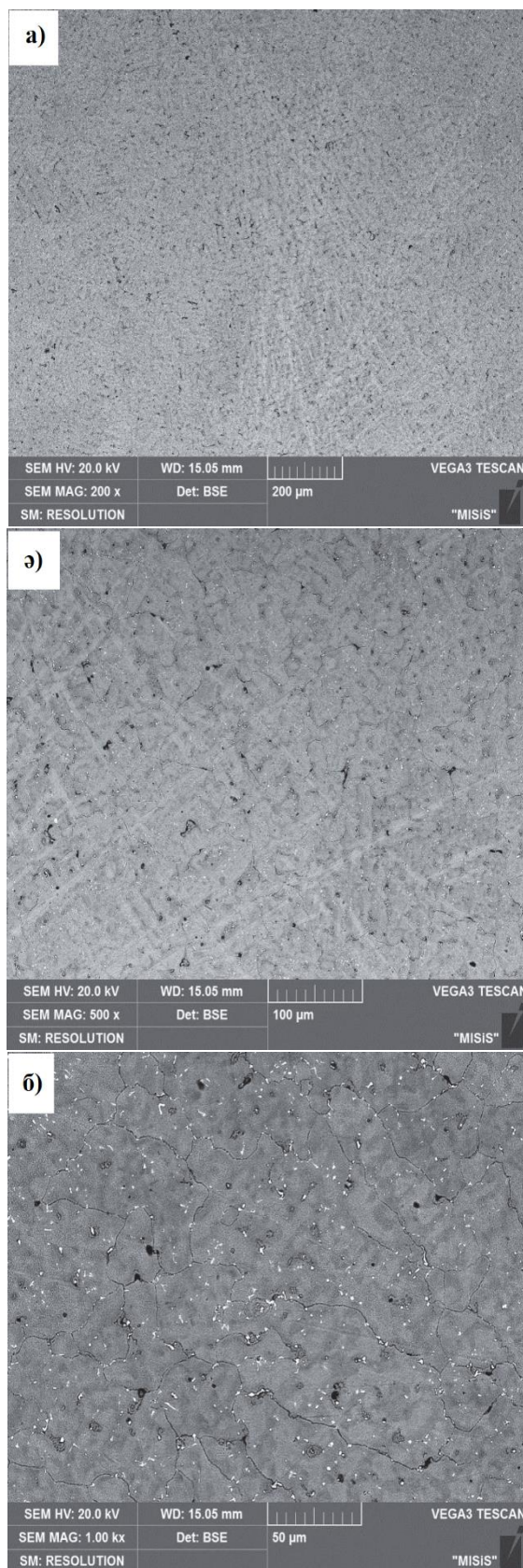
Тікелей лазерлік өсіру әдісімен алынған үлгілер 9 – суретте термиялық өңдеуге дейінгі (а) және термиялық өңделгеннен кейінгі (ә) құрылымдары көрсетілген. Құрылымда ұсақ және ірі дәндері бар жергілікті аймақтар бар, бұл лазерлік сәуленің материалға біркелкі емес әсерімен және сұйық фазада араласумен байланысты. Алынған үлгілердің микрокеуектілігіне талдау жүргізілді. Талдау нәтижелері 4 - кестеде көрсетілген.



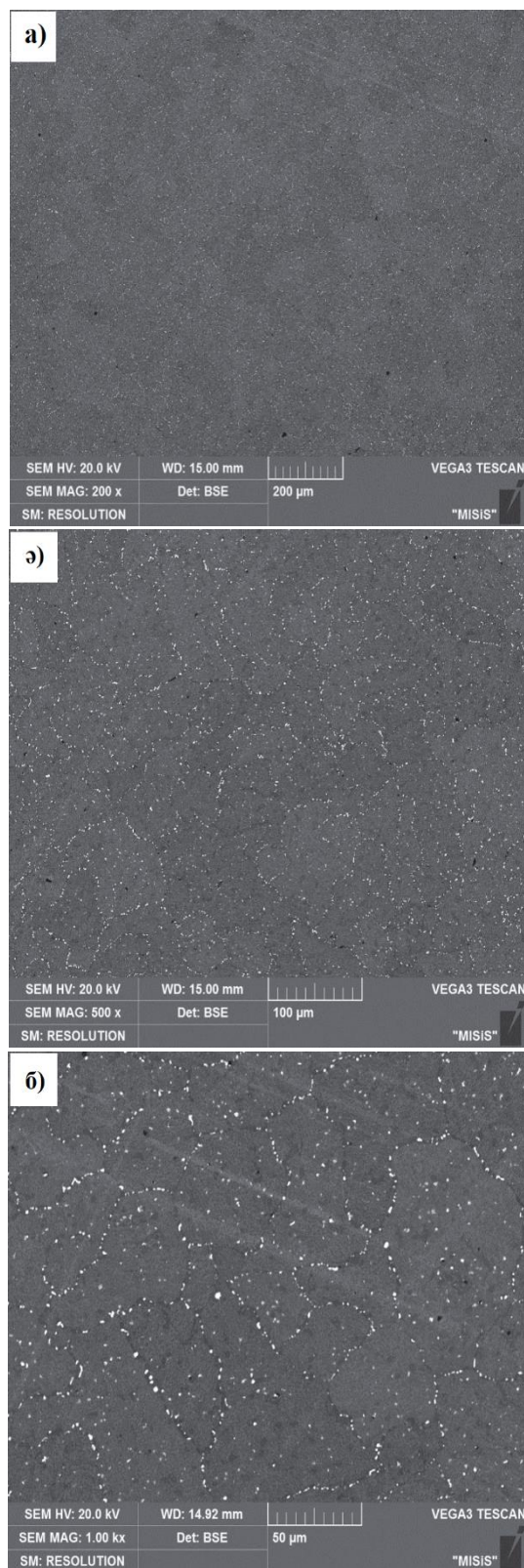
9 - сурет - Тікелей лазерлік өсіру әдісімен алынған үлгілердің құрылымы, термиялық өндеуге дейін (а) және кейін (ә). Ұлғайту 5000 есе.

4 Кесте – Алынған үлгілердің микрокеуектілігін анықтау нәтижелері.

№	Көрсеткіш	Өлшем бірлік	Мәні	
			Өндеуге дейін	Өндеуден кейін
1	Түйіршектер саны	дана	119	232
2	Үлес	%	0,4	0,4
3	Меншікті бет	мкм	0,002	0,003
4	Орташа хорда	мкм	8,2	6,2
5	Түйіршекаралық арақашықтық	мкм	$1,8 * 10^3$	$1,8 * 10^3$



10 – сурет - «Өсіру» қалпындағы ЖС6У қорытпасынан жасалған үлгінің құрылымы: (а) 200 есе, (ә) 500 есе, (б) 1000 есе ұлғайтулар



11 – сурет - «Өсіру + термиялық өңдеу» қалпындағы ЖС6У қорытпасынан жасалған үлгінің құтылымы: (а) 200 есе, (ә) 500 есе, (б) 1000 есе ұлғайтулар

4 - кестеде ұсынылған деректерді талдау нәтижесінде термиялық өңдеуге дейінгі және кейінгі құрылымдар көріністерінде елеулі айырмашылықтары болғанымен, микрокеуектіліктің сандық мәндері ұқсас екендігі анықталды. Сонымен қатар, кеуектердің болмашы өлшемі (6-10 мкм) ажарлау процесінде марганец, күкірт, алюминий оксидтері секілді металл емес қосындылардың уатылуынан пайда болғандығын болжаймыз. Құрамында титан мен хром негізіндегі түрлі интерметаллидтердің фазалары орналасқан никельді қатты ерітіндінің дисперсиялық дендритті құрылымы бар ЖЖ6У қорытпасынан алынған үлгілердің құрылымы 10 – суретте көрсетілген. Сондай-ақ, құрылымда микрокеуектер мен оксидтердің бөлшектері бар. Алынған үлгілердің құрылымына термоөңдеу әсерін бағалау үшін жұмсартылғаннан кейін үлгілерге металлографиялық зерттеулер жүргізілді. "Өсіру + термоөңдеу" күйіндегі үлгілердің құрылымы 11 – суретте келтірілген. Термиялық өңдеуден кейін қорытпаның микроқұрылымының дендритті құрылымы жоқ, никельді қатты ерітіндінің ұсақ түйіршікті құрылымы байқалады. Ал интерметаллидтердің фазалары дән шекаралары бойынша орналасқан. Құрылымда шағын микрокеуектілік бар екендігі анықталды.

ҚОРЫТЫНДЫ

Direct metal deposition аддитивті технологиясы қазіргі таңда және келешекте де перспективті технология болып саналады. Технология қолданысының тиімділігін анықтау мақсатында зерттеулер мен тәжірибелер жүргізілді. Тәжірибелер нәтижесін талдай отырып тікелей лазерлік өсіру технологиясын қолдана алынған үлгілердің микрокеуктілігі қанағаттанарлық мәнге ие, бұл ретте термиялық өңдеуден кейінгі тесіктер ұсақ болады, ал олардың таралуы біркелкі болады. Тікелей лазерлік өсіру әдісімен алынған ЖС6У қорытпасынан жасалған үлгілердің дендритті ұяшығының және дәнінің мөлшері дәстүрлі технология бойынша дайындалған құйма үлгілерге қарағанда аз болды. Металл құрылымындағы дәндердің геометриялық өлшемдері материалдың физикалық жән механикалық қасиеттерінің өзгеруіне тікелей байланысты. Осыған сүйене отырып алынған үлгілердің сапасының өте жоғары екендігін байқадым. Алайда бұл технология қана қымбат бағалы әрі күрделі формалы бөлшектерді қалпына келтру процесінде қолданған, бөлшекті өсіру арқылы алу процесінде қолдануға қарағанда тиімдірек болады.

Жоғарыда келтірілген тұжырымдарды қорыта келе дипломдық жобаға қойылған талаптар орындалды. Сонымен қатар осы тақырыпқа байланысты басқа да зерттеулер мен тәжірибелер қарастырылып, талқыланып, қорытындыланды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. https://3d.globatek.ru/3d_printing_technologies/dmd_tech/
2. <https://extxe.com/14744/poroshkovaja-metallurgija-2/>
3. Зленко, М. А. Аддитивные технологии в машиностроении : пособие для инженеров / М. А. Зленко, М. В. Нагайцев, В. М. Довбыш. – М. : ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015.
4. Сравнительные металлографические исследования образцов, полученных технологией прямого лазерного выращивания / Попов Д.А. Баранов И.А. Дяговцов С.П. Мурзин Е.Ю. Щедрин // УДК 621.373.826; 621.791.92; 338.001.36
5. Технологические возможности лазерной наплавки с использованием мощных волоконных лазеров / Г.А. Туричин, Е.В. Земляков, Е.Ю. Поздеева, Я. Туоминен, П. Вуористо // МиТОМ, 2012. №3.
6. Pinkerton A.J. Advances in the modeling of laser direct metal deposition // Journal of Laser Applications, 2015. Vol. 27, N S1. S15001.
7. Ермолаев А.С., Иванов А.М., Василенко С.А. Лазерные технологии и процессы при изготовлении и ремонте деталей газотурбинного двигателя // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2013.
8. Lamikiz A, Taberero I, Ukar E, Martinez S, de Lacalle LNL. Current Designs of Coaxial Nozzles for Laser Cladding. Recent Pat Mech Eng2011;4:29–36.
9. de Lange DF, Hofman JT, Meijer J. Influence of intensity distribution on the meltpool and clad shape for laser cladding. In: Proc. Third Int. WLT Conference on Lasers in Manufacturing 2005.: 323-327.
10. Ocylok S, Lechnitz M, Thieme S, Ocylok S. Investigations on laser metal deposition of stainless steel 316L with coaxial wire feeding. 9th Int. Conf.on Photonic Techn. LANE 2016 :1–4
11. Duocastella M, Arnold CB. Bessel and annular beams for materials processing. Laser Phot Rev 2012;6:607-621.