

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті
Ә.Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты
Біледікжасау, материалтану және машинажасау өндірісінің технологиялары
кафедрасы

Лаубаева Айгерім Жұмаханқызы

«Ұнтақ қабатын қалыптастырудың математикалық және үш өлшемді модельдеу
және одан кейін қалыптастырылған қабаттың лазермен немесе басқа
құралдармен тандап өңдеу»

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

6M073800 – Материалдарды қысыммен өңдеу технологиясы

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә.Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты

"Білдекжасау, материалтану және машинажасау өндірісінің технологиялары"
кафедрасы

ӘОЖ 004.925.84:621.762

Қолжазба құқығында

Лаубаева Айгерім Жұмаханқызы

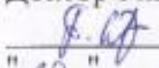
МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

Магистр ғылыми дәрежесі үшін

Диссертация атауы Ұнтақ қабатын қалыптастырудың математикалық және үш өлшемді модельдеу және одан кейін қалыптастырылған қабаттың лазермен немесе басқа құралдармен таңдап өңдеу

Дайындау бағыты 6M071800 – «Материалдарды қысыммен өңдеу технологиясы»

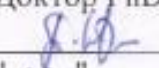
Ғылыми жетекші
Доктор PhD, кафедра меңгерушісі

 Б.С. Арымбеков
" 30 " 05 2019 ж.

Пікір беруші
ЖШС «АЭМЗ» техникалық бөлімінің инженер-технологы т.ғ.м.


 Ш.С. Аханова

Норма бақылаушы

Доктор PhD
 Б.С. Арымбеков
" 30 " 05 2019 ж.

КОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ



БМ және МӨТ кафедрасының
меңгерушісі
Доктор PhD
 Б.С. Арымбеков
" 30 " 05 2019 ж.

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә.Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты

Білдекжасау, материалтану және машинажасау өндірісінің технологиялары
кафедрасы

6М073800 – Материалдарды қысыммен өңдеу технологиясы

БЕКІТЕМІН

БМ және МӨТ кафедрасының
менгерушісі, доктор PhD

Б.С. Арымбеков

05 2019 ж.



**Магистрлік диссертацияны орындауға арналған
ТАПСЫРМА**

Магистрант Лаубаева Айгерім Жұмаханқызы

Тақырыбы Ұнтақ қабатын қалыптастырудың математикалық және үш өлшемді модельдеу және одан кейін қалыптастырылған қабаттың лазермен немесе басқа құралдармен тандап өңдеу

Университет ректорының 2017 жылғы «30» қазан № 1596-М бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «1» маусым 2019 ж.

Магистрлік диссертацияның бастапқы деректері: Аддитивті технологияның Қазақстанға келуі және даму қарқыны.

Магистрлік диссертацияда әзірлеуге жататын мәселелер тізімі:

а) Қазақстандағы аддитивті технология;

б) Аддитивті өндіріске арналған кешенді шешімдер;

в) Машинажасау бөлшектерін алу үшін АТ тиімді пайдалану;

г) Лазерлік аддитивті технологиялардың классификациясы;

д) 3D-басып шығаруға арналған материалдар;

е) Ұнтақты технологиялар.

Графикалық материалдар тізімі (міндетті сызбалардың дәл көрсетілуімен):

12-кесте, 67-сурет, 15 слайд.

1) Аддитивті өндірістің алгоритмі– 1-сурет;

2) 3D басып шығарудың әлемдік өсу динамикасы – 3-сурет;

3) Аддитивті технологияны қолданудың тиімділік графигі – 5-сурет;

4) Ұнтақ сапасына әсер ететін факторлар – 60-сурет.


Ұсынылатын негізгі әдебиет 52 атау

Магистрлік диссертацияны дайындау


КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге көрсету мерзімдері	Ескерту
Аддитивті өндіріске арналған кешенді шешімдер	10.09.2018 – 01.10.2018	
3D-басып шығаруға арналған материалдар	01.10.2018 – 22.11.2018	
Машинажасау бөлшектерін алу үшін АТ тиімді пайдалану	22.11.2018 – 08.02.2019	

Аяқталған магистрлік диссертация үшін, оған қатысты бөлімдердегі диссертациялар кеңесшілері мен норма бақылаушыларының қойған қолдары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер, аты, әкесінің аты, тегі (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Норма бақылаушы	Б.С. Арымбеков Кафедра меңгерушісі, доктор PhD		

Ғылыми жетекші  Арымбеков Б.С.

Білім алушы тапсырманы орындауға алды  Лаубаева А.Ж.

Күні “ 30 ” 05 2019 ж.

АҢДАТПА

Магистрлік диссертацияда аддитивті технологияның Қазақстандағы даму қарқындылығы, елімізде бұл технологияның алатын орны, даму бағыты баяндалған. Сондай-ақ, лазерлі аддитивті технологияларды классификациялап, толықтай шолу жасалынды. Әр технология үшін пайдаланылатын ұнтақ түрлері мен принтерлер қарастырылды. SLS процесін сандық үлгілеу әдістемесін әзірлеу нәтижелері, процес параметрі сипатталды. Модель бөлшектерді алу үшін 3D принтерде лазерлік балқыту мен біріктірудің тиімді режимдерін әзірлеуге, болашақта – әр текті материалдардан бөлшектерді алу мәселесін зерттеуге арналған.

Селективті лазерлік біріктіру технологиясымен (SLS) егжей-тегжейлі танысу мақсатында әдеби және интернет-дереккөздерге шолу жүргізілді, процестің қазіргі үлгілері қарастырылған, SLS процесстің неғұрлым толық моделін жасау қажеттігіне негізделген. Құю білігін жасау технологияларының салыстырмалы талдауы келтірілді.

Жасалған жұмыстың нәтижелері таңдалған тәсілдің көмегімен селективті лазерлі бірігу процесін үлгілеудің принципті мүмкіндігі және одан әрі қондырғы жұмысының ұтымды режимдері арқылы қорытынды жасауға мүмкіндік берді.

АННОТАЦИЯ

В магистерской диссертации изложены интенсивность развития аддитивных технологий в Казахстане, роль и направление развития этой технологии в стране. Также был проведен подробный обзор лазерных аддитивных технологий. Для каждой технологии предусмотрены типы порошков и принтеры, которые используются. Описаны результаты разработки методики численного моделирования процесса SLS, параметры процесса. Модель предназначена для разработки эффективных режимов лазерной плавки и соединения на 3D принтере для получения деталей, в перспективе – для изучения вопроса получения деталей из различных материалов.

В целях детального ознакомления с технологией селективного лазерного объединения (SLS) проведен обзор литературных и интернет-источников, предусмотрены современные модели процесса, основаны на необходимости создания более полной модели процесса SLS. Приведен сравнительный анализ технологий изготовления литейного вала.

Результаты проделанной работы позволили сделать вывод с помощью выбранного метода принципиальной возможности моделирования процесса селективного лазерного соединения и в дальнейшем с рациональными режимами работы установки.

ANNOTATION

The master's thesis describes the intensity of development of additive technologies in Kazakhstan, the role and direction of development of this technology in the country. A detailed review of laser additive technologies was also conducted. For each technology there are types of powders and printers that are used. The results of the development of methods of numerical simulation of SLS process, process parameters are described. The model is designed to develop effective modes of laser melting and connection on a 3D printer to obtain parts, in the future – to study the issue of obtaining parts from different materials.

For the purpose of detailed acquaintance with the technology of selective laser Association (SLS), a review of literature and Internet sources is carried out, modern models of the process are provided, based on the need to create a more complete model of the SLS process. The comparative analysis of technologies of production of a foundry shaft is given.

The results of the work carried out allowed to draw a conclusion with the help of the chosen method of the principal possibility of modeling the process of selective laser coupling and in the future with rational modes of operation of the installation.

МАЗМҰНЫ

Шартты қысқартулар мен белгілеулер	9
КІРІСПЕ	10
1 Аддитивті технологияға жалпы түсінік	12
1.1 Аддитивті технологияның Қазақстанға келуі және даму қарқыны	13
1.2 Технологияның өндірістегі орны	16
1.3 Статистикалық деректер	18
1.4 Машинажасау бөлшектерін алу үшін АТ тиімді пайдалану	21
1.5 3D – технологияның мүмкіндіктері	22
1.6 1-бөлім бойынша қорытынды	24
2 Лазерлік аддитивті технологиялардың классификациясы	26
2.1 Лазерлік стереолитография SLA	28
2.2 Селективті лазерлік біріктіру SLS	41
2.2.1 Процесстің параметрі	44
2.2.2 Лазер қуаты	44
2.2.3 Сканер жылдамдығы	45
2.3 Селективті лазерлік балқыту SLM	45
2.4 Металды тікелей лазерлі пісіру DMLS	50
2.5 SLS пайдаланылатын материалдар	53
2.6 SLS әдісімен дайындалған бұйымдардың өзіндік құны	55
2.7 Құю білігін жасау технологияларының салыстырмалы талдауы	59
2.8 Селективті лазерлі біріктіру технологиясының сапасы мен экологиясы	60
2.9 2-бөлім бойынша қорытынды	63
3 3D-басып шығаруға арналған материалдар	64
3.1 Полимерлер үшін 3D-принтер түрлері	69
3.2 Металл үшін 3D-принтер түрлері	75
3.3 3-бөлім бойынша қорытынды	79
4 Ұнтақты технологиялар	80
4.1 Металл ұнтақтарын алу әдістері	81
4.2 4-бөлім бойынша қорытынды	83
5 Аддитивті өндіріске арналған кешенді шешім	84
5.1 Autodesk Netfabb бағдарламасында жұмысты оңтандыру	85
5.2 Аддитивті өндірістің ақауларын модельдеу	86
5.3 5-бөлім бойынша қорытынды	87
6 Есептеулер және аналитика	89
6.1 Соңғы элементтер әдісімен жұмыс дөңгелегінің статикалық беріктік анализі	90
6.2 Жұмыс дөңгелегінің беріктігін аналитикалық есептеу	93
6.3 6-бөлім бойынша қорытынды	95
ҚОРЫТЫНДЫ	97
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	98

ШАРТТЫ ҚЫСҚАРТУЛАР МЕН БЕЛГІЛЕР

AM – Additive Manufacturing – құйып отырғызу

ІЖҚ – Іштен жану қозғалтқыш

SLA (Stereo Lithography Apparatus) – ультракүлгін лазердің көмегімен модельдерді қабат өсіру

SLS (Selective Laser Sintering) – селективті лазерлі біріктіру

SLM (Selective Laser Melting) – селективті лазерлік балқыту

DMD (Direct Metal Deposition) – металдарды тікелей тұндыру

LMD (Laser Metal Deposition) – тікелей лазерлік тұндыру

(CAD) – Computer aided design – автоматты жобалау жүйесі

STL (StereoLithography) – файлдың арнайы форматы

КІРІСПЕ

Қазіргі заманғы индустрия бәсекелестік тұрғысынан, шығарылатын өнім мен пайдаланылатын материалдардың алуан түрлілігіне және қалыптасқан үрдістер жағдайында мәселенің экологиялық тарапына ерекше көңіл бөледі. Жаңа бірегей өнімді ең қысқа мерзімде нарыққа шығару, ең аз шығындар негізінде ресурстарды барынша тиімді пайдалану, қазіргі заманғы компьютерлік технологияларды қолдану және өндірістік үдерісті автоматтандырудың жоғары дәрежесі мен икемділігінің міндеттерін өз алдына қойып отыр.

Аддитивті өндірістің (АӨ) белсенді дамып келе жатқан технологиялары – бізге қойылған міндеттерді шешуге, сұраныстың артуына және кез-келген жаңа өнімнің даму процесінде міндетті кезеңге айналуға мүмкіндік береді. Аддитивті технологияларды қолдану прототиптер мен өнімдерді қолмен немесе сандық бағдарламамен басқаратын (СББ) дәстүрлі машиналардың сатысын толығымен жоюға, сондай-ақ құрал-жабдықты дамытуға, жаңа өнімдерді өндіруге дайындық уақытын 50-80% -ға дейін қысқартуға мүмкіндік береді [1].

Болашақ бұйымның геометриялық және физикалық сипаттамаларына барынша жақын болатын сапалы прототип жасау – өте қиын міндет. Бұл жолда геометриялық форманың дәл қайталануы, жиналуы, сыртқы түріне сәйкестігі және талап етілетіндерге барынша ұқсас материалдарды іздеу сияқты маңызды мәселелер шешіледі. Қазіргі заманғы өнеркәсіптегі бұл міндеттер аддитивті өндіріс технологиясын, яғни бұйымның компьютерлік моделі бойынша бөлшектің қабаттап өсіруін шешуге қабілетті. Заманауи АТ өндірісі бұйымның сыртқы түрін бағалауға, құрылымдық элементтерді тексеруге, қажетті сынақтарды жүргізуге, кезекті құюға арналған мастер-модель жасауға мүмкіндік беретін қарапайым прототипті құрудан алға қадам жасап, дайын өнімді құруға мүмкіндік алды [2].

Прототип құру процесі CAD-жүйелер ортасында болашақ бұйымның моделін үш өлшемді жобалау кезеңінен басталады. Стереолитография технологиясы үшін әзірленген және басқа АӨ процестерінде қолданылатын *.STL арнайы формат бар. Арнайы бағдарламалық жасақтамада бұйым қабаттарға бөлінеді, әдетте оның қалыңдығы нақты технологияға, құрал-жабдыққа және пайдаланылатын материалға байланысты, ал қажет болған жағдайда механикалық өңдеуге әдіп тағайындалады. Одан әрі қабаттар туралы ақпарат жабдықты басқару блогына келіп түседі және бұйымды қабаттап өсіру жүреді.

Қазіргі заманғы машина жасауда аддитивті технологиялар мемлекеттің өнеркәсіптік даму деңгейін анықтайтын маңызды бағыт болып табылады. АТ дәстүрлі жолмен іске асырылмайтын міндеттерді шешеді. Шетелдік жабдықты пайдалану қиын болғанда, маңызды өнеркәсіп салалары үшін – аэроғарыш, авиация, соның ішінде әскери мақсаттағы дайын бөлшектерді өсіру қажет. Сондай-ақ, АТ Қазақстандағы сыни технологияларды дамытуға, мысалы, жаңа буынның зымыран-ғарыштық және көліктік жабдықтарын құрудың, перспективалық қару-жарак, әскери және арнайы техниканы құру үшін негізгі

және маңызды әскери және өнеркәсіптік технологияларды дамытуға мүмкіндік береді. Сондықтан, сандық үш өлшемді модельдерден бөлшектер алу үшін жоғары тиімді әдістер мен технологиялық процестерді іздестіру және дамыту, сондай-ақ оларды пайдалану сипаттамаларын зерттеу маңызды міндет болып табылады. Жұмыстың мақсаты үздіксіз лазерлік сәуле көмегімен ұнтақ материалдарын селективті лазермен біріктіру әдісімен кешенді геометриялық пішіннің бөліктерін өсіру технологиясын жасау болып табылады. Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттерді шешу қажет болды:

1 SLS процесін металл ұнтақтармен жүргізу үшін отандық қондырғыны жасау және орнату параметрлерін негіздеу;

2 SLS әдісімен өнімді өсіру технологиясын жасау;

3 Өсірілген бұйымда кернеулер мен деформациялардың сандық есебін жүргізу;

4 Өсу процесін оңтайландыру үшін CAD файлын өңдеу алгоритмін жасау;

5 Өсірілген бұйымдардың физикалық қасиеттерін зерттеу;

6 SLS әдісімен күрделі геометриялық формадағы бұйымдарды өсіру үшін ұсыныстар әзірлеу.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы мыналардан тұрады:

1 Селективті лазерлі біріктіру процесі параметрлерінің тот баспайтын болат ұнтағынан өсірілетін бұйымдардың физикалық-механикалық қасиеттеріне әсері анықталды;

2 Тот баспайтын болат ұнтағынан күрделі пішінді бөлшектерді дайындау үшін өсірудің оңтайлы режимдері мен стратегиялары анықталды;

3 Бастапқы деформацияның есептік математикалық моделін пайдалана отырып, өңдеу параметрлеріне байланысты өсірілген бұйымдардағы кернеулі жай-күйі мен деформациялар туралы деректер алынды.

Жұмыстың тәжірибелік құндылығы:

1 Селективті лазерлік біріктіру әдісімен металл ұнтақтарынан жасалған күрделі пішінді жоғары дәлдікті бөлшектерді өсіруге мүмкіндік беретін жаңа отандық қондырғы әзірлеу және пайдалануға енгізу;

2 Үш өлшемді компьютерлік модельдің деректері бойынша селективті лазерлі балқыту әдісімен металл ұнтақтардан жасалған күрделі пішінді сапалы бұйымдарды өсіру технологиясын әзірлеу және іске асыру.

Диссертацияда қарастырылған маңызды сұрақтар: Аддитивті технологияға жалпы түсінік; Лазерлік аддитивті технологиялардың классификациясы; 3D-басып шығаруға арналған материалдар; Ұнтақты технологиялар; Аддитивті өндіріске арналған кешенді шешім.

1 Аддитивті технологияға жалпы түсінік

1.1 Аддитивті технологияның Қазақстанға келуі және даму қарқыны

Аддитивті технология XIX ғ. 1890 жылы пайда болған үшөлшемді жер бетінің картасын топографиялық макет тәсілімен жасауды Josef E. Blather ұсынған, ол қазіргі заманғы АМ-технологиялар ізашарларының бірегей екі технологиясы болып есептеледі [3]. Әдістің мәні мынадай: жұқа балауыз пластиналарды контурлық топографиялық карта сызықтары фрагменттері болып ойылып, объектінің көлденең қимасы бойынша пластиналар белгілі бір тәртіппен қойылып, содан кейін жабыстырылған.

Нәтижесінде үстірттің немесе сайдың «қабатталған синтезі» пайда болды. Осыдан кейін, алынған фигуралардың үстінен қағазды қойып ландшафттың жеке элементін қалыптастырды, содан кейін «қағаз» түрінде бастапқы картаға ұқсас сәйкестіріледі.

Бұл идея LOM-технологиясында – Lamination Object Manufacturing практикалық жүйеде қолданылды. Қабат аралық ламинирлеу немесе жұқа қабатты материалдарды жабыстыру, бұл ретте парақ қалыңдығы 0,0510,25 мм құрайды. 1979 жылы Токио университетінің профессоры Nakagawa бұл технологияны пресс-қалыптарды жылдам дайындау үшін пайдалануды ұсынды, атап айтқанда, салқындату арналарының күрделі геометриясын дайындау үшін. Екінші технология – фотоскульптура (Photosculpture) 1890 жылы француз François Willème ұсынылды. Оның мәні келесі шарттардан тұрады: объектінің немесе субъектінің айналасында фотокамералар орналастырып, (Willème 24 камераны 15 градус қадаммен пайдаланды) бір мезетте барлық камералармен суретке түсіреді. Содан кейін әрбір суретті жартылай мөлдір экранға проекциялап, оператор пантографтың көмегімен контурын сызып көрсетеді.

1904 жылы процестің еңбек күшін азайту үшін Willème неміс Carlo Baese фотосезінді желатинді пайдалануға ұсынды, ол экспозицияны жарықтандыру дәрежесіне байланысты сумен өңдеу кезінде кеңейеді. (Пат. АҚШ 774549, Photographic process for the reproduction of plastic objects, 08.11.1904). 1935 жылы Isao Morioka топография және фотомүсіннің үйлестірген тәсілін ұсынды. Топографиялық карта объектісінің контурлар жинағын құру үшін, құрылымдалған жарықты пайдалану (қара және ақ түсті жолақ үйлесім) тәсілін қолдануды ұйғарған. Содан кейін контурлары табақты материалдан ойылып, белгілі бір тәртіппен қойылу арқылы үшөлшемді объектінің бейнесі қалыптасады. Немесе, сол François Willème ұсынғандай, контурлар экранға проекцияланып, одан әрі кесетін құрал көмегімен үшөлшемді кейіпті құруға болады.

Бірінші стереолитографияға жақындау қазіргі ұғымындағы идеясы, бұл Otto Munz (1956 жылы) ұсынған әдісі, селективті (бірнеше қабатты) мөлдір фотоэмульсияның экспозициясын қолдану. Бұл қабатқа контур (қимасы) проекцияланған. Экспозиция жүргізілетін платформа ретінде, цилиндрде қозғалу

мүмкіндігі бар поршень қолданылды. Поршеньді белгілі бір шамасына қозғалтып (яғни, белгілі бір кадаммен), оған суретті проекциялау арқылы, жоғарыдан бір қабат эмульсияны жағып, содан кейін бекітетін реагентті жағады. Және де ары қарай бөлшектің әрбір фрагменті құрылады: поршеньді төмен түсіріп, фотоэмульсияны жағып, сәлелендіріп, тағы да бір қабат бекітетін реагент жағып процес біткенше қайталай береді. Бекітетін реагентті сәулелендірілген және сәулелендірілмеген учаскелерге жағып, нәтижесінде: цилиндр тәріздес қатайған мөлдір материалдан құралғанның ішінде, жасалған образдың үшөлшемді объектісі қалатын. Аддитивті технологиялар саласындағы барлық дерлік авторлар Otto Munz патентіне, қазіргі заманғы стереолитографияның ізашары деп қолданылады.

1977 жылы Wyn Kelly Swainson (Пат. АҚШ-тың № 4041476) үшөлшемді объектілерді екі лазерлік сәулелердің бір нүктеде қиылысу арқылы фото сезімді полимерді қатайту тәсілін ұсынды. Шамамен сол уақытта ұнтақ материалдардан, қабат синтездеу технологиялары пайда бола бастайды (P.A. Ciraud, 1972). 1981 жылы R. F. Housholder (Пат. АҚШ-тың № 4247508) жалпақ платформаға ұнтақ материалды қою арқылы жұқа қабатын қалыптастыру тәсілін ұсынды. Бұдан әрі биіктігі бойынша белгілі бір шамаға дейін тегістеуден кейін сол қабаты күйдіру жүргізілген. Сол жылы Hideo Kodama ультракүлгін (УК) шамымен лазер көмегімен алғашқы функционалдық жүйелерінің фотополимеризациясының жұмыс нәтижелерін жариялады. 1982 жылы A.J.Herbert X-Y-плоттер, УК-шамдармен айна жүйесінің көмегімен үшөлшемді модельдерді жасау туралы жұмысы жарияланды.

Қазақстан үшін аддитивті технологияларды зерттеудің ғылыми жаңалығы мен практикалық маңыздылығы айқын. Бірінші кезекте, бұл өнеркәсіп өндірісінің технологиялық білімдерінің жаңа саласын құру. Өндіріске аддитивті технологияларды енгізуден экономикалық тиімділіктен басқа жоғары әлеуметтік маңызы бар. Аддитивті технология – бұл Қазақстан үшін мүлдем жаңа технология, ол бойынша оқулықтар мен әдістемелік нұсқаулықтар жоқ. Зерттеу нәтижелері жаңа индустрия үшін негіз бола алады. Бұл, өз кезегінде, жаңа технологиялардың енгізілуін жеделдетіп қана қоймай, техникалық мамандықтардың түлектерін даярлау деңгейін көтеруге және оларды жаһандық технологиялық кеңістікке сәтті бейімдеуге мүмкіндік береді.

Қазіргі уақытта қызметтің барлық салаларына аддитивті технологиялар бойынша жұмыс істейтін жаңа жабдықты белсенді енгізу жүріп жатыр. Additive Fabrication (AF) немесе Additive Manufacturing (AM) аддитивті, яғни қосылған. Бұл үш өлшемді сандық үлгілеу немесе сканерлеу арқылы алынған үлгіні қабаттап өсіруге негізделген технология. Өткен жылдары жылдам прототиптеу (Rapid Prototyping) немесе RP технологиясы терминін жиі пайдаланды.

1995 жылдан бастап «3D-басып шығару» термині пайда болды. Қазіргі заман шындығы-барлық жерде үш өлшемді мөр. Тұрмыстық, үй 3D принтерлері күнделікті өмірге кіреді. Егер бұқаралық ақпарат құралдарында қысқа хабарламаларға сенсек, онда аяқ киім, киім, тұтас үйлер мен тіпті адам органдарын басып шығару ерекше қиындық тудырмайды. Жақын арада

жабдықтың бұл түрі тұрмыстық техника қатарына өтуі мүмкін және қызмет көрсету бойынша мамандардың тапшылығы пайда болады. Ал негізгі құндылық басып шығару үшін сандық модель болып табылады.

Аддитивті технологияларды енгізу мәселесі бойынша жағдайды талдауды ТМД және Қазақстан аумағында өткізілетін 3D Print Conference нәтижелерінің негізінде жүргізуге болады.

Нақтырақ айтқанда, Қазақстан Республикасы бойынша Алматы қаласында екі іс - шара өтті, оқиғалар үш өлшемді басып шығару және сканерлеу – 3D Print Conference алдыңғы қатарлы технологиялар конференциясы деп аталды. Олар Халықаралық Smile – Expo іс-шараларын ұйымдастырушы компанияның бастамасы бойынша өткізілді.

Бірінші кезекте барлық өткізілетін іс-шаралар Қазақстанның бизнесмендері мен кәсіпкерлеріне бағытталғанын атап өту керек. 3D басып шығару және сканерлеу ең перспективалы технологиялық бағыттардың бірі ретінде танылады.

Егер барлық қатысушылардың сөздеріне талдау жүргізсек, онда Қазақстанда аддитивті технологияларды енгізу мәселесі бойынша оң факторлар қатарында атап өтуге болады:

- бизнес тарапынан жаңа технологияларға деген айқын қызығушылық;
- шағын және орта кәсіпкерлерге қызмет көрсету;
- тиімді маркетинг және жаңа өнімдерге қосымша тапсырыстар алу;
- жаңа технологияны қолданудың кең спектрі (автомобиль жасау, халық тұтынатын тауарларды дайындау, медицинада протездеу, оқу макеттерін жасау, кәдесый өнімдері және т. б.);
- өндірісті дайындау мерзімін айтарлықтай қысқарту;
- қымбат құрал-жабдықтарды дайындаусыз бұйымдардың тәжірибелік үлгілерін шығару және көрсету;
- қайта өңдеуді болдырмау үшін алдын ала өндірістің бастапқы кезеңдерінде қателерді анықтау мүмкіндігі;
- шағын сериялар үшін өзіндік құнын барынша төмендету;
- материалдарды пайдаланудың жоғары коэффициенті және т.б.

Жаңа технологияның кемшіліктері ретінде негізгі факторларға мыналар жатады:

- үлкен машиналарды сатып алу кезінде, жабдықтың тағайындалуы туралы анық түсініктің болмауы және оны тиімсіз пайдалану орын алады;
- жабдықтарға сауатсыз қызмет көрсету;
- шығын материалдарының қажеттілігі және оның сапасына тәуелділігі;
- ең бастысы-техникалық қолдаудың болмауы. Жоғары кәсіби мамандардың болмауына байланысты сапалы кеңестер жоқ.

Қазақстан Республикасы Президентінің 2013 жылғы 4 маусымдағы № 579 Жарлығында былай делінген: «Ресурстарды тиісті халықаралық құзыреттілікке ие инженерлік және техникалық персоналдың қажеттіліктерін қанағаттандыруға жұмылдыру қажет». Ең алдымен:

1) Талап етілген және перспективалық бағыттарды күшейте отырып, ескірген немесе талап етілмеген ғылыми және білім беру пәндерінен арылу;

2) Практикалық дағдыларға оқыту және практикалық біліктілік алу жөніндегі бағдарламаларды енгізе отырып, орта, кәсіптік-техникалық және жоғары білім берудің оқу жоспарларының бағыттылығы мен екіпіндерін өзгерту;

3) Кәсіпкерлікке бағытталған оқу бағдарламаларын, білім беру курстары мен институттарын құру.

Үш өлшемді баспа іс-шараларында «сапа-баға» ара қатынасымен ерекшеленетін ресейлік PICASO 3D принтерлері үнемі шығарылады. Алайда, қазіргі уақытта жабдықтар нарығында тек ресейлік ғана емес, қазақстандық өндірушілер пайда болуына байланысты, білім беру процесіне енгізу және жаңа технологияны зерттеу проблемасын шешу тез арада шешуді талап етеді. 2015 жылы 3D LAB Prusa Қазақстандық принтердің үлгісі көрсетілді, бұл Қазақстандағы аддитивті технологияның алға жылжу қарқынының куәсі болып табылады.

Сонымен қатар, сарапшылар «құрылғы өндірушілер келесі бірнеше жылда жаңа функцияларды қосуға және 3D-принтерлердің өнімділігін жақсартуға және құрылғылардың бағаларын төмендетпеуге ұмтылатын болады» деп мәлімдейді. Алайда, Қазақстандық индустрияны дамыту институтының сарапшыларының мәлімдеуі бойынша, қазіргі уақытта Қазақстандағы аддитивті технологиялар нарығы тұжырымдамалық жағдайда, яғни қандай да бір ауқымды экожүйе әзірше қалыптаспаған деп есептейді.

«Аддитивті технологияларын жаппай таратудың басты кедергісі дәстүрлі өндіріс әдістерімен салыстырғанда технологиялардың жетілмегендігі және жаппай өндірістің экономикалық мақсатқа сай болмауы», - деп атап өтті ҚИДИ сарапшылары.

«Сонымен қатар, соңғы жылдары байқалатын аддитивті технологиялардың әлемдік нарығының жедел дамуы 3D-принтерлер өнімділігінің артуына және шикізаттың арзандауына алып келеді», - деп атап өтті ҚИДИ. Direct Manufacturing Research Center мәліметтері бойынша, 2023 жылға қарай металл 3D-басып шығарудың орташа құны 65%-ға және 2013 жылмен салыстырғанда баспасөз жылдамдығының сегіз есе артуы болжануда. Нәтижесінде, аддитивті технологиялар түпкілікті бұйымдардың сериялық өндірісінде кеңінен қолданылады.

Қазақстандық тікұшақтардың ұшқыштарында елден шықпай-ақ алғаш рет оқытудан және қайта даярлаудан өтуге мүмкіндік туды. ҚР-да Халықаралық Азаматтық авиация ұйымының (ICAO) ең жоғары талаптарына жауап беретін Ми-17 типті тікұшақтардың экипаждарын даярлау және қайта даярлаудың жоғары технологиялық орталығы құрылды. Дайындық орталығы «Алматыэнергосервис» компаниясының көп жылдық қауырт жұмысының нәтижесінде салынған, ол өзінің өндірістік базасында ҚР мен Орта Азияда теңдесі жоқ кешенді толық функционалды авиациялық тренажерлерді дайындаудың тұйық циклін құруды аяқтады.

Тікұшақ экипажының тренажерін құрудың барлық процесі «Алматыэнергосервис» ЖШС өндірістік базасында жүзеге асырылды. Тренажер бөлшектерінің едәуір бөлігі стереолитография арқылы аддитивті технологияны пайдалана отырып конструкторлық бюрода әзірленді. Ол үшін Германияда жабдықтың толық технологиялық желісі сатып алынды.

1.2 Технологияның өндірістегі орны

Аддитивті технологиялар (AF – Additive Manufacturing) – бұл алдын ала 3D-модель бойынша графикалық редакторда жасалған, бағдарламалап қабаттап өсіру және объектіні синтездеу.

3D-басып шығару – бұл аддитивті технологиялардың ауызекі атауы, ол өндірістің жаңа түрінің бөлігі болып табылады (нысан өндірісін бастиекпен, шүмекпен немесе басқа баспа технологиясының көмегімен материалды түсіріп басып шығару).

3D принтер – 3D басып шығару машинасы.

Бұл әдістің мәнін жақсы түсіну үшін, міндетті түрде бір нәрсе өндірудің негізгі екі тәсілі бар екенін түсінуіміз керек.

Біріншісі – механикалық өңдеу арқылы, бірте-бірте артық іс-әрекеттен арылу: кесу, шыңдау, бұрғылау.

Екіншісі – аддитивті, материалды біртіндеп қосып, қажетті пішінге ұлғайту. Аддитивті технологиялар және олармен ажырамас цифрлық технологиялар өндірістік технологияларды түбегейлі өзгертіп, ХХІ ғасырдағы өнеркәсіптің дамуындағы үлгісі болып табылады [4].

Дәстүрлі технологиялар «азайтатын», аддитивті – «қосушы» болып табылатын өнеркәсіптік идеология қайта құрылып жатыр [5].

Бұйым 3D-модельдеуге сәйкес металлдан немесе металл емес ұнтақтан қабаттап өсіру арқылы жасайды. Аддитивті технологияларды пайдаланған кезде өндіріске керек материал қажетті мөлшерде пайдаланылады, оның экономикалық тиімділігі 85% дейін болуы мүмкін.

Аддитивті технологияның айрықша ерекшелігі дәстүрлі жолмен алынбайтын, атап айтқанда дәнекерлеу, құю, деформациялау, қысымдау және т.б. сияқты бұйымдарды ең аз өндірістік шығындармен және қоршаған ортаға теріс әсерін тигізбей шығаруға мүмкіндік береді. Аддитивті технологиялар технологиялық прогрестің маңызды элементі болып табылады. 1-кестеде қолданыстағы өндірістердің артықшылықтары мен кемшіліктері көрсетілген.

Кесте – 1 қолданыстағы өндірістердің артықшылықтары мен кемшіліктері көрсетілген

Өндіріс түрі	Бұйымдарды әзірлеу әдістері	Технология түрлері	Артықшылықтары/ кемшіліктері
--------------	-----------------------------	--------------------	------------------------------

1 – кестенің жалғасы

Өндіріс түрі	Бұйымдарды әзірлеу әдістері	Технология түрлері	Артықшылықтары/ кемшіліктері
Дәстүрлі өндіріс	Дәстүрлі бұйымды әзірлеу	Дәстүрлі технологиялар	– өндіріс циклының ұзақтығы; – өндірістік шығындарының артуы; – адам факторының болуы; – ақаудың айтарлықтай үлесі; – қауіп-қатердің артуы
Жылдам прототиптер	Сандық жобалау	Дәстүрлі технологиялар	– өндіріс циклының қы-қаруы; – өндіріс шығындарының азаюы; – қатердің айтарлықтай бөлігі; – адам факторының болуы;
Аддитивті өндіріс	Сандық жобалау	Аддитивті технологиялар	– қателіктердің болмауы; – нарықты жылдам игеру; – бұйым жасаудың жоғарғы дәлдігі; – транзакциялық шығындардың азаюы.

Аддитивті өндірісінің алгоритмі 1-суретте көрсетілген.

Өндірістік процестерге аддитивті технологияларды енгізудің негізгі деңгейлері [7]:

- 1 – ші деңгей-жарақтар мен үлгілер өндірісі;
- 2 – ші деңгей-прототиптеу;
- 3 – ші деңгей-сериялық бұйымдарды анықтау.



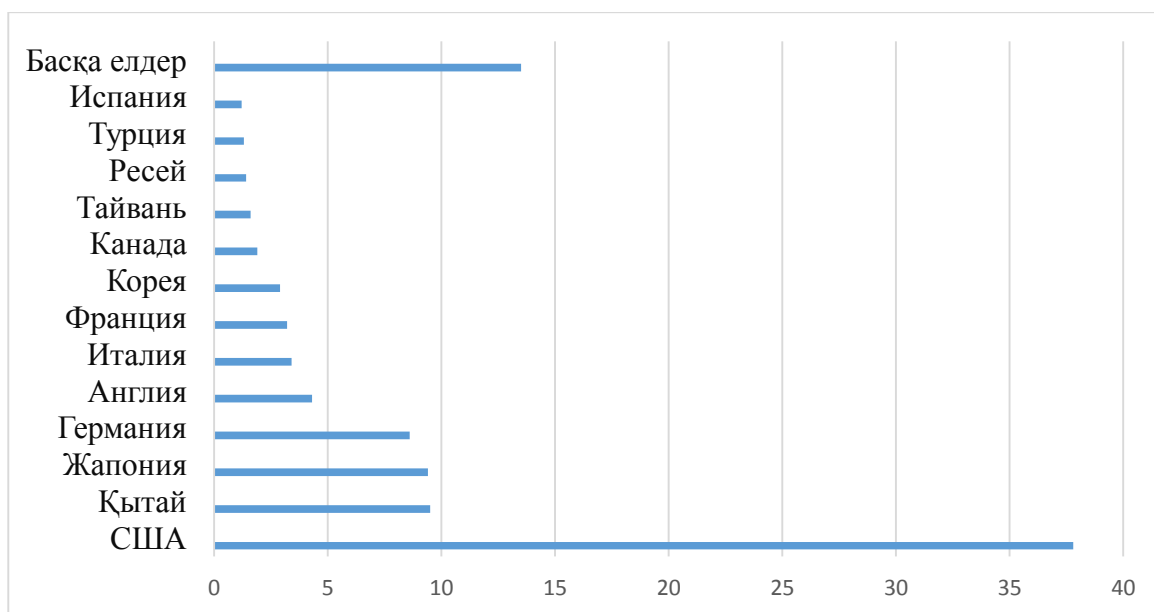
Сурет – 1 Аддитивті өндірістің алгоритмі

Осылайша, аддитивті технологиялар (АТ) ұғымының мазмұнына мынадай мағыналық бірліктер кіреді:

- 1) Технология;
- 2) Күрделі форманың бөлшегі; физикалық объект; үш өлшемді физикалық объект;
- 3) Материалды қабаттап жағу; материалды дәйекті жағу; материалды қосу;
- 4) Сандық модель; CAD-модель; CAD-жүйеден түсетін деректерді түрлендіру [6].

1.2 Статистикалық деректер

Батыс сарапшылары мемлекеттің нақты индустриялық қуатының сенімді индикаторы ретінде материалдық өндіріске АТ технологияларын енгізу дәрежесін қарастырады. АТ-технологияларының ең ірі тұтынушысы АҚШ 23 Америка Құрама Штаттары болып келді және ол солай қала бермек. Сатылған машиналардың жалпы санының шамамен 40% (24 жыл ішінде) АҚШ-қа тиесілі. Салыстыру үшін: Жапония үлесі 10,2% (екінші орын), Германия – 9,3% (үшінші орын), Қытай – 8,6% (төртінші орын), Ұлыбритания – 2,6% (жетінші орын) құрайды. Ресей мен Түркия 13-ші орынға ие. (Сурет 2).



Сурет – 2 Әртүрлі елдерде сатылған АТ-машиналардың салыстырмалы үлесі (Terry Wohlers Report)

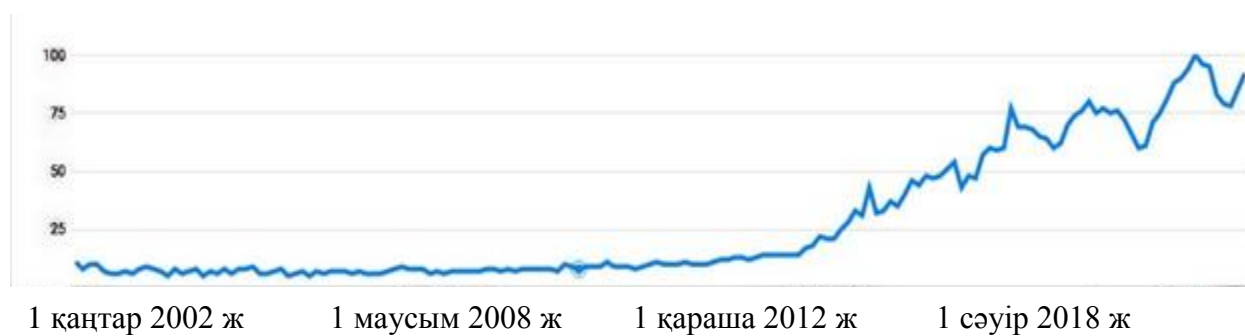
Мәселен, 1980 жылдан бастап 3D баспасының дамуын бақылайтын Wohlers Associates есебі бойынша, соңғы жылдары жаһандық экономикада аддитивті технологияларды қолданудың айтарлықтай өсуі байқалды – 2013 жылы 3,07 миллиард АҚШ долларынан 2018 жылға қарай 12,8 миллиард долларға дейін түсім болды. Болжам бойынша, 2020 жылға қарай 21 миллиард

доллардан асады деп күтілуде. 2013 жылғы Wohlers баяндамасы бойынша, 2021 жылға дейін 3D баспа өнеркәсібі 10,8 миллиард долларға жететінін болжады. 3-суретте көк түспен – 2013 жылғы болжам, қызыл түспен – 2018-2020 жж. арналған ағымдағы нақты деректер және болжамдар көрсетілген.



Сурет – 3 3D басып шығарудың әлемдік өсу динамикасы

Google Trends арқылы талдау Ғаламтор желісіндегі іздеу сұрауларын 2004 жылдан 2018 жылға дейін 3D басып шығару тақырыбында едәуір ұлғайды. 4-суретте сұраудың қисық сызығы көрсетілген, ал тік ось бойындағы сандар Ғаламторды пайдаланушылардың тақырыпқа қызығушылығын көрсетеді, 2004 жылы ол 11 бірлікті құрады, ал 2017 жылдың ақпанында – 100 бірлікке жетті, ал бұл өз кезегінде сұраныстың ең танымал деңгейін көрсетеді.



Сурет – 4 2004 жылдан бастап 2017 жылға дейін 3D-баспа тақырыбы бойынша интернет-сұраулардың әлемдік танымалдығының динамикасы (авторлар әзірлеген)

Осылайша, әлеуетті 3D баспа пайдаланушылар тарапынан қызығушылықтың өсуі мен төмендеуі арқылы динамикалық болып табылатынына қарамастан, жалпы тренд оң [5]

1.3 Аддитивті технологияның түрлері

Аддитивті технологияның Bed Deposition және Direct Deposition деп аталатын екі түрін ажыратады. Bed Deposition технологиясын пайдаланған кезде алдымен қабатты қалыптастырады, мысалы, жұмыс платформасының бетіне ұнтақ материалының дозасын себеді және белгілі бір қалыңдықтағы материалдың тегіс қабатын қалыптастыра отырып, ұнтақты роликтің немесе «пышақтың» көмегімен тегістейді. Содан кейін бастапқы CAD-модельдің ағымдағы қимасына сәйкес ұнтақ бөлшектерін (қорыта немесе желімдей) бекіте отырып, қалыпталған қабатта лазермен немесе өзге тәсілмен ұнтақты іріктеп (іріктеп) өңдейді. Дәстүрлі ағылшын тілінде "Bed Deposition" деп аталатын бұл технология белгілі бір беттің («bed») болуын болжайды, онда алдымен қабатты қалыптастырады, содан кейін осы қабатта құрылыс материалдарын іріктеп бекітеді (орнықтырады). Қатайту процесінде жазықтықтың орналасу құрылымы өзгеріссіз, бұл ретте құрылыс материалының бөлігі (бұл жағдайда – ұнтақ) жасалған қабатта сол қалпында қалады.

Бұл қарастырылып отырған технологияға «селективті синтез» немесе «селективті лазерлік біріктіру» (SLS – Selective Laser Sintering) термині айтарлықтай дәл сәйкес келеді, егер «қатайтатын» құрал мұнда лазер болып табылса, ол лазерлік стереолитографияға (SLA технологияға) қарағанда ультракүлгін сәуле шығару емес, жылу көзі ретінде қолданылады.

Құрылыс аяқталғаннан кейін «bed» платформасы құрылыс сатысының қадамымен тік бағытта қозғалады, онда жаңа қабат пайда болады және модель толығымен салынғанша процесс қайталаынады. SLS және SLA технологиясынан басқа, Bed Deposition құрамына мынадай танымал технологиялар кіреді:

- 1) SLM – Selective Laser Melting (SLM Solutions компаниясы, Германия);
- 2) DMLS – Direct Metal Laser Sintering (EOS компаниясы, Германия);
- 3) EBM – Electron Beam Melting (Arcam компаниясы, Швеция);
- 4) Laser Cusing (Concept Laser компаниясы, Германия);
- 5) SPLS – Solid Phase Laser Sintering (Phenix Systems компаниясы, Франция, қазіргі уақытта 3D Systems компаниясы сатып алды);
- 6) Ink-Jet или Binder Jetting (ExOne компаниясы, 3D Systems, АҚШ) т.б.

Direct Deposition терминің қазақ тіліне аударғанда «тікелей немесе тікелей тұндыру (материалды) » деп аударуға болады, яғни энергияның бағыты және материалдың нақты құрылыс нүктесіне тұндыру. Басқаша айтқанда, жоғарыда айтылған бірінші түрге қарағанда, мұнда платформаның бетінде («bed») құрылыс материалының қабаты қалыптаспайды, ал материал қазіргі уақытта энергия астында және бөлшектің қалыптасу процесі жүріп жатқан нақты орынға беріледі. Дәнекерлеуші электродты электрлік доғаға байланысты балқымалы аймақ пайда болған жерге әкеледі.

Direct Deposition технологиясына, келесі технологиялар жатады:

- 1) DMD – Direct Metal Deposition (POM компаниясы, АҚШ);
- 2) LENS – Laser Engineered Net Shape (Optomec компаниясы, АҚШ);
- 3) DM – Direct Manufacturing (Sciaky компаниясы, АҚШ);

4) MJS – Multiphase Jet Solidification (Fraunhofer IFAM компаниялары, Германия; FDM, АҚШ) т.б.

1.4 Машинажасау бөлшектерін алу үшін АТ тиімді пайдалану

XX ғасырдың аяғымен – XXI ғасырдың басында әртүрлі ұнтақты пластмассалармен, ұнтақты металдармен, сұйықтықтармен, композиттермен және т.б. материалдармен қабаттап «өсіру» арқылы бұйымдарды өндіруге негізделген аддитивті өндірістің технологиялық процестері басталды.

Жылдам өндіріс дәстүрлі өндірістен гөрі әлдеқайда арзан бірыңғай күрделі өнімді шығаруға мүмкіндік береді, ал шағын және орта сериялық өндірістер экономикалық тұрғыдан тиімді болады.

Жылдам өндіру технологиясы құрал-жабдықты пайдаланбай және кезекті өңдеуді қажет етпейтін негізгі САД-файлын немесе басқа параметрлерді (мысалы, 3D сканирлеу) 3D – синтездеп қабаттау құрал-жабдықтарын пайдалана отырып, нақты үлгілерді жасау деген ұғымды білдіреді.

Әлемде аддитивті өндіріс «жаңадан пайда болған технология» болудан қалып, қазіргі таңда жетекші индустриалды инновацияға айналды.

Қазіргі заманғы өндірісті дамытудың негізгі бағыттары:

- дайындалатын бұйым номенклатурасын кеңейту;
- жеткізу мерзімін айтарлықтай қысқарту;
- жаппай топтық өндірістік сериядан ұсақ серияға және жеке өндіріске экономикалық негізде көшу мүмкіндігі;
- бөлшектер мен тораптардың күрделілігіне технологиялық шектеулерді жою (қолданыстағы технологиялар үшін қол жетімсіз бөлшектерді дайындау);
- жеке тапсырыс берушінің жеке қажеттіліктерін қанағаттандыру мүмкіндігі (кастомизация);
- алаңдарды үнемдеу;
- еңбекті үнемдеу;
- өндірістік циклді қысқарту;
- жұмысшылардың біліктілігіне қойылатын талаптарды төмендету;
- шағын партияларда өзіндік құнның төмендеуі;
- электроэнергияны үнемдеу.

Осы міндеттердің барлығы болашақта аддитивті өндіріс технологияларының дамуын шешуге көмектеседі:

1) Жаппай өндірістен жаппай кастомизацияға көшу (мүмкіндігінше көптеген жеке тұтынушыларды қанағаттандыра білу);

2) Өндіріс шығындарын азайту, ұзақ технологиялық өзгерістердің болмауы, үлкен технологиялық жабдық паркін ұстау қажет емес;

3) Қалыпты өндіріс конфигурациясында қиын немесе тіпті мүмкін емес өнімдерді жасау мүмкіндігі;

4) Технологиялық жабдықты пайдалану қажеттілігі жоқ;

5) Өндірістің икемділігін күрт арттыру, жаңа бұйымға жабдықты қайта калпына келтіру қажеттілігі жоқ, сізге жаңа 3D-модельді жүктеу жеткілікті;

6) Процесті толық автоматтандыру, барлық өндірістік процесс оператор тарапынан қосымша технологиялық операцияларсыз автоматты режимде өтеді;

7) Өндірісті орталықсыздандыру және қашықтықтан басқаруды ұйымдастыру мүмкіндігі-өндірісті іске қосу үшін оператордың жеке қатысу қажеттілігі жоқ;

8) Интернет желісі бойынша 3D-модельді алыстан жіберуге болады, содан кейін бұйымдардың дайын партияларын ғана алуға болады;

9) Қалдықтар көлемінің айтарлықтай азаюы;

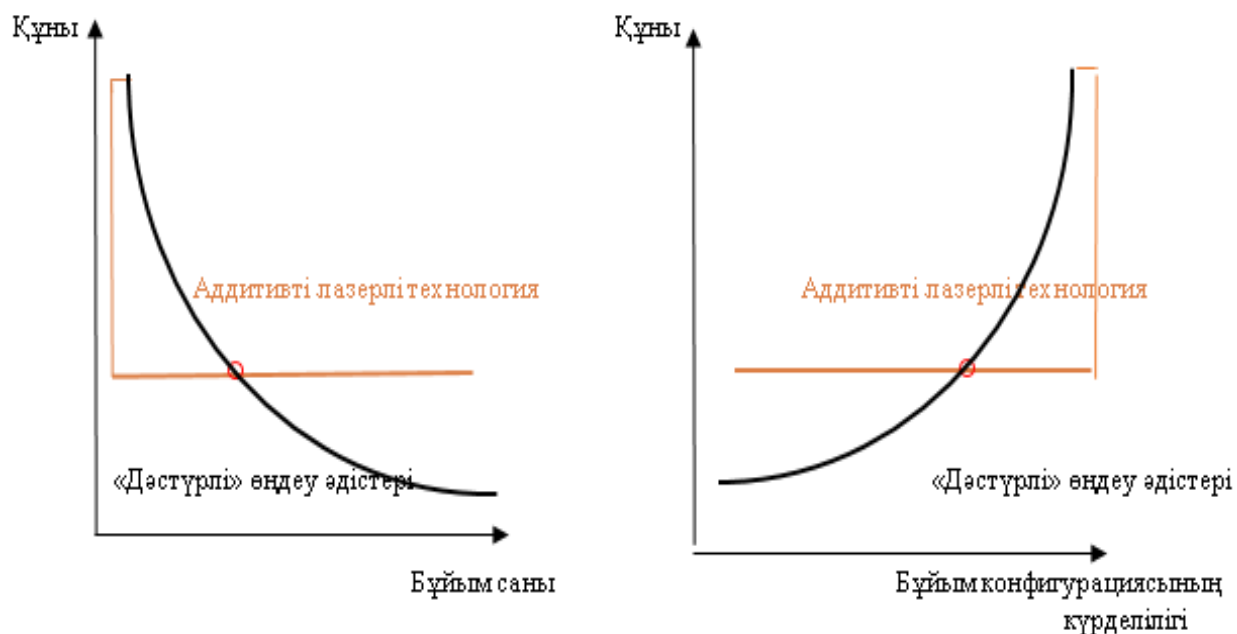
10) Қолданылатын материалдардың сапасын жақсарту есебінен алына-тын бұйымдардың сапасына әсері (дисперстілік және т.б.).

Шет елдерде осы сала өндірісіне үлкен көңіл бөлінеді: аддитивті технологияларды дамыту орталықтары құрылуда, физикалық-химиялық параметрлерді жетілдіру және өндірілетін өнімнің пайдалану сипаттамаларын арттыру бойынша тұрақты жұмыс жүргізілуде.

Бүгінгі күнде қабатты синтез әдістерімен жасалған бұйымдар түрлі салаларда белсенді қолданылады. Осылайша, дәстүрлі өндіріспен салыстырғанда даусыз артықшылықтарға ие жаңа өндірістің түрінің пайда болуы және оны игеру дәрежесіне мемлекеттің технологиялық тәуелсіздігі ғана емес, оның қауіпсіздігі де байланысты.

1.5 3D – технологияның мүмкіндіктері

Жаңа әдіспен өндірілетін бөлшектерді енгізу және сертификаттау күрделілігінен бастап сарапшы-технологтардың шектеулі санына дейінгі қарастыратын мәселелер көп. Дегенмен, бұл мәселелердің бәрі бір-біріне тығыз байланысты және оларды шешу уақыт мәселесі болып табылады. Сонымен бірге технологияның келешегі өндірісте аддитивті технологияларын енгізудің орындылығы мен тиімділігі болып табылады. Жалпы алғанда, лазерлік аддитивті технологиялардың көмегімен күрделі геометриясы бар бөлшектердің аз мөлшерін шығару құны бойынша бәсекеге қабілетті (сурет 5).



Сурет – 5 Аддитивті технологияны қолданудың тиімділік графигі

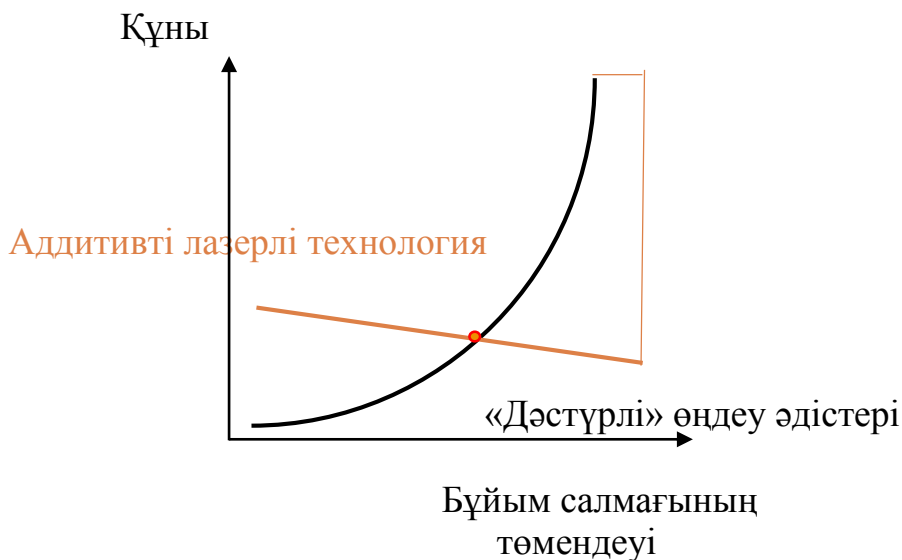
Авиациялық өнеркәсіпте, ғарыш индустриясында, стоматологияда және импланттар өндірісінде металл бұйымдарын қабатты лазерлік синтезін орнату сұранысын дәл осы график арқылы түсіндіруге болады. Соңғы жылдары авиация өнеркәсібінде және автомобиль өнеркәсібінде жеңілдетілген құрылымдарды құруға мүмкіндік беретін технологияларға үлкен көңіл бөлінді.

Оларды қолдану қосымша жанармайды үнемдеуді қамтамасыз етеді. 2000 жылдың басында Airbus A380 құру кезінде дәстүрлі жамау орнына фюзеляждың кейбір бөлшектерін лазерлік дәнекерлеу технологиясы белсенді енгізілді.

Сонда бұл салмақ 15% - ға азайтуға мүмкіндік берді. Ұшақ жасауда 1 кг салмақтың азаюы жылына 100 литрге дейін отынды үнемдеуге мүмкіндік береді, ал автомобиль жасауда салмақтың 10% - ға азаюы отында 4% - ға үнемдеуді береді. Мұндай жеңілдетілген конструкцияларды енгізу, әдетте, оларды аддитивті лазерлік технологиялардың көмегімен жасауды талап етеді (сурет 6,7).

АВТОМОБИЛЬ ЖАСАУ	ҰШАҚ ЖАСАУ
<p data-bbox="240 210 491 349">Салмақтың төмендеуі - 10 %</p>  <p data-bbox="240 703 501 853">Жанармайды тұтыну - 4 %</p>	<p data-bbox="1182 210 1437 349">Салмақтың төмендеуі - 1 кг</p>  <p data-bbox="1166 703 1433 853">Жанармайды тұтыну - 100 кг/ жыл</p>

Сурет – 6 Аддитивті технологияларды қолдану арқылы конструкциялардың салмағын төмендету



Сурет – 7 Бұйым салмағының төмендеуі есебінен құнын төмендеу графигі

1.6 1-бөлім бойынша қорытынды

1 тараудың мақсаты аддитивті технологияның дүниежүзінде, оның ішінде Қазақстанда алатын орны, даму қарқындылығы, пайдалану көрсеткіші туралы жазылған. Алынған мәліметтердің барлығы статистиалық деректерге сүйене отырып, диаграммалар мен кестелер сызылды. Мысалы, 3-суреттегі

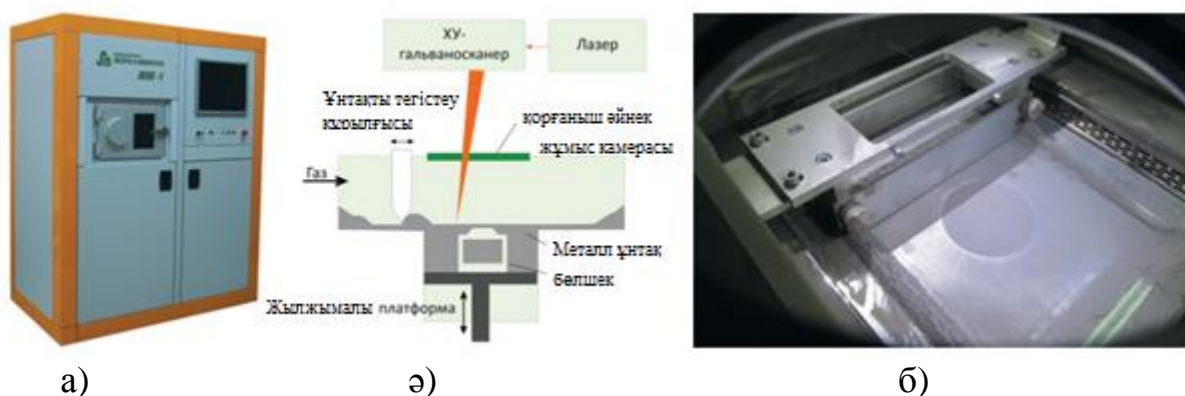
диаграммада 2012 жылдан 2018 жылға дейінгі аддитивті технологияның дүниежүзіндегі пайдалану қарқындылығы мен бюджеттік қорының өсу процесі бейнеленген. Яғни, бұл дегеніміз технологияның XXI ғасырда жылдан-жылға сұранысы көбеюде, тек қана бір өндірісте емес көптеген өндіріс саласында (машинажасауда, ұшақжасауда, металлургияда) медицинада, ғарышта, киім өндірісінде белсенді қолданылатынының ашық көрінісі.

Қолданыстағы технологиялардың артықшылықтары мен кемшіліктері 1-кестеде толықтай көрсетілген. Сондай-ақ, өндірістік процестерге аддитивті технологияларды енгізудің негізгі деңгейлері мен аддитивті технологияның алгоритмін сипаттадым.

2 Лазерлік аддитивті технологияларды классификациясы

Лазерлік аддитивті технологияларды екі топқа бөлуге болады. Әр түрлі өндірушілер кейбір басқа терминдерді пайдалана алады, бұл бірінші кезекте технологиялық үдерістегі айырмашылықпен емес, атауларды патенттеу мәселелерімен байланысты.

1) SLM — Selective Laser Melting — Балқыма ваннасын пайдаланып селективті лазерлік қоспа қылып шығару (синтез немесе біріктіру). Яғни, мұнда алдымен қабатты қалыптастыратын, содан кейін осы қабатта материалды іріктеп қатайтатын (бекітетін) бет туралы айтылуда. Бұл категорияға SLS және SLA, DMLS, Laser Cusing, SPLA және т.б сияқты технологиялардың белгілері жатады.



Сурет – 8 а) «Лазерлер және аппаратура» фирмасының МЛ6-1 қабаттап біріктіруге арналған білдегі; б) СЛМ – технология бойынша бөлшектерді құру сызбасы; в) «Лазерлер және аппаратура» фирмасының МЛ6-1 стаканының жұмыс камерасы»

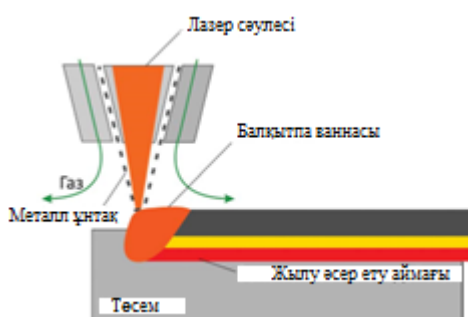
2) LMD — Laser Metal Deposition — тікелей ұнтақты немесе сымдарды тікелей құру орнына салу арқылы, тікелей лазерлік тұндыру немесе тікелей лазерлік өсіру (9,10-сурет). Бұл категорияға мыналар жатады: DMD — Direct Metal Deposition, LENS — Laser Engineered Net Shape, DM — Direct Manufacturing, MJS — Multiphase Jet Solidification.

Қазіргі уақытта аддитивті технологиялар саласындағы әлемдік көшбасшылар SLM әдісінің негізгі артықшылығы ретінде құрылыстың жоғары дәлдігі мен сапасын атап өтеді.

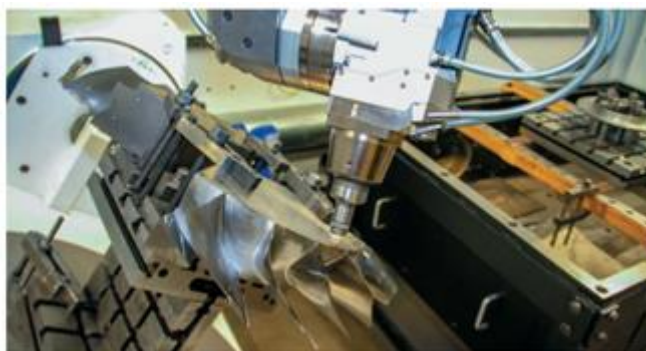
Осы технологияның көмегімен ішінде қуыстары бар, салбыраған бөліктері бар кез келген күрделі бұйымдарды жасауға болады. Алайда, мұндай жүйелерде өсірілетін бөлшектердің құрылу жылдамдығы мен көлемі шектеулі.

Тікелей отырғызу, өз кезегінде, материалдардың едәуір саны зерттелген, құрылысты үлкен жылдамдықта және үлкен көлемде тұрғызуға мүмкіндік береді, алайда мұнда дәлдігі төмен және өсірілетін бөлшектердің күрделілігі шектеулі.

SLM және LMD технологияларын қолдану арқылы бір бөлшекті дайындау тәжірибесі көрсетілген. Осы мақсатта Инконель 718 қорытпасынан қозғалтқышты қанатқа бекітуге арналған Airbus A 320 ұшағының тірек бөлшегі жасалды. Алынған бөлшек жоғары температуралық, химиялық және механикалық әсерлерге төзімді болуы тиіс. Қазіргі уақытта құю және фрезерлеу арқылы жасалады. Алынған материал құрылымындағы белгілі айырмадан басқа (сурет 10) және үзілу және қысу беріктігі келесі айырмашылықтарды өзіне аударады: LMD. Сапқа тұру уақыты 14 сағатты құрады, сапқа тұру жылдамдығы 146,7 мм³/сек. Құру барысында параметрлерді түзету талап етілді, кейбір тесіктер болмады (қосымша өңдеу талап етілді). SLM. Сапқа тұру уақыты 40 сағатты құрады, жылдамдығы — 15 мм³/сек. Бұл ретте детализация деңгейі мен сапасы өте жоғары болды.



Сурет – 9 LMD-технология бойынша бөлшектерді құру сызбасы



Сурет – 10 Лазерлік коаксильді LMD сфералық ұнтақтармен балқыту

Бірнеше параметрлер бойынша LMD және SLM технологияларын 2-кестеде салыстырмалы түрде көрсетілген.

Кесте – 2 LMD және SLM технологияларын бірнеше параметрлер бойынша салыстыру

	LMD	SLM
Материалдар	Ұнтақтарды таңдаудың кең ауқымы	Ұнтақтардың шектеулі саны

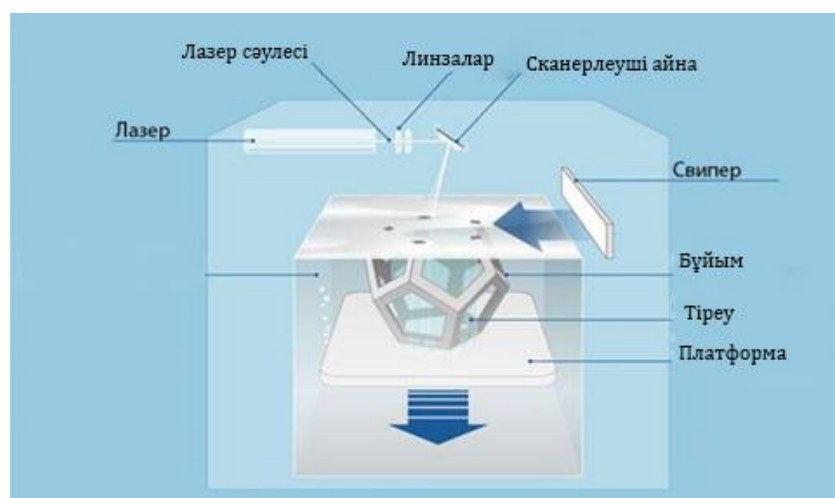
2 – кестенің жалғасы

	LMD	SLM
Материалдар	Ұнтақтарды таңдаудың кең ауқымы	Ұнтақтардың шектеулі саны
Бөлшектің өлшемдері	Ось бағыттарымен шектелген	Камера өлшемімен шектелген
Күрделілігі	Шектеулі	Шектеусіз
Дәлдігі	$\geq 0,3$ мм	$\geq 0,1$ мм
Құрылу жылдамдығы	10-40 см ³ /сағ	2-10 см ³ /сағ
Субстрат	Күрделі формадағы беттер Қазірдің өзінде бар бөлшек	Жазық бет Арнайы платформа
Rz	60-100 мкм	30-50 мкм
Қабат қалыңдығы	0,1-1 мм	0,03-0,1 мм

2.1 Лазерлі стереолитография SLA

SLA (Stereolithography) – сұйық фотополимер лазердің жарық сәулелендіруінің әсерінен өзінің физикалық қасиеттерін өзгерте отырып, лазердің проекция нүктесінде қатайып қабат құрылады.

Сұйық фотополимерлі контейнерде торлы платформа орналастырылады, осында прототип жасалады. Бастапқыда платформа қалыңдығы 0,05 - 0,15 мм полимердің өте жұқа қабатын жабатын тереңдікке ие - бұл стереолитографиядағы қабаттың шамамен қалыңдығы. Содан кейін, мақсатты объектінің қабырғаларына сәйкес келетін полимердің бөліктеріне әсер ететін лазер белсендіріледі, ол оларды қатайтады. Осыдан кейін бүкіл платформа тереңірек түседі қабаттың қалыңдығына тең. Сонымен қатар, арнайы щетка сұйықтықтың кейбір бетінің шиеленісіне байланысты құрғақ болып қалуы мүмкін жерлерді сұйықтықпен қамтамасыздандырады. Орнату схемасы 11 суретте көрсетілген.



Сурет – 11 SLA-жүйесінің сұлбасы

Құрылыстың аяқталуы бойынша объект артық тазарту және жою үшін арнайы қосылыстармен ваннаға батырылады. Ақыр соңында, түпкілікті қатайтуға жарықпен соңғы сәулелену. 3D-модельдеудің көптеген басқа әдістерімен қатар, SLA құрастырудан кейін қолмен жойылатын тірек конструкцияларды монтаждауды талап етеді.

Ол елеулі қиындықтарсыз істемейді. Біріншіден, фотополимердің өзіне қойылатын талаптар өте қарама-қайшы: егер ол қою болса, полимерлеу жеңілірек болады, бірақ әрбір батыру сатысынан кейін тегіс бетті қамтамасыз ету әлдеқайда қиын; Әрбір кезеңде сұйықтықтың бетінде өтетін және оны тегістейтін арнайы тегістегішті қолдану қажет.

Лазердің бекітілген қуатында қатайтқыштардың үлкен мөлшері әсер ету уақытын қысқартуға мүмкіндік береді алайда фрнды саулелендіру полимердің басқа көлемін құртады және қолдану мерзімін қысқартады. Екіншіден, түгелдей полимеризациялау аз уақыт шығындамас еді, сондықтан әр қабатты жасауды ол минималды беріктікпен жасалады, сондықтан дайын модельді артық сұйық полимерлерден тазартып арнайы камерада полимеризация 100% жету үшін қуатты көзбен сәулелендіру қажет.

Технологияның артықшылықтары:

- 1) Өте жоғары мүмкіндікті және дәлдікті басып шығаруды қамтамасыз ету;
- 2) 150×75×55 см өлшеммен, 150кг салмақта өте үлкен модельдерді алу мүмкіндігі;

- 3) Алынған үлгілердің механикалық беріктігі жоғары, олар 100°C дейінгі температураға төзімді;

- 4) Өте кіші элементтер және түрлі күрделі пішінді қамтамасыз ету;

- 5) Дайындағаннан кейін аз қалдықтар шығуы;

- 6) Соңғы өңдеу жұмыстарының жеңілдігі.

Кемшіліктері:

- 1) Модельдерді дайындауда қолданылатын материалдар шектеулігі;

- 2) Түрлі-түсті басып шығару мүмкіндігінің жоқтығы;

- 3) Басып шығару жылдамдығының төмендігі, бойлық бағытта сағатына максимум 10-20 мм;

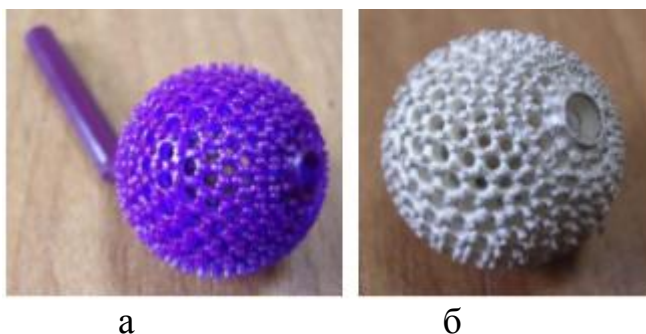
- 4) 3D –принтерлердің өте үлкен габариті.

- 5) Шығын материалдарының шектеулі спектріне қарамастан таңдау бар, және де әртүрлі қасиеттермен модельдер алуға болады: жоғары жылуғатөзімділік, икемді, абразивтерге жоғары беріктік [9].

3D Systems компаниясы – 1987 жылы жылдам прототипті технологияларды практикалық дамыту саласындағы ізашары болып, 250x250x250 мм құрылыс алаңының мөлшері бар SLA-250 алғашқы стереолитографиялық машинасын коммерциялық дамытуға ұсынды. SLA процесінің негізі ультракүлгін лазер (қатты күй немесе CO2) болып табылады. жарық көзі ретінде SLS-технология сияқты емес TEP La Source - лазер сәулесі бұл жағдайда болып табылады. Түйін «CAD» моделінің ағымдағы қимасын «жасырады» және өтпелердегі сұйық полимердің жұқа қабатын емдейді. Содан кейін құрылыс жүргізілетін платформа құрылыстың қадам өлшемімен

фотополимерлі ваннаға құйылады және қатты қабатқа жаңа сұйық қабат қолданылады, ал жаңа контур лазермен «өңделеді». Бірдей материалдың негізгі корпусымен бір уақытта бір мезгілде үлкен элементтері бар модельді «өсіргенде», тіреудің құрылысы дәйектілігі пайда болған кезде, элементтің бірінші қабаты салынған жұқа бағандар түрінде құрастырылады. Процесс үлгі аяқталғанға дейін қайталанатын. Содан кейін модель жойылады, шайыр қалдықтары ацетон немесе спиртпен жуылады, тіректер жойылады. Модельін мықтылығын арттыру үшін арнайы камералық деполимеризациялық ультракүлгін шам бар шкаф орналастырады.

Стереолитографиялық үлгілердің беткі сапасы өте жоғары және жиі модель өңдеуден кейінгі өңдеуді қажет етпейді. Қажет болған жағдайда бетінің тазалығын жақсартуға болады – «бекітілген» фотополимер жақсы өңделеді және модельдің беті айнаға түсіріледі. Кейбір жағдайларда, егер үлгі беті мен тік арасындағы бұрыш 300 С-ден аз болса, онда модель қолдаусыз салынуы мүмкін. Осылайша, модельдер жасалуы мүмкін, ол үшін ішкі қуыстардан тіректерді алу проблемасы жоқ, бұл дәстүрлі әдістермен өндірілмейтін үлгілерді алуға мүмкіндік береді (сурет 12).



Сурет – 12 Зергерлік бұйым: а – SLA- күйдіру үлгісі, б – күміс құйма

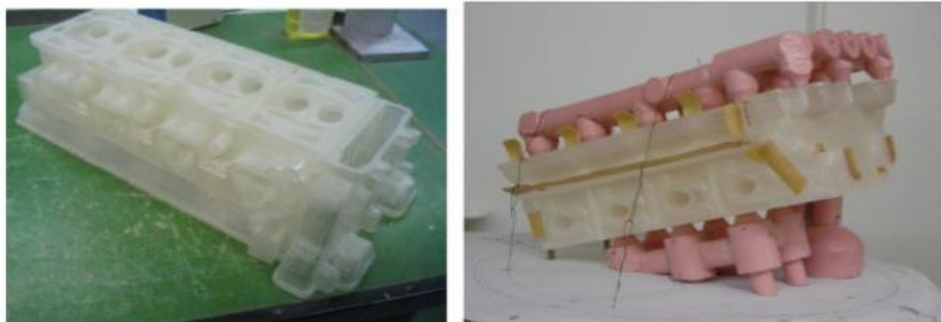
Стереолитография келесі бағыттарда кеңінен қолданылады:

- құю модельдерін өсіру;
- шеберлік үлгілерін дайындау (кейіннен силикондарды, балауыз модельдерін және полиуретанды шайырлардан жасалған құюды);
- дизайн модельдерін, макеттерін және функционалдық үлгілерін жасау;
- гидродинамикалық, аэродинамикалық, күшті және басқа да зерттеу түрлеріне арналған ауқымды және масштабты үлгілерді өндіру.

Бірақ осы жұмыстың шеңберінде құю бөліктерінің дереу алынуы үшін маңызды екі бағытты атап өтеміз. Құю бөліктерінің өндірісі үшін Quick-Cast моделі деп аталады (13 сурет), яғни «тез құюға» арналған модельдер, оған сәйкес, балауыз модельдеріне қарағанда, металды құю тез алынуы мүмкін (11,12 суреттер).

Жылдам қуат үлгілері балауыз полистирол модельдерін қолдануға ұқсас технологиялық процестерде қолданылады. Бірақ маңызды нәрсе бар. QuickCast модельдері массивтің ұялы құрылымына ие: сыртқы және ішкі беттер қатаң түрде жасалып, дене өзі жасушалар жиынтығы ретінде қалыптасады.

Бұл, ең алдымен, модельдің жалпы салмағын 70%-ға азайтады, сондықтан металлмен құюға арналған қалыпты дайындау кезінде аз үлгілік материалды жағу керек. Екіншіден, жану процесінде кез-келген үлгі материал қабырға қабырғаларына қысым көрсетеді, ал жұқа қабырғалы элементтері бар пішінді жоюға болады. Ұяшық құрылымы модельді ішкі кернеулерді жасамай және құйма қабырғаларының деформацияланусыз кеңейте отырып, «қабаттасуға» мүмкіндік береді. Бұл Quick-Cast технологиясының ең маңызды артықшылығы.



а) өсуден кейін

б) құю жүйесімен жабдықталған

Сурет – 13 Quick-Cast моделі



Сурет – 14 Цилиндр бастарының алюминий құйындысы



Сурет – 15 ІЖҚ құю жүйесі бар SLA – Quick Cast моделі мен алюминий құйма



а) құю жүйесі бар SLA – Quick Cast моделі; б) алюминий құйма

Сурет – 16 Қаңқалы бөлшек



а) Voxeljet моделі; б) Quick-Cast технологиясымен алынған SLA моделі.

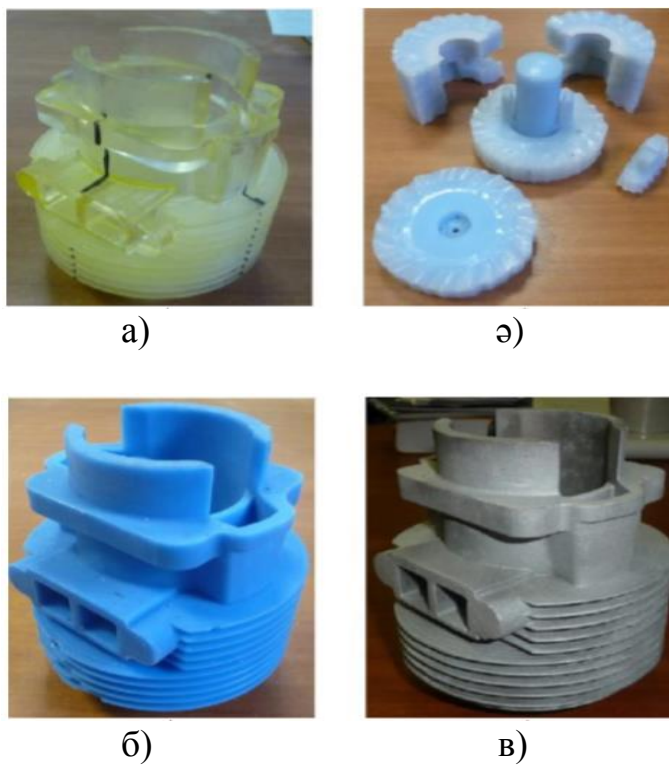
Сурет – 17 Құю бетінің тазалығын салыстыру

Дегенмен, Quick-Cast үлгілері шығындалатын, арнайы техникасыз алынатын бір реттік үлгілері. Бұл әдіс бір немесе екі құюды жасау қажет болғанда қолданылады. Құймалардың (10 - 100) пакетін алу қажет болған жағдайда, әр түрлі үнемді әдіс қолданылады.

SLA-машинада «өскен» модель шеберлік үлгісі ретінде пайдаланылады. Мастер-модельге сәйкес, серпімді нысаны жасалады (көбінесе силикон). Ерітілген балауыз (әдетте вакуумдық камерада) осы құймаға құйылады және балауыз үлгілерінің қажетті саны - «балауызша» шығарылады, кейін олар құйма құю әдістерін қолдана отырып, құю әдісі ретінде пайдаланылады (13 сурет). Осы технологияның көмегімен өте күрделі геометриялы балауыз модельдерін жасау мүмкін (14 сурет).

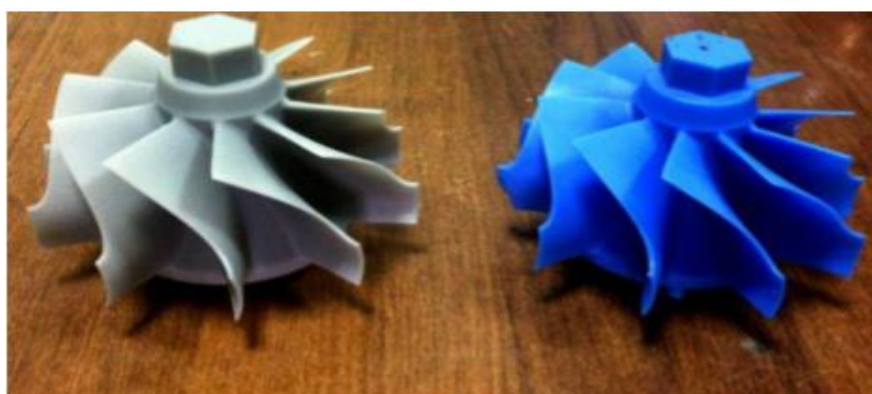
Силиконды қалыптарды, балауыз модельдерін және металл құю үшін вакуумды құю машиналарын өндіру үшін қолданылады. Сапалы құю материалдарын пайдалану Rz 20-40 деңгейінде жоғары беттік тазалықпен құюға мүмкіндік береді.

Таспаны құрастыру монолитті түрін де, мысалы, гипс-керамикада, қабықша түрінде де орындалады. Кейбір жағдайларда SLA-модельдер құрастырушы ретінде - «жерге» құюға арналған қалыптау үлгісін пайдалануы мүмкін.



а - (SLA) мастер-моделі; ә-силиконды қалып; б – балауыз моделі; в – құйынды

Сурет – 18 SLA мастер моделін қолдана отырып құйындыларды жасап шығару



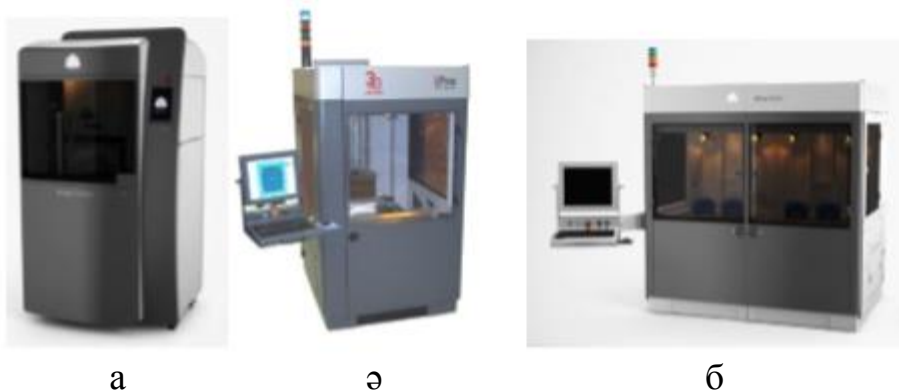
Сурет – 19 Автомобиль турбокомпрессорының мастер – моделі және турбиналық дөңгелегінің балауызы

Бұл жағдайда үлгіні конструкция нысанды зақымдамастан модельді алу үшін шөгуінің коэффициентін – құйма бейімділігін және радиусты қамтамасыз етеді (18 сурет). Алайда, бұл әдіс SLA моделінің жеткіліксіздігі салдарынан сирек қолданылады.

Стереолитография «direct manufacturing» әдісімен құюды алуға мүмкіндік береді. ProJet 6000 және 7000 сериялы SLA-машиналар медициналық және медицина өнеркәсібінде қолданылатын университеттерде ғылыми зерттеулер мен даму мәселелерін шешуде белсенді қолданылады. Құрылғының дәлдігі – 25 мм желілік үлгідегі 0,025-0,05 мм. Машиналар қабырғасының қалыңдығы 0,05-0,2 мм құрайтын модельдер жасай алады, модельді құрастыру уақыты жұмыс алаңының жүктелуіне және құрылыс сатысына байланысты және орта есеппен модельдің биіктігінде сағатына 4-7 мм болады.

Дүние өнеркәсібіндегі құю өндірісі үшін iPro сериялы машиналар (ProX сериясының жаңа атауы) өте белсенді қолданылады. Тапсырыс берушінің өтініші бойынша машиналар басқа көлемдегі ваннамен жабдықталуы мүмкін. Бұл қымбат модельді материалды үнемдеуге мүмкіндік береді – төмен модельді құрастыру үшін, аз тереңдігі бар ваннаны таңдауға болады. Бұл жағдайда ваннаны бастапқы толтыру бойынша шығындар айтарлықтай төмендетілуі мүмкін.

Жоғарыда айтылғандай, стереолитография ең жақсы бет тазалығын және модель құрылысының ең жоғары нақтылығын қамтамасыз етеді. Технологияның елеулі кемшілігі – сатып алу мен мүлікті иемденудің жоғары құны. Лазердің болуы SLA-машиналарын салыстырмалы түрде қымбат етеді және тұрақты қызмет көрсетуді талап етеді. Шығын материалдарының құны 250-300 евро / кг диапозонында орналасқан, бұл басқа фирмалардың үлгілік материалдарының құнымен салыстырылады.



Сурет – 23 3D Systems компаниясының SLA-машиналары: а-ProJet SD 6000 (7000); ә-iPro™ 8000; б-iPro™ 9000

Еуропада және Ресейде аутсорсингке арналған SLA-үлгілердің құны шамамен бірдей, аймаққа байланысты және 1,0-2,0 евро/см³ ауқымында болады. Сонымен қатар, нақты шығын материалдарының (фотополимер) құны (тірек конструкцияларға қосымша шығындар ескеріле отырып) 0,35-0,4 евро/см³ құрайды.

Модельдік материалдардың ауқымы үнемі өсуде және сапада өзгереді. Қазіргі уақытта негізгі материалдар:

– VisiJet Flex – полипропиленге ұқсас, серпімді, күңгірт ақ, прототибинг лампаларына және басқа икемді элементтерге оңтайлы;

- VisiJet Tough – ABS үлгісі, мастер-модельдерге, функционалдық икемді болып жасалынған;
- VisiJet Clear – прототипті дайындау үшін поликарбонат тәрізді, офтальмологиялық өнімдер;
- VisiJet HiTemp – жоғары ыстыққа төзімді (130 ° C дейін);
- VisiJet e-Stone – тіс протезінде және т.б.

DLP технологиясы. Технология әзірлеушісі Envisiontec халықаралық компаниясы болып табылады, ол 2003 жылы өзінің алғашқы машиналарын шығарды. Envisiontec perfactory жүйесінде сапалы сандық проекцияны алу үшін Texas Instruments компаниясы әзірлеген DLP – Digital Light Procession бірегей технологиясы қолданылады. DLP технологиясы бойынша жұмыс істейтін проекторлардың негізгі элементі сандық мультимиркальды құрылғы (Digital Micromirror Device, немесе DMD) – жоғары шағылысу коэффициенті бар алюминий қорытпасынан жасалған қатты айналардың матрицасы болып табылады. Айналар төсекке бекітіледі, ол жылжымалы пластиналар арқылы матрица негізімен жалғанады.

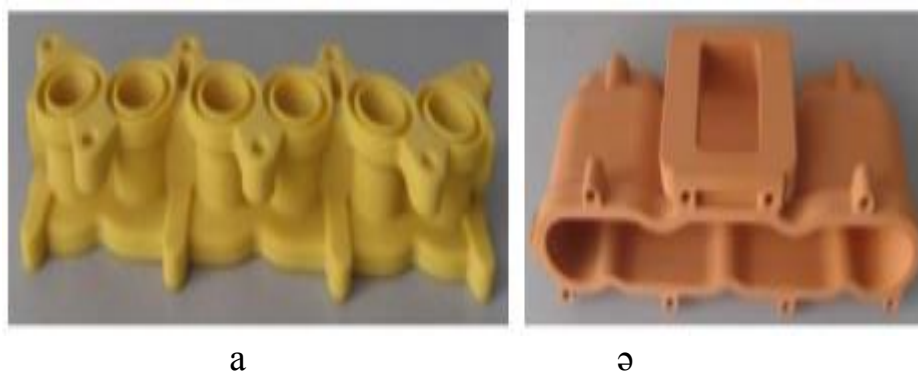
Айналардың қарама-қарсы бұрыштарының астында жад ұяшықтарымен біріктірілген электродтар орналасқан. Айна, электр өрісі матрица негізінде орналасқан 20° байланысты шектеулер ерекшеленетін екі қызметтің бірін қабылдайды. Бұл екі позиция кіріс жарық ағынының сәйкесінше мақсатқа және жарық сіңіргішке көрінуіне сәйкес келеді. Әрбір матрицаның айна ауданы 16 мкм немесе одан кем, айналар арасындағы қашықтық шамамен 1 мкм. Жобаланған кескіннің жарықтығы айна әртүрлі позицияларда болатын уақыттың арақатынасын өзгерту арқылы реттеледі. Қазіргі уақытта DMD шешімі SXGA сәйкес келеді. Барлық DMD элементі проектор күніне 10 сағат жұмыс істегенде шамамен 6 жыл орташа жұмыс мерзіміне ие.

Модельді құрастырған кезде, масштабтау CAD моделінің әрбір ағымдық бөлімі үшін масқалар жасалады, ол DMD элементтерінің жүйесі арқылы (айналар) жұмыс жарықтандырудың жоғары жарықтылығымен жарықтандырылған жұмыс алаңында бейнеленеді. Сонымен қатар, әр қабат (CAD үлгісінің көлденең қимасы) «жалпақ» пикселге емес, «көлемді» вокселдерге (воксел) $XYZ = 16 \times 16 \times 15$ мкм өлшемдеріне бөлінеді. Voxel өлшемін XY-16-69 микрондарында, Z-15-150 микрондарында реттеуге болады. Осылайша, құрылыс процесі ең кіші құрылыс блоктары үлгісін құрастыру ретінде ұсынылуы мүмкін. Әр қабаттың көрінетін жарықтың қалыптасуы мен жарықтандыруы 3-7 секундтан кейін орын алады.

Демек, SLA-машиналарда жарықтандырудың «нүкте» принципі қолданылса, онда Envisiontec машиналарында ол «беткі қабатты» болып табылады, яғни қабаттың бүкіл беті жарықтандырылады. Бұл құрылыстың өте жоғары жылдамдығын түсіндіреді - биіктігі 25 мм/сағ, қалыңдығы 0,05 мм құрайтын қабат. Материалдың негізгі материалы - акрил фотополимері. Envisiontec модельдері SLA-модельдері сияқты шебер-модельдер мен күйдірілетін құю модельдері ретінде қолданылады. Модельдердің сапасы SLA-модельдерге дәлдігі бойынша ғана жол береді, бұл 0,6% тең полимерлеу кезінде

шөгү коэффициенті бар акрил фотополимерлерді қолданумен байланысты, 3D Systems машиналарында аз шөгетін эпоксидті фотополимерлерді пайдаланады. Envisiontec модельдері өте жоғары дәлдікпен және беттің тазалығымен, беріктікпен және ыңғайлылығымен (стереолитографиямен салыстырғанда) және өте орташа құнмен сипатталады.

Envisiontec технологиясының артықшылығы - модельдерді құрудың жоғары жылдамдығы және, тиісінше, АМ машинасының өнімділігі, үлгілердің жақсы күйдірілуі және аз күлділігі.



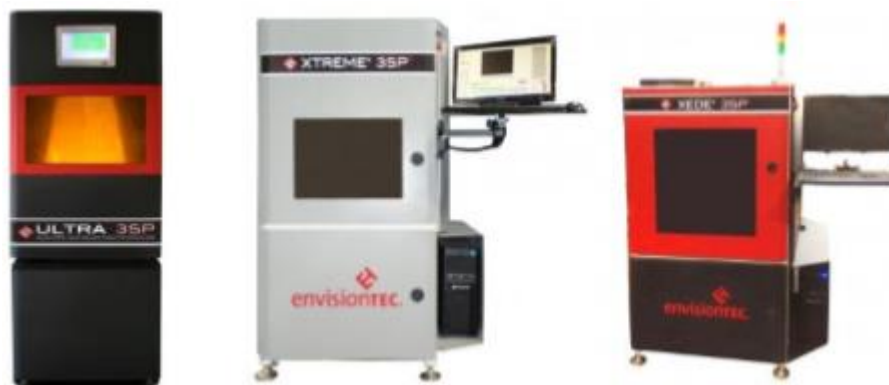
Сурет – 24 Envisiontec модельдері: а-күйдірілетін құю моделі; ә-функционалдық моделі

DLP технологиясы – құю өндірісі үшін өте перспективті және тиімді. Мысалы, биіктігі 32 мм шығару құбырының және биіктігі 100 мм ресивердің дайындық-қорытынды операцияларын есепке ала отырып, тұрғызу уақыты тиісінше 1,5 және 5 сағатты құрайды. Салыстырмалы SLA өлшемді Viper si2-де осындай үлгілерді жасау үшін кемінде 5,5 және 16 сағат кетеді.

Envisiontec компаниясы медицинада қолданылатын, зергерлік бұйымдарға арналған бірнеше принтерлер шығарады. Өнеркәсіптік құю өндірісінің мақсаттары үшін үш модель қызығушылық тудырады: Ultra, Xtreme және Xede (74 сурет). Xtreme құрылысында 1400x1050 пиксель рұқсатымен бір сандық линзалар, Xede екі проекторы бар. Модельдер кейіннен өңдеуді қажет етеді - тіреуіштерді алып тастау және стереолитография сияқты полимерлеуден алдын ала бірнеше жағдайларда.

Стереолитография, дополимеризация сияқты кейбір жағдайларда тіректерді алып тастау модельдерден кейінгі өңдеуді қажет етеді.

Құрылыстың тиімді жұмыс аймағы және құрылыс қабатының қалыңдығы оптикалық жүйенің линзаларының өзгеруімен реттеледі. Xtreme және Xede сериялары машиналарының ерекшелігі басқа технологиялардан айырмашылығы, ол дискретті, біртіндеп емес, бірақ төменгі жылдамдықта платформаның үздіксіз қозғалысын төмендетеді. Мұндай жарықтандыру әдісі басқа қабат-деңгейлі технологияларға тән айқын қадамдарсыз, модельдің бетін тегіс етеді.



Сурет – 25 Envisiontec компаниясының АМ машиналары

Кесте – 3 Ultra, Xtreme, Xede машиналарының параметрлері

Параметрлері	Ultra	Xtreme	Xede
Құрылыс аймағының өлшемдері, мм	266x175x193	254x381x330	457x457x457
ХҮ бойынша максималды рұқсат, мкм	50-100	100	100

Мастер-модельдерге, вакуум құрастыруға арналған модельдер мен модельдер үшін (150 ° С-қа дейін), сондай-ақ концептуалды модельдеуге арналған материалдардың кең спектрлі бұл машиналарды үлкен сандар мен үлгілердің кең ауқымын жасау қажет болған жағдайда түрлі мақсаттағы бағыттарда қызметтер атқару қажеттілігі туындайды. АҚШ пен Еуропада Envisiontec машиналары кеңінен қолданылады, атап айтқанда, есту аппараттарын дәйекті өндірісінде және стоматологиялық түзету үшін құрылғылар өндірісінде пайдаланылады.

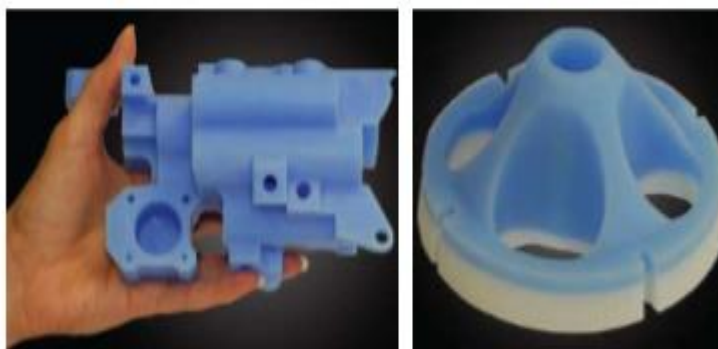
MJM технологиясы. ASTM классификациясы бойынша MJM технологиясы - Multi Jet Modeling – Material Jetting санатына жатады. Құю өндірісінің проблемаларына қатысты, ол «үлбір» – нвестициялық үлгілерде кейіннен қалып жасау үшін балауызды синтез модельдерін жасау үшін қолданылады. Модельдер 3D принтерлерінде арнайы үлгілік материалмен құрастырылған, ол фотосесізгі шайырды - акрил негізіндегі фотополимерді және құйма балауызды (салмағы 50% -дан астам) қамтиды. Фотополимер – байланыстырушы элемент. Көп қабатты басы бар материал – жұмыс платформасының бетіне қабатталған қабат, әр қабат ультрафиолет шамымен сәулелену арқылы қатайтылады.

3D Systems компаниясының сериялы принтерлері металдарды гипс-керамикалық және қабықты қалыптарға дәл құюға арналған модельдерді «өсіру» үшін арнайы әзірленген (25, 26-сурет). ProJet 3510 HD моделі үлгіні құрудың екі режимі бар – «стандартты» (XYZ) 375x375x790 дюйм (32 мкм құру қадамы) және 298x185x203 мм құру аймағының өлшемдері және «жоғары дәлдікті» UHD –

Ultra High Definition (XYZ) 750x750x890 дюйм (тұрғызу қадамы 29 мкм) және тұрғызу аймағының өлшемдері 127x178x152 ММ. ProJet 3500 HDMax принтері дюйм (XHD – Xtreme High Definition режимі, құру қадамы 16 мкм) 750x750x1600 нүктенің одан да үлкен рұқсаты бар, бірақ құрылыстың барлық аймағында 298x185x203 мм. ProJet 3510 HDPlus принтері 127x178x152 мм дейін азайтылған тұрғызу аймағында XHD режимінде жұмыс істей алады (сонымен қатар 4-кестені қараңыз).



Сурет – 26 3D Systems компаниясының MJM-машиналары: а-ProJet 3510 HD (HDPlus); ә- ProJet 5000; б-ProJet 5000 X



Сурет – 27 Құйылған үлгілер

MJM технологиясының ерекшелігі стереолитография сияқты, құру процесінде модельдің тәуелді элементтерін ұстап тұру үшін салынатын қолдаушы құрылым – тірек конструкциялардың болуы болып табылады. Қолдаушы материал ретінде үлгі құрылғаннан кейін ыстық су ағынымен жойылатын төмен балқу температурасымен VisiJet S300 балауыз полимері қолданылады. VisiJet M3 үлгі материалдары және VisiJet S300 қолдау материалы баллон-картридж түрінде болады. ProJet 5000 машинасы дизайн және функционалдық прототиптерді жасауға бағытталған, үлкен құрылыс аймағы мен үлкен өнімділігімен ерекшеленеді.

Модельдік материалдар: VisiJet M5 Back, VisiJet M5 MX, VisiJet M5-X-ABS-және PP тәрізді фотополимерлі шайырлар болып табылады.



Сурет – 28 Балауыз синтез-моделі арқылы алынған қабықша құйма және шойын турбина корпусы

Кесте – 4 MJM- 3D systems компаниясының принтерлері

Модель	Құрылыс аймағының көлемі, мм	Құру қадамы, мм	VisiJet модельдік материалдары
ProJet 3510SD	298x185x203	32	M3-X, M3 Black, M3 crystal, M3 Proplast, M3 Navy, M3 Techplast, M3 Pro-cast
ProJet 3510HD	298x185x203 127x178x152	29	
ProJet 3510 HDPlus	298x185x203 203x178x152	32 29,16	
ProJet 3500 HDMax	298x185x203	32,29,16	
ProJet 5000	533x381x300	64,32	M5, M5 MX, M5-X

ProJet 5000X принтері түрлі түсті материалдарды – ақ, қара, мөлдір және бірнеше сұр реңкті қолдана отырып, түрлі түсті басып шығаруға мүмкіндік береді. 3D Systems компаниясының MJM-принтерлерінде тұрғызу дәлдігі (конфигурацияға, бағдарға және модель өлшемдеріне байланысты) – бір дюйм ұзындығында 0,025-0,05 мм шегінде (25,4 мм). Принтерлер қабырғаларының қалыңдығы 1 мм-ге дейін, жекелеген жағдайларда 0,8 мм-ге дейін модельдерді құруға мүмкіндік береді. Ірі модельдер бөлшектермен салынуы және содан кейін желімдеуі мүмкін.



Сурет – 29 Құйылған үлгілер

Технологияның кемшілігі – шығын материалдарының салыстырмалы түрде жоғары құны – шамамен 400 евро/кг. Артықшылығы – бұл модельді

алудың жылдамдығы және модельдік материалдың жоғары сапасы инвестициялық модельдерде құюдың нақты технологиясы тұрғысынан (құю, модельді жылыту) тиімді.

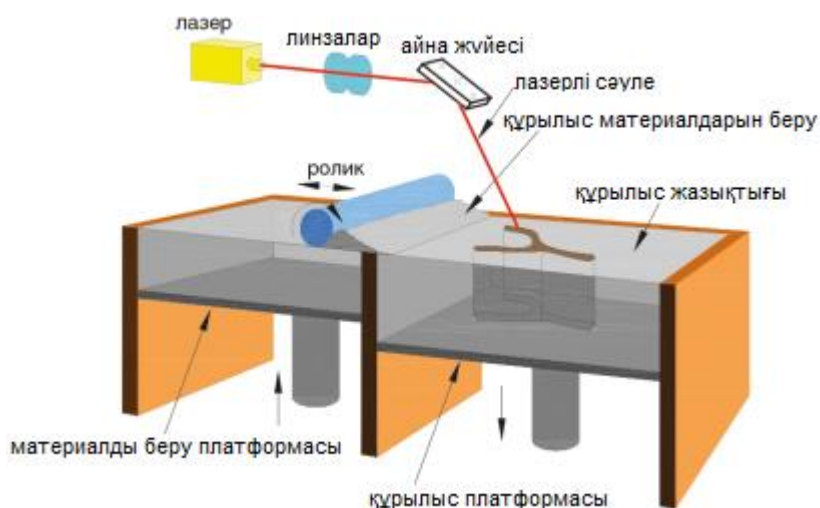
2.2 Селективті лазерлік біріктіру

Селективті лазерлік біріктіру (ағылш. Selective Laser Sintering, SLS) - бұл лазердің көмегімен ұсақ дисперсті ұнтақ (әдетте, металл) материалын біріктіру болып табылатын аддитивті технологиялар әдістерінің бірі.



Сурет – 30 Селективті лазерлі біріктіру

Селективті лазерлік біріктіру әдісінде ұнтақты материал лазерлік сәулемен қабаттап біріктіреді. Ол үшін жақсы тұтқырлығы бар және тез қатыратын майда дисперсті термопластикалық ұнтақ, мысалы, полимерлер, балауыздар, нейлон, сондай-ақ жеңіл балқитын байланыстырғыш қосылған керамикалық немесе металл ұнтақтар қажет [11].



Сурет – 31 Селективті лазерлі біріктіру технологиясы

Таңдамалы лазерлік синтездеу (SLS) функционалдык прототиптер мен дайын өнімдердің кішігірім партияларын жасау үшін қолданылатын аддитивті дайындау әдісі болып табылады. Технология жоғары қуатты лазерлерді пайдаланатын ұнтақ материал қабаттарының дәйекті синтезіне негізделген. SLS көбінесе селективті лазерлі балқу (SLM) деп аталатын ұқсас процессімен қателеседі, себебі SLS материалды синтездеу үшін қажетті жартылай еруді қамтамасыз етеді, ал іріктелген лазердің балқуы монолитті модельдерді құру үшін қажетті толық балқуды білдіреді.

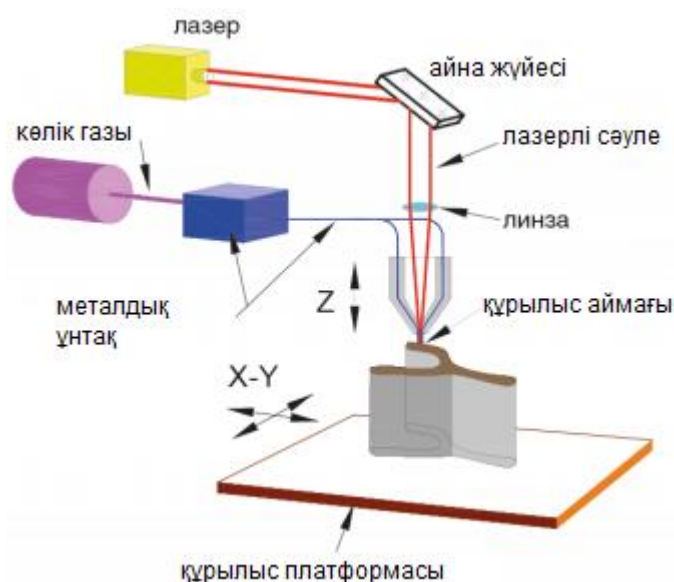
SLS технологиясының бір түрі таза металл ұнтақтармен жұмыс істеуге бағытталған, металдарды тікелей лазерлік біріктіру әдісі болып табылады (DMLS).

Тікелей лазерлі біріктіру (DMLS) бөлшектердің ағыны тікелей лазерлі энергиямен қамтамасыз етілетін бірдей аймаққа беріледі.

Лазер сәулесі сұйық балқыманың жергілікті ваннасын қалыптастыра отырып, өсірілетін бұйымның учаскесін балқытады. Инертті тасымалдау газының ағынымен балқытуға металл ұнтағының бөлігін үрленеді.

Лазерлік біріктіруді қолдану:

- Материалдың механикалық қасиеттерін арттыруға;
- Анизотропты қасиеттері бар бөлшектер материалын алуға;
- Берілген кедір-бұдырлықпен бөлшектің бетін алуға;
- Қалыптаушы құралдар мен басқа да бөлшектерді жасаудың технологиялық циклін қысқартуға;
- Тығыз, біртекті құрылымды алуға мүмкіндік береді.



Сурет – 32 Тікелей лазерлі біріктіру технологиясы

SLS технологиясы. SLS технологиясы қажетті үш өлшемді нысаны бар массаға пластиканың, металдың, керамикалық немесе шыны ұнтақтардың шағын

бөлшектерін балқыту үшін жоғары қуатты лазерлік сәулеленуді пайдалануды көздейді [12].

Лазер ұнтақтың бетін сканерлеу арқылы компьютердің жадында жасалынған 3D үлгісімен сканерленіп ұнтақты материалды іріктеп жібереді, өңдеу вакуум камерасында немесе инертті газбен толтырылған камерада жүзеге асырылады.

Лазер ұнтақтың бетін сканерлеу және оны компьютер жадында жасалатын 3D модельмен дәйекті салыстыру арқылы Ұнтақ тәрізді материалды іріктеп жабыстырады өңдеу вакуумдық немесе инертті газбен толтырылған камерада жүзеге асырылады.

Лазер ұнтақ бетін сканерлеу және оны компьютер жадында жасалған 3D бөлшектің моделімен дәйекті салыстыру арқылы ұнтақ тәрізді материалды іріктеп жабыстырады. Өңдеу вакуумдық немесе инертті газбен толтырылған камерада жүзеге асырылады. Жұмыстың нәтижесінде кеуекті кедір-бұдыр беті бар дайын үлгі алынады. Камерадағы артық ұнтақ үлгісін алғаннан кейін сілкілеу немесе арнайы шпательмен тазалау арқылы жойылады [13].

Ұнтақтарды лазерлік біріктіру келесі кезеңдерден тұратын циклдық процесс болып табылады:

– ұнтақты жұмыс камерасында балқытуға жақын температураға дейін қыздыру;

– ұнтақ қабатын жағу және оның роликтерімен тегістеу;

– ұнтақ қабатын лазерлік өңдеу (сканерлеу);

– алынған қабатты тазалау;

– бір қабат қалыңдығының шамасында үлгімен үстелді төменге жылжыту;

– жоғарыда аталған кезеңдердің қайталануы (кейінгі қабаттарды жағу).

SLS технологиясының артықшылығы мен кемшіліктері. Селективті лазерлі біріктіру технологияларының артықшылықтарына келесілерді жатқызуға болады:

– бұйымның беріктігі

– улы емес материалдарды пайдалану;

– бірнеше модельдерді бір уақытта жасау мүмкіндігі;

– жоғары басып шығару жылдамдығы (сағатына 35 мм дейін);

– төмен кернеу мен деформациялар;

– материалды қайта өңдеу мүмкіндігі.

SLS технологияларының кемшіліктері:

– баспаның төмен рұқсаты (0,1-0,15 мм қабаты);

– дайын өнімнің кеуектілігі және жоғары кедір-бұдырлығы;

– баспаға жарамды атмосфераға қойылатын жоғары талаптар;

– материалдар мен жабдықтардың жоғары құны.

SLS технологияларының кемшіліктері:

– баспаның төмен рұқсаты (0,1-0,15 мм қабаты);

– дайын өнімнің кеуектілігі және жоғары кедір-бұдырлығы;

– баспаға жарамды атмосфераға қойылатын жоғары талаптар;

– материалдар мен жабдықтардың жоғары құны.

Модельдерді дайындауда қолданылатын материалдар шектеулігі. Түрлі-түсті басып шығару мүмкіндігінің жоқтығы. 3D –принтерлердің өте үлкен габариті.

SLS технологиясы бойынша патенттердің соңғысы 1997 жылдың 28 қаңтарында жарияланды. Оның қолданылу мерзімі 2014 жылдың 28 қаңтарында аяқталды, бұл технологияны жалпыға қолжетімді етті. Осыған ұқсас әдісті Р. Ф. Хаусхолдер 1979 жылы патенттеді, бірақ коммерциялық тарату алған жоқ.

Стереолитография (SLA) немесе біріктіру қабатының модельдеуі (FDM) секілді аддитивті өндіру әдістерінен айырмашылығы, SLS қолдау құрылымдарын құруды талап етпейді. Модельдің бекітілген бөліктері бекітілмеген материал болып табылады. Бұл тәсіл үлгілердің шексіз геометриялық күрделілігіне қол жеткізуге мүмкіндік береді.

2.2.1 Процестің параметрлері

SLS процесі үшін үлкен және өсіп келе жатқан қосымшалардың саны көп, егер олар дұрыс қолданылмаса, алынған бөлшектер көп ақаулар болуы мүмкін, әсіресе жоғары қалдық кернеулер, микросызаттар, қабаттардың ыдырауы және жоғары кеуектілік [14]. Дайын өнімнің жоғары сапасын қамтамасыз ету үшін технологиялық параметрлердің оңтайлы жиынтығын қолдану қажет. Мұндай процестің параметрлері (бірақ онымен шектелмейді) лазер қуатын, сканерлеу жылдамдығын, дисплейдің өлшемін, сызықтардың арасындағы қашықтықты (параллельді лазерлі өтулер арасындағы қашықтық) және сканерлеу стратегиясын қамтуы мүмкін. Бұдан басқа, ұнтақ материалы, мөлшерін бөлу, қабаттың қалыңдығы және қоршаған ортадағы жағдайды бөлшектердің сапасына айтарлықтай әсер етуі мүмкін. Параметрлердің оңтайлы жиынтығы материалдың және түпкілікті бөліктің қалаған сипаттамасына байланысты әр түрлі болады. Бұл бөлім осы процестің әрбір параметрін егжей-тегжейлі талқылайды.

2.2.2 Лазер қуаты

Лазердің қуаты әдетте 30-дан 400 Вт-ға дейін. SLS машиналары әдетте 50 Вт дейін қуаттылыққа есептелген, себебі бұл көптеген полимерлердің балқымасымен металдардың ішінара балқытуына байланысты. SLM металл машиналары көп ваттты болып келеді. Лазерлік төсеу машиналары және SLM қондырғылары үшін қалың қабатты, лазерден жасалған жерсеріктерді және киловатттың тапсырысына арналған. Лазерлік сәуленің тығыздығы бөлшектің және төменгі қабаттың негізгі компоненті болып табылады, сонымен қатар кеуектікке және тегіс емес бетке дейін ұлғайтылуы мүмкін бөлшектердің абляциясын минимумға түсіреді. Лазер энергиясының тығыздығы әдетте мына формуламен анықталады. [15]

Лазер энергиясының тығыздығы = Лазер қуаты / дақ өлшемі * сканерлеу жылдамдығы

2.2.3 Сканерлеу жылдамдығы

Сканерлеу жылдамдығы дұрыс балқытуды қамтамасыз ету үшін реттеуге болатын лазердің қуаты сияқты, тағы бір параметр болып табылады. Төмен сканерлеу жылдамдығы лазерлік энергия тығыздығын арттырады, демек, балқытылған ваннаның ұлғаюына әкеледі. Жылдам сканерлеу жылдамдығы орындау уақытын қысқартады. Сонымен қатар, жоғары сканерлеу жылдамдығы балқытылған ваннаның енін азайтады, бұл шар шөгінділерінің пайда болуына әкелуі мүмкін. Сонымен қатар, өте жоғары сканерлеу жылдамдығы ұнтақ қабаты арқылы шашырату үшін жеткілікті уақыт бере алмайды. Типтік сканерлеу жылдамдығы 2-ден 700 мм / с дейінгі диапазонды қамтиды, бірақ бұл параметрлерді өзгертуге мүмкіндік бар. [16]

2.3 Селективті лазерлік балқыту

Қазіргі уақытта тез прототиптеу тәсілдері қарқынды дамуда. Қысқа уақыт ішінде материалдардың кең спектрінен күрделі формадағы бұйымдарды алуға мүмкіндік беретін перспективалық әдістердің бірі селективті лазерлік балқыту болып табылады [17,18].

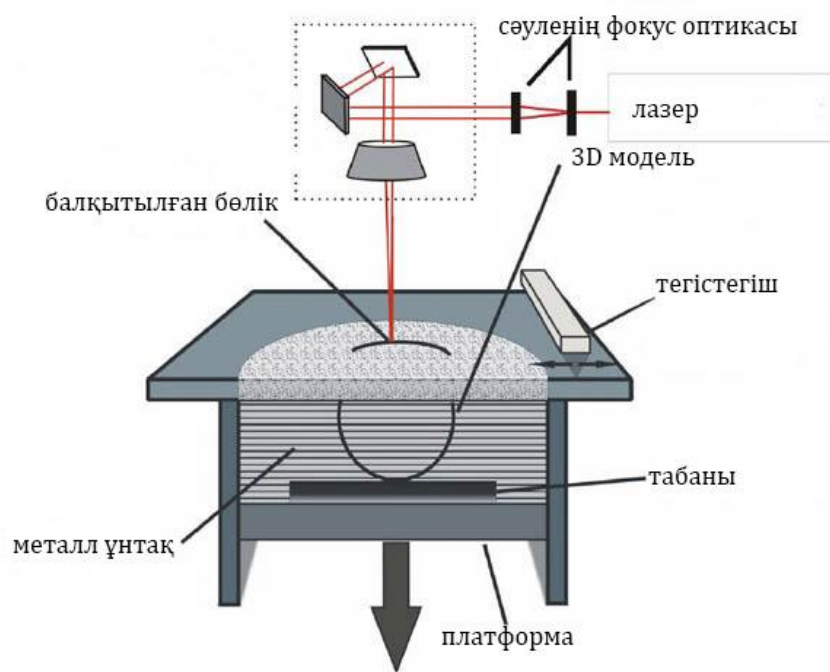
SLA әдісімен ұқсастықтары бар, сұйықтықтың орнына 10–100 мкм диаметрлі ұнтақ бөлшектер қолданылады, көлденең жазықтықта ұнтақтар біркелкі етіп жайылады (сурет 33) содан кейін лазер модельдің қажетті пішіміне сәйкес жерлерді ерітеді.



Сурет 33 – Ұнтақ тәрізді металды лазермен еріту

Бастапқы материалдар әртүрлі болуы мүмкін: металл, пластик, керамика, шыны, құймалы балауыз. Ұнтақ жұмыс үстелінің бетіне арнайы валикпен

орналастырылады (сурет 34). Келесі кезекте қуатты лазер бөлшектерді пісіреді, содан соң үстел бір қабат қалыңдығының мөлшеріне төмен түседі. Лазер қуатын төмендету үшін жұмыс камерасындағы ұнтақтар еру температурасына дейін қыздырылады, ал лазер импульсті режимде жұмыс жасайды, себебі әсер ету ұзақтығынан қарағанда өте жоғары қуат маңызды [19].



Сурет 34 –SLM қондырғысы

Бөлшектер түгелдей ериді. Қатайып қабат құрған ұнтақтардан басқа ұнтақтар, бөлшенің жоғарғы бөлігіндегі элементерді тіреу тұру үшін қолданылады, сондықтан арнайы тіреуіштер орнатудың қажеті жоқ. Процесс аяқталған соң камерада сондай-ақ дайын болған модельдің қуыстарынан толық салқындап болған соң артық ұнтақтарды алып тазалау керек. Көп жағдайларда финишті өңдеу қажет етіледі. Мысалы, беттің кедір-бұдырлығына байланысты жылтырату жасау. Бұдан өзге материал тек таза күйінде емес, сонымен қатар полимермен бірге қолданылуы мүмкін, бұл жағдайларда арнайы пештерде қыздыру арқылы қалдықтардан тазарту қажет. Металдар үшін пайда болған бос орындар қоламен толтырылады.

Пісіруде өте жоғары температура қолданылатындықтан процесс оттегінің аз мөлшерімен азотты ортада жүргізіледі. Металмен жұмыс жасағанда тотығуды болдырмайды. Сериялы түрде жұмыс жасайтын SLM принтерлерінде 55×55×75 см дейінгі өлшемді объектер жасауға мүмкіндік бар.

Лазерлі еріту технологиясы күрделі геометриялы, жұқа қабырғалы әрі қуысты объектер жасауда қолданылады. Бір нысандағы біртекті және кеуекті құрылыстарды біріктіру мүмкіндіктері импланттарды жасауда пайдалы болып табылады – мысалы, кеуекті беті бар ацетабурлы шыныаяқтар немесе басқа

ортопедиялық импланттар. Сонымен қатар, SLM аэроғарыштық салада қолданылады, дәстүрлі әдіспен (фрезерлеу, кесу) қолжетімсіз жоғары беріктіктегі конструкция элементтерін жасауға мүмкіндік береді. Дайын бұйымдардың сапасы жоғары болады, тіпті механикалық өңдеу қажет етілмейді. Материал үнемдігі жақсы нәтиже болып саналады, SLM өзінің ерешелігі бойынша қалдықсыз өндіріске жатады.

NASA – ның J-2X және RS-25 зымырандарының қозғалтқыштарына SLM-де никель қорытпаларынан жасалған бөлшектеріне сынағы бойынша материал тығыздығы бойынша аналогтардан жоғары. Екінші жағынан пісіру жіктерінің болмауы бұйымның беріктігіне оңтайлы әсер етеді [19].

Сондай-ақ әдіс машина жасаудың әртүрлі салаларында, медицинада, фармакологияда, мұнай және газ химиясында, атап айтқанда жеке медициналық протездерді, жақ-бет хирургиясына арналған пластиналарды, отын элементтері мен катализаторларды, сүзгіш элементтер мен т. б. дайындау үшін кеңінен қолданылады. Лазерлік біріктіру технологиясы өнімнің шағын көлемін немесе прототиптерді өндіру үшін пайдаланылады, бұл ретте дайын өнімнің қалыптасу уақыты күрделілігіне емес, оның мөлшеріне байланысты [20,21,22].

Әдістің мәні лазерлік сәулеленудің әсерінен бастапқы 3D моделіне сәйкес ұнтақ қабатталады. Ұнтақты материал арнайы төсекке (титан, алюминий, болат және т.б.) жағылады және қырғышпен тегістеледі, содан кейін төсем бір деңгейге төмен түсіріледі және процесс қайталанатын. Үлгі ұнтақ материалының қабатында қалыптасады, осылайша бұйымды ақаусыз құру үшін қажетті қолдау саны азайтылады. Артық ұнтақты елеуден кейін қайта пайдалануға болады. Қорғаныс атмосферасы ретінде ұнтақ материалына байланысты газ немесе вакуум қолданылады. Біріктірілетін қабаттардың сапасын анықтайтын ең маңызды параметрлер бастапқы материалдардың сипаттамалары мен біріктіру параметрлері болып табылады. Бастапқы материалдардың сипаттамасына бөлшектердің өлшемі мен пішіні, ұнтақтың меншікті бетінің үйіндік тығыздығы мен шамасы жатады. Біріктіру параметрлері лазердің қуаты, сканерлеу жылдамдығы, лазерлік сәулелену қарқындылығы, импульс жиілігі, қорғаныш атмосферасы, ұстау уақыты болып табылады. Біріктірілетін қабаттардың сапасы барынша қол жетімді дәлдікпен, біркелкі тығыздықпен, өңделетін қабаттың ең жоғары және ең аз қалыңдығымен сипатталады. Берілген талаптар кешені бар материалдарды жасау процесін жетілдіруге мүмкіндік беретін маңызды кезең-тәжірибелік жолмен де, математикалық үлгілеу әдістерімен де, өңдеудің оңтайлы параметрлерін таңдау болып табылады [23,24,25].

Лазерлік синтездеу әдісі берілген қасиеттері бар бұйымдарды модельдеу және жылдам алу міндеттері бар өнеркәсіптің кез келген саласы үшін өзекті болып табылады. Селективті лазерлік балқу әдісі стереолитографияға өте ұқсас, себебі олар бірдей дерлік жүзеге асырылады. Алайда, металл және керамикалық ұнтақтарды пайдалану мүмкіндігі тек прототиптерді ғана емес, сондай-ақ дайын өнімдерді де дайындауға мүмкіндік береді. Бұл техника алғаш рет Карл Деккартпен 1989 жылы ұсынылып, патенттелген. Әзірлемелер қазіргі уақытта 3D-Systems (АҚШ) фирмасымен өндірілетін қондырғылардың негізіне алынды.

Әдістің мүмкіндіктерін түсіне отырып, бір мезгілде түрлі фирмалар металл ұнтағымен жұмыс істеуге мүмкіндік беретін осындай технология мен қондырғыларды әзірлеуге кіріседі. 1995 жылы Фраунгофер институты (Fraunhofer Institute ILT, Германия) SLM (Selective Laser Melting) технологиясын патенттейді. EOS (Electro Optical Systems, Германия) компаниясы DMLS (Direct Metal Laser Sintering) технологиясын патенттейді.

Герметикалық жұмыс камерасында ұнтақ қолданылатын материал мен өңдеу режимдеріне байланысты белгілі бір температураға дейін алдын ала қыздырылады. CAD-болашақ бөлшектің моделі белгілі бір қалыңдықтың қимасына бөлінеді, ол дәлдік пен процесс өнімділігіне қойылатын талаптармен анықталады. Бөлшектің немесе бірнеше бөлшектердің төсеніште оңтайлы орналасуы таңдалады. Жұмыс камерасының төсемі ұнтақты отырғызу процесін нивелирлеу үшін үлгі қабатының бірнеше үлкен қалыңдығына түсіріледі. Ұнтағы бар бункер төсемі көтеріледі. Ұнтақ өңдеу аймағының беті бойынша білікшемен (металл емес материалдар үшін) немесе пышақпен (металл материалдар үшін) ауыстырылады және тегістеледі, үлгінің бірінші қабатына сәйкес іріктеп біріктіріледі немесе балқытылады. Бұл операция дайын өнімді алғанға дейін қайталанады.

Процесс аяқталғаннан кейін артық ұнтақ арнайы шаңсорғышпен жойылады, ал модель камерадан шығарылады және пешке орналастырылады, онда шамамен 450° C температурада 4 сағат бойы ұсталады.

Бұл процесс үшін әртүрлі компаниялар ұсынған бірнеше атаулар бар, олардың бірегейлігін ерекше атап өтуге болады: Selective Laser Sintering (SLS), Selective Laser Melting (SLM), Direct Metal Laser Sintering (DMLS). Басқаларына қарағанда, SLS процесінде ұнтақты толық еріту емес, оны біріктіруге әкеледі. Дегенмен, процестердің параметрлерінің айырмашылығы жылуэнергетикалық сипаттамалардың айырмашылығы болып табылады, сапа талаптарына, геометриялық параметрлерге, өнімнің мақсатына байланысты ұнтақтың толық және толық емес балқытылған технологиялары бір қондырғыда орын алады, ал қысқартулар элементтері түбегейлі мәнге ие болмайды. Пайдаланылмаған ұнтақты қайта пайдалануға болады. Ұнтақ мөлшерінің баяу салқындауы өнім пішінінің айтарлықтай деформациясын болдырмайды. Герметикалық камераға инертті газ – азот немесе аргон беріледі. Ұнтақтарды қыздыру кезінде тотығуды болдырмау үшін, герметикалық камераға инертті газ-азот немесе аргон беріледі. Ұнтақты материалды өзгерту бүкіл камераны тазалауды қажет етеді.

SLM технологиясы жоғары қуатты лазерлерді пайдаланады. CO₂ лазерлер пластиктер үшін, металдар үшін – талшықты қолданылады. Керамиканың химиялық құрамына байланысты лазердің екі түрі пайдаланылуы мүмкін. Ең заманауи қондырғылардағы өндірушілер сәуле шығару қуатының деңгейін 1 кВт-қа дейін жеткізді. (X-line 2000 R фирманың ConceptLaser, Германия; EOSINT M400 фирманың EOS, Германия). Бұл өнімділікті айтарлықтай арттырады. Негізінен SLM-машиналар бір компонентті ұнтақтарды пайдаланады. Алайда көп компонентті ұнтақтармен де жұмыс істеуге болады. Олар ұнтақтардың қоспасы немесе жеңіл балқитын қабығы бар баяу балқитын

материалдың ұнтақтары болуы мүмкін. Осы типті ұнтақтарда лазерлік сәулелену бөлшектер арасындағы кеңістікті толтыратын қабықты балқытады, және оларды бекітеді. Қазіргі заманғы қондырғыларда кең мүмкіндіктер болса да, ұнтағы бар бір бункерді пайдалану құрамы әртүрлі қабаттардың ауыспалы өлшемімен градиенттік құрылымдарды немесе композицияларды құруға мүмкіндік бермейді. Сондай-ақ, ұнтақтардың пішіні мен өлшемі бойынша айтарлықтай шектеулер бар, яғни ұнтақ 20-100 мкм шегінде мінсіз дөңгелек нысаны мен өлшемі.

Бұл шектеулер ұнтақ бағасына әсер етеді. SLM қондырғыларын өндірушілер бос орынды ұстап тұруға ұмтыла отырып, басқа компаниялардың ұнтақтарын өз қондырғысында пайдалануды шектейді. Мұндай қажеттілік арзан емес ұнтақ қоспаларының құнын арттырады. Осылайша, отандық өнеркәсіпте осы технологияның барлық артықшылықтары мен сұранысына қарамастан, оның жүзеге асырылуы шетелдік компаниялардың шектеулеріне байланысты өте қиын. Өндірісті дамытудың қазіргі кезеңінде өнеркәсіпке жаңа техника мен технологияларды тұрақты және жылдам енгізу өзекті міндет болып отыр. Бір үлгідегі бұйымдардың көп мөлшерінің қажеттілігі біртіндеп жойылатынын ескеру керек. Партия көлемі қысқарып, олардың әртүрлілігі артып келеді. Бұйымдардың геометриясы, өлшемдері, материалдары өзгереді. Демек, жабдықты модификацияланған бұйымдарға жиі ауыстыру қажет. Өндірістің дәстүрлі әдістері тұрақты өзгерістер қарқынына төтеп бере алмайды.

Тез прототиптеу әдістері өндірісті жаңа өнім шығаруға дайындау мерзімін қысқарта отырып, туындаған мәселені шешуді ұсынады. Әртүрлі қолданылатын материалдардың көп саны, бұйымдардың қасиеттерінің кең спектрі, өнеркәсіптік қондырғыларды қайрау өндіріс деңгейін сапалы көтеруге және жетілдіруге мүмкіндік береді. Шетелде RP-технологияларды енгізу толық қарқынмен жүріп жатыр және бұл олардың тиімділігін растайды.

Жоғарыда қарастырылған мәселелердің маңызды міндеті өнеркәсіптік ауқымда олардың прототиптерін емес, дайын өнімдерді тезірек шығару болып табылады.

Осы күнге дейін металл өнеркәсіпте, құрылыста, ауыл шаруашылығында және адам өмірінің басқа да түрлерінде қолданылатын материалдардың бірі болып қалатыны белгілі. Бүгінде пластик неғұрлым танымал материалға айналғанына қарамастан, көптеген салаларда металдар мен олардың қорытпалары алмастырылмайтын болып табылады. Жылдам прототиптеудің көптеген әдістері металдармен жұмыс істемейтіні, көрсетілген болатын.

Ал бөлшектерді селективті лазерлі біріктіру немесе балқыту әдісімен өсіру технологиясы қалғандарының арасында анық бөлінеді.

СЛБ және ұқсас технологиялар бойынша негізгі артықшылығы – балқу нүктесінен сәл төмен температураға дейін қызған ұнтақтың көлеміндегі өсірілген бөліктің орналасуын анықтау.

Бөлшектерді біркелкі және баяу суыту деформацияны айтарлықтай азайтады. Өсіру жылдамдығы айтарлықтай жоғары, бұл ретте модельдің дәлдігі мен сапасы жоғары деңгейде сақталады. Жаңа өнімді мұндай қондырғыда қайта

баптау еш мәселе туғызбайды. Егер материалды ауыстыру қажеттілігі болмаса, онда барлық өзгерістер тек бағдарламалық деңгейде болады. Қазіргі заманғы қондырғылардағы материалды ауыстыру процесіне қажетті уақытты қысқарту мақсатында көп көңіл бөлінген.

1. Металл ұнтақтарды селективті лазерлік балқыту процесі бірлі-жарым көлемдер мен тұтас бұйымның жоғары сапасы мен тұрақтылығын қамтамасыз ететін параметрлердің үлкен санының мәндерінің тар диапазоны бар күрделі процесс болып табылады. Лазерлік сәуленің қуаты, лазерлік сәулемен сканерлеу жылдамдығы, ұнтақтың пішіні мен өлшемі, лазерлік сәуленің диаметрі сияқты параметрлердің әсерін зерттеу – белгілі бір қондырғылар типтеріне және ұнтақ материалдарының маркаларына жиі байланған бытыраңқы болып табылады. Параметрлер шекарасын зерттеу және олардың өзара байланысы осы технологияның мүмкіндіктерін терең түсіну үшін өзекті міндет болып табылады.

2. Сапалы бұйымды алудың маңызды талабы деформацияға, жарықтарға және басқа да ақауларға әкелетін термиялық кернеулердің болмауы болып табылады. Процестің термиялық циклі мен температуралардың таралуын зерттей отырып, бұйымда пайда болатын кернеулер мен қасиеттерді болжауға болады. Қарастырылып отырған геометрияға байланысты - жұқа қабырғалар, тығыз бөлшектің шекарасы және қоршаған ұнтақ немесе тығыз бөлшектің өзегі – температураның таралу сипаты әртүрлі болады. Бірнеше типтік жағдайлар үшін өсірудің технологиялық параметрлері мен стратегиясын оңтайландыра отырып, кез келген бұйымды қарапайым бұйымдарға бөле отырып, өсіру процесін оңтайландыруға болады.

2.4 Металды тікелей лазерлі біріктіру DMLS

DMLS (Direct Method of Laser Sintering) – EOS компаниясымен жасалған, аддитивті өндірістің металл бұйымдарының технологиясы яғни тікелей лазермен біріктіру. Физикалық модельді тұрғызу үшін STL форматындағы үшөлшемді модель қолданылады. Үшөлшемді модель жұқа қабаттарға виртуальды бөлу үшін қажет, ол қабаттар басып шығаратын құрылғының қабатымен сәйкес келеді. Дайын тұрғызылатын файл басып шығару кезінде сызбалардың жиынтығы ретінде қолданылады. Металды ұнтақты синтездеуге арналған қыздыру элементі ретінде салыстырмалы түрде жоғары қуаттың талшықты-оптикалық лазерлері - шамамен 200 Вт қолданылады. Кейбір құрылғыларда жоғары өнімділік үшін жоғары сканерлеу жылдамдығымен қуатты лазерлер қолданылады. Өнімділікті арттырудың тағы бір жолы бірнеше лазерлерді қолдану.

DMLS күрделі геометриялы бүтін бөлшектерді жасауға мүмкіндік береді. Ұнтақты материал жұмыс камерасына бір қабатқа қажет мөлшерде беріледі. Арнайы валик берілген материалды тегістейді әрі артық материалды камерадан тазалайды, осыдан кейін лазерлі бастиек ұнтақты бөлшектреді пісіре бастайды. Қабат салынып біткен соң, процесс қайталанады: валик жаңа материал береді, лазер келесі қабатты пісіруді бастайды. Бұл технологияның ерекшелігі өте

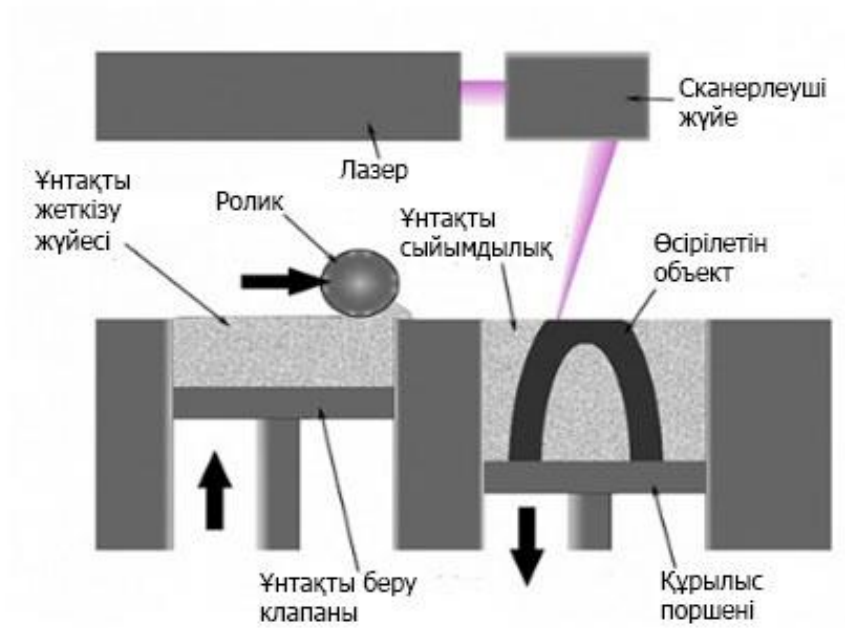
жоғары басып шығару мүмкіндігі- орташа 20 микрон. Салыстырмалы түрде, FDM технологиясын қолданатын приетерлерде орташа қалыңдық 100 микронды құрайды. Процестің тағы бір ерекшелігі конструкцияның жоғарғы элементтері үшін тіректің қажетсіздігі. Пісірілмеген ұнтақ басып шығару кезінде камерадан шығарылмай, сонда қалады.

Осылайша, әрбір кезектегі қабат тіреу беттеріне ие болады. Қолданылмаған материалдар жұмыс камерасынан жиналып алынып қайтадан пайдаланылады. DMLS өндірісін қалдықсыз деп есептеуге болады, әсіресе қымбат материалдарды қолдану барысында. Технологияда бөлшектің геометриялық күрделілігі бойынша шектеу жоқ, ал жоғары дәлдік механикалық өңдеудің қажеттілігін төмендетеді.

DMLS технологиясы дәстүрлі өндірістік әдістермен салыстырғанда бірнеше артықшылықтарға ие. Күрделі геометриялы бөлшектерді жылдам өндіру мүмкіндігі. Өндіріс қалдықсыз болып табылады. Жұмыс камерасының өлшемінің шектеулігіне байланысты бір уақытта бірнеше модельді жасау мүмкіндігі бар. Модельді құрастыру өндіріс циклі бірнеше айды алы мүмкін құю процесімен салыстырғанда бірнеше сағат уақытты алуы мүмкін әрі басты артықшылығының бірі. Екінші жағынан, лазерлік синтездеудің бөлшектері монолитті қасиеттерге ие емес, демек, құйылған сынамалар немесе дәстүрлі әдістермен өндірілген бөлшектер сияқты бірдей беріктігі сипаттамаларына жете алмайды.

DMLS өндірістің дәстүрлі әдістерінің күрделілігіне қол жеткізе алмайтын қатты бөлшектердің ішкі құрылымдарын салу мүмкіндігімен өнеркәсіпте белсенді қолданылады. Кешенді геометриялы бөлшектер компоненттерден емес, бүтін жасалуы мүмкін, осынысымен өнім сапасы мен құнын оңтайландырады. DMLS арнайы құралдарды (мысалы, қалыптар) талап етпейтіндіктен және дәстүрлі әдістерден айырмашылығы, бұл технологияны қолданатын шағын партияларды өндіру дәстүрлі әдістермен салыстырғанда әлдеқайда тиімді. DMLS технологиясы әртүрлі салаларда, соның ішінде аэроғарыштық, стоматологиялық, медициналық және т.б. салаларда шағын және орта көлемдегі дайын өнімдерді өндіру үшін қолданылады.

Қолданыстағы қондырғылардың құрылыс алаңының типтік мөлшері 250x250x250 мм құрайды, бірақ технологиялық шектеулер жоқ. DMLS жаңа өнімнің жасалу уақытын қысқарта отырып жылдам протиптеу үшін әрі өндірісте кіші партиялардың өзіндік құнын төмендету үшін және күрделі геометриялы бұйымдарды құрастыруда жеңілдету үшін қолданылады. Қытайдың солтүстік-батыс политехникалық университеті әуе кемелерінің элементтерін өндіру үшін DMLS жүйесін пайдаланады. EADS компаниясы жүргізген зерттеулер сонымен қатар DMLS технологиясын пайдалану кезінде шығындар мен қалдықтарды қысқартады [26].



Сурет 35 – DMLS қондырғысы

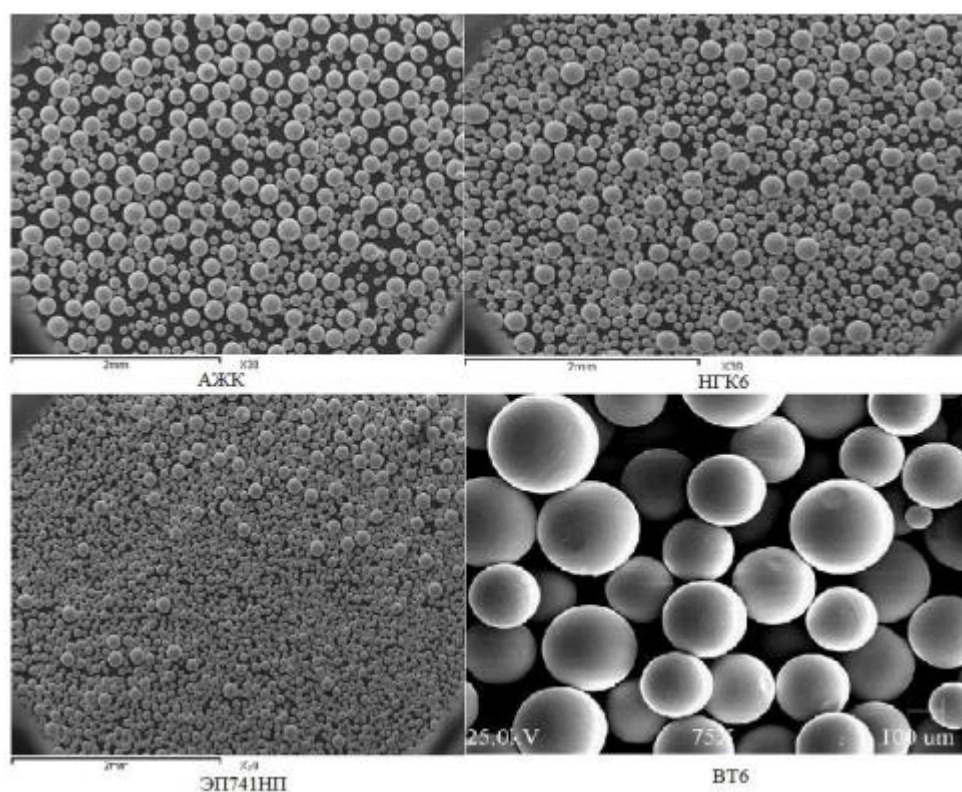
Кесте – 5 Түйінді аддитивті технологияға сипаттама

	Селективті лазерлік балқыту (SLM) Металды тікелей лазерлі біріктіру (DMLS)	Селективті лазерлі біріктіру (SLS)	Лазерлі стереолитография (SLA)
Сипаттама	Ұнтақталған металдан жасалған материалдарды синтездеу немесе балқыту	Ұнтақталған металдан жасалған материалдарды біріктіру	Композицияны полимерлеу, сәулеленумен жасалған бастамашылық фото
Лазерлер	YAG/Талшықты 1064 нм, 1070 нм (≥ 400 Вт)	CO ₂ - 10.6 мкм (әдетте, < 100 Вт)	УК-355 нм (<10 Вт)
Материалдар	Металдар (Al, болат, Ni, Ti, құймалары)	Нилон, полимерлер	Шайырлар
Өнімдер	Дайын өнім Прототиптер	Іріктелген дайын өнім Модельдер мен прототиптер	Модельдер мен прототиптер
Негізгі ерекшеліктері	Күрделі ішкі құрылым, аяқталған функционалдық өнім, патенттелмеген материалдар	Механикалық және термиялық қасиеттері SLA қарағанда жақсы, тозуға төзімді, күрделі ішкі құрылым, патенттелген материалдар	Жоғары рұқсат және дәлдік, тамаша беттік өңдеу, патенттелген материалдар

2.5 Селективті лазерлі біріктіруде пайдаланылатын материалдар

SLS технологияларындағы пайдаланылатын материалдардың ауқымы өте кең. Кейбір SLS құрылғылар барабан-шар диірменінің көмегімен өндірілетін біртекті ұнтақты пайдаланады, бірақ көп жағдайда баяу балқитын ядросы және балқу температурасы төмен материалдан жасалған қабығы бар композитті түйіршіктер қолданылады.

Шығыс материалдарын таңдау тұрғысынан SLS өзінің әмбебаптығымен ерекшеленеді, себебі мұнда түрлі полимерлер (нейлон, полистирол және т.б.), металдар мен олардың қорытпалары (болат, титан, бағалы металдар, кобальт, никель, темір және алюминий негізіндегі қорытпалар, бүгінгі күні кең номенклатураға ие), сондай-ақ композиттер мен құмды қоспалар кіреді. SLS-те қолданылатын материалдардың үлкен көлемін талдағаннан кейін, SLS-ді пайдалана отырып, бөлшектерді жасау перспективалы және үнемі дамып келе жатқан технология болып табылады деп қорытынды жасауға болады [27].



Сурет – 36 SLS технологияларында пайдаланылатын металл ұнтақтарының қорытпалары

Шамамен жиырма жыл бұрын декард Карл әзірлеген селективті лазерлік біріктіру (СЛС) технологиясының көмегімен алғашқы бұйымдар басып шығарылды. Ол металл ұнтағын пісіруге арналған қатты лазерді пайдаланды. Үдерістің өзі ұнтақ қабатын жағу және оны лазермен біріктіру, материал орналасқан платформаны түсіру және келесі қабатты жағу болып табылады, содан кейін процесс өнім дайын болғанша қайталанады [28].

СЛС артықшылығы басқа жылдам прототиптеу технологияларына карағанда материалдардың кең спектрін пайдалану болып табылады. СЛС технологиясы мен ұнтақ материалдарын пайдаланатын жетекші компаниялар 3D Systems, EOS және Phenyx Systems болып табылады. 3D Systems компаниясы СЛС технологиясын пайдалана отырып, мастер–үлгілерді, концепт–модельдерді және дәл прототиптерді, сондай-ақ келесі материалдардан жасалған дайын бұйымдарды дайындайды:

- Duraform FR 100 Plastic – галогенсіз және сурьмасыз отқа төзімді инженерлік пластик.

- Duraform HST Composite-қатты, берік және жылуға төзімділігі бар жақсартылған инженерлік пластик.

- Duraform® EX Natural Plastic және Duraform® Ex Black пластмасса - полипропилен пластиктері мен ABS пластиктің беріктігі бар табиғи немесе қара түсті әсерге төзімді инженерлік пластик.

- Duraform GF Plastic- жоғары жылуға төзімді және изотропты қасиетті жақсы қатандығы бар инженерлік пластик.

- Duraform Flex Plastic-резеңкеге ұқсас, жақсы беріктігі және үзілуге төзімділігі бар материал.

- Castform PS Plastic-стирол негізінде құюға арналған материал.

- LaserForm ST-100-жоғары беріктігі мен ыстыққа төзімділігі бар металл материал [29-30].

EOS (Electro Optical Systems) фирмасы- P, M және S индекстері бар материал түрі бойынша арнайы қондырғылар шығаратын СЛС технологиясын пайдаланатын әлемдік көшбасшы болып табылады. P сериялы қондырғыларға арналған материалдар:

- PA 2200-жоғары механикалық және температуралық әсерлерге төзімді ұнтақ материалы.

- PrimePart ST (PEBA 2301) – полиэфирамид с отличными механическими характеристиками, химической стойкостью и стабильностью при длительной работе.

- PrimePart ST (PEBA 2301) – химиялық төзімділігі және ұзақ жұмыс кезінде тұрақты, механикалық сипаттамалары бар өте жақсы полиэфирамид.

- PA 1101 - полиамид 11 жоғары соққылық беріктігі және үзілуге созылуы, сондай-ақ жоғары температуралық төзімділігі бар.

- PA 3200 GF-шыны толтырылған полиамид 1, жақсы созылу кезінде тамаша қатандыққа ие.

- Alumide - беріктігі жоғары, алюминиймен толтырылған, полиамид 12.

- PA 2210 FR-отқа төзімді ақ түсті полиамид 12.

- CarbonMide - қара полиамид 12, көмір талшығымен толтырылған, ерекше механикалық қасиеттерге ие, экстремалды беріктікпен және қаттылықпен сипатталады.

- PEEK HP3-механикалық, физикалық және химиялық үздік қасиеттері бар [31].

M сериялы қондырғыларға арналған материалдар:

- DirectMetal 20-жақсы механикалық қасиеттері бар қола негізіндегі ұсақ дисперсті мультикомпонентті ұнтақ;
- EOS StainlessSteel GP1-өте жақсы коррозиялық төзімділігімен және механикалық қасиеттерімен, әсіресе лазерлік өңдеу кезінде икемділігімен сипатталатын ұнтақ түріндегі легирленген тот баспайтын болат;
- EOS MaragingSteel MS1-тамаша механикалық сипаттамалармен сипатталатын ұнтақ түріндегі мартенситті-ескіруші болат;
- EOS CobaltChrome MP1-тамаша механикалық қасиеттерімен, коррозиялық және температуралық төзімділігімен сипатталатын аралас ұсақ дисперсті ұнтақ;
- EOS NickelAlloy IN625-бұл созылу, үзілу және ағымдылық шегі жоғары беріктігімен сипатталатын ұсақ дисперсті ұнтақ түріндегі никельді ыстыққа төзімді қорытпа;
- EOS Aluminium AlSi10Mg-жақсы құю қасиеттері бар алюминий қорытпа ұнтағы [32].

S сериялы қондырғыларға арналған материалдар:

- Ceramics 5.2-фенолоальдегидті полимері бар алюмосиликатты құм;
- Quartz 4.2 / Quartz 5.7-фенол полимері бар кварц құмы [33];
- Phenix Systems компаниясы түйіршіктелген ұнтақ түріндегі материалды қолдана отырып, өз өндірісінің металдарын біріктіруге арналған 3D принтерлер жасаумен айналысады [34].

Пайдаланылатын материалдар тізіміне кіреді:

- Maraging 1.2709-өте жақсы механикалық қасиеттерінің болуымен сипатталатын және қысыммен құю, қалыптау, экструзия, сондай-ақ жоғары өнімді өнеркәсіптік және инженерлік бөлшектер үшін құрал-саймандарды дайындау үшін жарамды ұнтақ түріндегі беріктігі жоғары болат [35].
- АК Steel 17-4 PH - мартенситті нығыздалған тот баспайтын болат, ол жоғары беріктікті, механикалық қасиеттердің жақсы коррозиялық төзімділігін қамтамасыз етеді [36].
- Ti6Al4V - алюминийдің ванадийден және титаннан тұратын ең көп таралған материал, биотехнологияда, атап айтқанда, протездеу саласында қажет материал [37].

СЛС-де қолданылатын материалдардың көп санын талдай отырып, СЛС-ді пайдалана отырып, бөлшектерді жасау перспективалы және тұрақты дамып келе жатқан технология болып табылады деген қорытынды жасауға болады.

2.6 SLS әдісімен дайындалған бұйымдардың өзіндік құны

Селективті (іріктеп) лазерлік біріктіру (СЛС) аддитивті технологиялардың маңызды бағыты болып табылады, себебі сандық деректер негізінде күрделі формадағы бұйымдарды тез алуға мүмкіндік береді. Келесі схема бойынша дайындау процесі өтеді: алдымен ракель немесе арнайы роликтің көмегімен жұмыс платформасының бетіне термопластикалық ұнтақтың жұқа қабаты

жағылады (3D принтер конструкциясына байланысты). Содан кейін лазер сәулесі ағымдағы қабаттағы 3D-модельдің қимасына сәйкес ұнтақ қабатының бөлігін іріктеп сызады. Лазердің әсер ету процесінде ұнтақ бөлшектерінің жентектелуі және болашақ бұйымның қабатының қалыптасуы болады. Қабат бөлігін біріктірген соң, жұмыс платформасы қабаттың қалыңдығына сәйкес қадаммен төмен түсіріледі. Бұдан әрі цикл дайын өнімді алғанға дейін қайталанатын [38]. 3D принтер схемасы 36-суретте көрсетілген [38].

Сипатталатын әдістің ерекшелігі бір циклда әртүрлі көлем мен геометрияның бірнеше бұйымдарын жасауға болады. 3D-принтерді прототиптерді, мастер-модельдерді, сондай-ақ құйма форманың қалыптаушы ендірмелерін алу үшін СЛС технологиясы негізінде пайдаланады [39].

Прототиптер конструкцияның сыртқы көрінісін және эргономикасын бағалауға, құрастырылған өнімді жинау және бөлшектеудің ыңғайлығын тексеруге, жұмыс және технологиялық кеңістіктерді реттеуге, өнімнің жұмысын тексеруге және презентацияларға арналған өнімдердің үлгілерін алуға мүмкіндік береді.

Егер Бұйымның тәжірибелік сериясын өндіру орынды болмаса, онда прототиптер ТПМ имитациялайтын полиуретандық композициялардан (термопластикалық материалдар) бұйымдарды құюға болатын серпімді силиконды қалыптарды жасау үшін мастер-модель ретінде пайдаланылады. Инженерлік фирмалар штаттағы ТПМ-дан бөлшектердің пилотты серияларын құю үшін қалыптаушы құю формаларын СЛС технологиясымен дайындауды ұсынады, бұл силикон формаларының алдында артықшылық береді [39].

Полимерлі машина жасауда өзіндік құнды есептеудің қолданыстағы әдістемесі сериялық шығарылатын бір типті бұйымдарды есептеу үшін қолданылады, бірақ СЛС технологиясы үшін қолданылмайды. SLS әдісімен дайындалатын бұйымдардың өзіндік құнын бағалау үшін құю бұйымының өзіндік құнын есептеу үшін Дувидзонның сипатталған әдістемесіне сәйкес жасалған есептеу әдістемесі ұсынылады [40]. Есептеуге кіріспес бұрын негізгі параметрлерді, атап айтқанда бұйымдардың көлемін, олардың саны мен бұйымдарды біріктіру процесіне жұмсалатын уақытты анықтау қажет. Қажетті параметрлерді АЖЖ арқылы табуға болады. Бұдан әрі есептеуге кірісеміз. Біріншіден, C_o 3D принтері жұмысының бір циклі үшін 1 см^3 бұйым жасау шығындарын есептеу қажет.

$$C_o = \frac{C_{слс} T_c}{\sum(V_{ui} N_{ui})}, \quad (1)$$

мұнда $C_{слс}$ – 3D принтердің машина уақытының құны, тг/сағ;

T_c – біріктіру процесіне жұмсалатын уақыт, сағ;

V_{ui} – i -бұйымының көлемі, см^3 ;

N_{ui} – i -бұйымының дана саны.

i -ші бұйым деп жалпы сипаттамалары бар, көлемі, геометриялық пішіні және т. б. сияқты бір топқа жататын бұйым сипаттамаларын айта кеткен

жөн. Одан әрі C_{ci} біріктіру құнының шамасын есептейміз. СЛС әдісімен дайындалған бұйымдардың құнын есептеу кезінде бөлшек көлемінің бірлігіне байланыстыра отырып, өзіндік құнын бағалау жөн. Осылайша, C_{ci} біріктіру құнының шамасын мынадай формула бойынша есептейді

$$C_{ci} = V_{ui}C_o, \quad (2)$$

мұнда V_{ui} – i -бұйымының көлемі, см^3 ;

C_o – 3D принтердің бір жұмыс циклі үшін 1 см^3 бұйым жасауға арналған шығындар ($\text{тг}/\text{см}^3$).

Содан кейін материалға кететін шығынның құнын C_{mi} есептейміз. Материал шығынының құны m_i бұйымының массасы және G 1 кг материалдың құны сияқты параметрлерге байланысты. 3D-принтерде циклді қайта дайындау кезінде материалды жоғалту орын алады. Себебі, ол принтердің конструкциясына байланысты, атап айтқанда оның жұмыс платформасында. Материал жұмыс платформасының тығыздағышына кіреді және оларды қайта пайдаланудан бұрын оны алып тастау керек. Өнеркәсіптік шаңсорғыштың көмегімен ұнтақты жоюды жүзеге асырады. Мұндай m_n материалының жоғалуын ескеру қажет. Жоғарыда аталғандардың барлығын ескере отырып, материалдық шығындар құнын бағалау үшін өрнекті мына түрде жазуға болады:

$$C_{mi} = (m_{ui} + m_{ni})g, \quad (3)$$

мұнда m_{ni} – бір бұйымға келетін материал шығындарының үлесі, кг.

Бастапқы өлшемдерде бұйым салмағы жоқ болғандықтан, (3) бізге белгілі $m=V\rho$ формуласына қоямыз. Сонда:

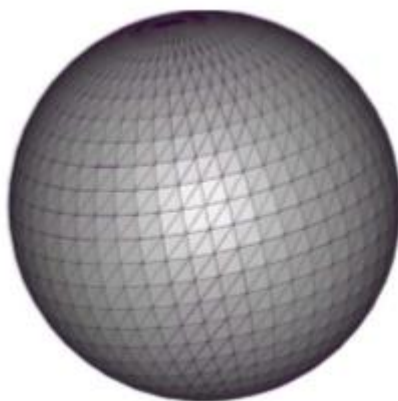
$$C_{mi} = (V_{ui} + V_{ni})g\rho \quad (4)$$

Бір өнімге материалдық шығынның үлесі мына формула бойынша есептеледі:

$$V_{ni} = V_n \frac{V_{ui}}{\sum(V_{ui}N_{ui})} \quad (5)$$

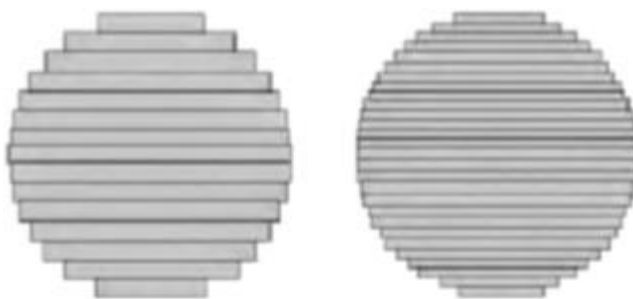
3D принтер бұйымды жасау үшін орындау механизміне тапсырма жазу керек. Бастапқы 3D модельдерді басқару бағдарламасында құрастырғанға дейін STL форматына (Stereo Lithography) түрлендіру керек. Содан кейін үш өлшемді модельдердің беті аралас үшбұрыштар (полигондар) жиынтығы болып табылады (сурет-11). Бастапқы 3D моделінде ақаулар болмаса да, айырбастау нәтижесі әрқашан қанағаттанарлық емес болып шығуы мүмкін.

STL-файлдағы саңылаулар, нормальдер, жабылатын ұяшықтар және т.б. сияқты қателер туындайды. Оператор осы кемшіліктерді түзетуге уақыт жұмсауы қажет. Түзетудің қажеттілігі, мысалы, STL-файлдағы саңылау сияқты қателік кезінде, бұйымды қателері бар қабаттарда өсіру процесінде лазердің қималар шегінен шығуы мүмкін, бұл өз кезегінде, құрылым аймағындағы үш өлшемді модель қимасының шектеуші контурынан тыс барлық ұнтақ қабатының біріктірілуіне әкеледі. Оператор 3D үлгілеріндегі барлық қателерді жойғаннан кейін ғана басқарушы бағдарламаны жазуға кіріседі.



Сурет – 37 Триангуляция көмегімен бетті ұсыну

СЛС технологиясы негізіндегі 3D-принтерлер материалдар маркаларының шектеулі ассортименті бар, сондай-ақ алынатын бұйымдардың беті айқын кедір-бұдырлығы бар. Жұмыс камерасында бағдарлануына, қабаттың қалыңдығына байланысты бұйым бетінің пішіні айқын сатылы болуы мүмкін. (сурет 38) [41].



Сурет – 38 Қисық беттің сатылы түрі

Жоғарыда сипатталған кемшіліктер тапсырыс берушінің талаптарын әрдайым қанағаттандырмайды, сондықтан қосымша өңдеу жүргізуге тура келеді. Сатылықты жою үшін әдетте тығындағыш немесе тегістегіш қолданылады, бірақ мұндай өңдеу геометриялық өлшемдердің өзгеруіне әкеледі, бұл алдын ала келісілуі тиіс. Материалдың түсі шектеулі, бұйымға қажетті түс беру үшін оны бояу қажет. Демонстрациялау үшін бұйымдарды пайдалану кезінде СЛС әдісімен дайындалған полиамидтен жасалған бұйымдар беттің ластануына бейім

екенін ескеру қажет. Бұйымды бояу мәселені жоймайды, сондықтан бояу алдында бетіне топырақ жағылады. Жоғарыда аталғандар белгілі бір дағдылар мен ақшалай шығындарды талап етеді. Қосымша шығындар мынадай формула бойынша есептеледі:

$$C_{дi} = \frac{C_{нд} + C_{до}}{V_{ui}N_{ui}}, \quad (6)$$

мұнда $C_{нд}$ – оператордың атқарушы тетіктің деректерін дайындауға арналған шығындар, тг.;

$C_{до}$ – өндеуден кейінгі шығындар, тг.

i-ші бұйымның өзіндік құны үш құнды құрайды және мынадай формула бойынша есептеледі:

$$C_{ui} = C_{mi} + C_{ci} + C_{дi}, \quad (7)$$

мұнда C_{mi} – i-ші бұйымға жұмсалатын материалдың құны;

C_{ci} – i-ші бұйымға келетін біріктіру құны;

$C_{дi}$ – бұйымға келетін атқару механизмінің деректерін дайындауға және пост-өндеуге арналған қосымша шығындар.

(7) өрнекке (1), (2), (4), (6) формулаға қойып және өнімнің толық құнын аламыз:

$$C_{ui} = (V_{ui} + V_{ni})g\rho + V_{ui}C_o + \frac{C_{нд} + C_{до}}{V_{ui}N_{ui}}$$

Осылайша, полимерлік бұйымдардың өзіндік құнын селективті лазерлі біріктіру әдістерімен есептеу тәсілдері әзірленді.

2.7 Құю білігін жасау технологияларының салыстырмалы талдауы

Кесте – 6 Құю білігін жасау технологияларының салыстырмалы талдауы

Технология	SLA және SLS	СББ бар білдек	Құм-полимерлі 3D - принтерде
Құны, тг.	2 672 544 тг	1 237 544	258,3
Уақыт, күн	9	24	1

Технологиялық шектеулерді еңсеру және жобалау мен өндіру мерзімдерін жеделдету үшін соңғы уақытта машина жасаудың әлемдік көшбасшылары аддитивті технологияларды белсенді қолданады. Қабаттап синтездеу әдістерін пайдалана отырып құю формаларын құру дәстүрлі технологиялардың технологиялық шектеулерін айналып өтуге және мынадай операциялардан бас

тарта отырып технологиялық тізбекті қысқартуға мүмкіндік береді: металдан немесе композиттік материалдардан мастер-модель жасау, құю жүйесі мен пайдасын жасау, форманың бөліктерін қалыптау (мастер-модельді және құю жүйесін опокаға орнату және қоспамен жабу). Бұл өндіріс уақытының қысқаруына және нысанның құнының тәртіпке төмендеуіне әкеледі. Мысалы, құймалық өзекті салқындатудың ішкі арналарын әртүрлі әдістермен қалыптастыру үшін құю өзегін жасауды қарастырайық (кесте 6).

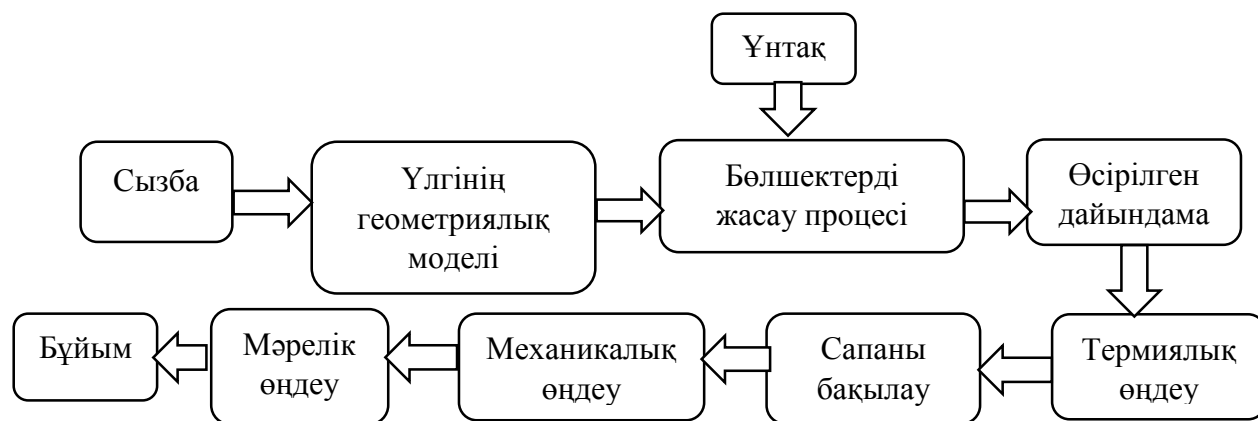
Келтірілген мысалдан көрініп тұрғандай, әзірленген технологияны пайдалана отырып, нысанды дайындау құны кез келген басқа технологияға қарағанда үш рет аз. Мұндай экономикалық әсерге 3D-принтер бірден сандық үлгі бойынша құю пішінін жасайды. Құйма формасының сандық моделі қабаттарға бөлінеді, 3D-принтерге ауыстырылады, онда қатайтқыш тапсырмаға сәйкес алдын ала дайындалған құм қоспасының қабатына салынады. Құрылыс аймағында жұмыс істеу нәтижесінде сандық үлгіні дәл қайталайтын құм қоспасының қатырылған бөлігі құрылады. Қабаттап лазерлік балқыту (біріктіру) бағыты бойынша бүгінгі күні темір негізіндегі ұсақ дисперсті металл ұнтақтарынан (316L баспайтын болат; H13 аспапты болат), титан негізіндегі (Ti6Al4V, Ti6Al7Nb), никель және кобальт негізіндегі (CoCr, CoCrMo, Inconel 625, Inconel 718), алюминий негізіндегі (AlSi10Mg, AlSi12) бөлшектер өндірісі техникалық игерілген болып табылады. Бұл ретте, сирек ерекшеліктерден кейін қолданылатын ұнтақ материалдарының тізбесін технологиялық қондырғының нақты моделін өндіруші береді.

Жеткізілетін импорттық лазерлік технологиялық қондырғылар металл ұнтағының нақты түрлерінің шектеулі номенклатурасына (қатаң анықталған дисперсиялыққа, белгілі химиялық құрамға) бапталған. Қолданыстағы селективті лазерлі балқыту қондырғыларында бөлшек ұнтақтың бір түрінен жасалады, бір ұнтақ түрінен басқа ұнтаққа көшу қондырғыны мұқият тазалауды талап етеді. Модельдердің біріне опция ретінде SLM Solutions компаниясы ұнтақтың екінші түрімен жұмыс істеуге жедел (бір бөлшекті өсіру аясында) өтуге арналған жабдық жиынтығын ұсынады.

2.8 Селективті лазерлі біріктіру технологиясының сапасы мен экологиясы

Күрделі бөлшектерді жасау кезінде прототиптеу жылдамдығы үлкен рөл атқарады. Прототип – бұл бұйымның типтік қасиеттерін бекітетін және әрі қарай зерттеу үшін пайдаланылатын үлгісі. Құрал-саймандарды және инжекционды қалыптарды өндіруге уақыт пен ресурстарды жұмсамай, сандық моделіне дереу өзгерістер енгізуге мүмкіндік бар [42]. Аддитивті технологиялардың (АТ) көмегімен химиялық құрамы немесе металл ұнтақтарының құрылымы бойынша әр түрлі материалдардан жасалған бөлшектер жасауға болады. Конструкцияның зақымдалған бөліктерін материалмен толтыру арқылы жөндеу әдістемелерін әзірлеуде АТ қолдануға болады [43]. АТ пайдалану кезінде оны бөліктерден

жинау емес, тұтас бір бөлшекті жасау мүмкіндігі жиі пайда болады. Құрылымдары жеңіл болған соң, авиациялық өнеркәсіпте үлкен рөл атқарады. Бөлшектерді аддитивті технологиялар бойынша дайындаудың мәні платформаға ұнтақты материалды себу және берілген қалыңдықтың материалының тегіс қабатын жасау үшін оны роликпен немесе пышақпен бөлу болып табылады. Бұдан әрі CAD-модельдің ағымдағы қимасына сәйкес лазермен ұнтақты селективті өңдеу жүргізіледі. SLS процесінің көрнекі схемасы 35 суретте көрсетілген.



Сурет – 39 СЛС процесінің сұлбасы

Селективті лазерлік біріктіру әдісі бойынша дайындалған, беріктігі 2-12 % - ға құйылған бұйымдар. Мұндай бөлшектердің беріктігі дәндер мен микроқұрылымдық құрамдастардың шағын өлшемімен байланысты. Осыны ескере отырып, бұйымның қасиеттерін кеңінен өзгертуге болады. Мысалы, кристалдаудың температуралық жағдайларын өзгерту, легирлеу, модификаторларды балқытуға енгізу, термоциклдеу, термомеханикалық өңдеу және т.б. сияқты әдістерді пайдалана отырып, металдар мен қорытпалардың беріктігін айтарлықтай арттыруға қол жеткізуге болады [44].

Осылайша, бөлшекті «басып шығару» алдында және оны қозғалтқышқа қоймас бұрын, көп қосымша зерттеулер жүргізу керек.

Бөлшектермен бір мезгілде, сонымен қатар, дайындау технологиясы әзірленеді [45]. Бүгінде сапаны арттыру мәселесі қойылмаған заманауи өндірісті ұсыну қиын. Материалдың әрбір партиясының сапасын бақылау жеткізуден басталады (химиялық қасиеттері, гранулометриялық құрамы) және жұмыстың талдауымен аяқталады. Барлық осы параметрлерді зерттеу механикалық қасиеттерді жақсартуға және өндіріс ассортиментін кеңейтуге бағытталған. Сапаны басқару жүйесінің кешенді тәсілі экономикалық тиімділікті арттырудың негізі болып табылады. Сала түрі мен қызмет саласына қарамастан әрбір кәсіпорын бәсекеге қабілетті болып қалу және нарықта өзінің беделін қолдау үшін өндірісті жақсарту үшін оның өнімдерін дайындау сапасын бағалауды қажет етеді. Сапаны бақылау әдістерін пайдалану кәсіпорынның өндірістік

процестерін жақсартады, ал қазіргі заманғы жабдық өндіріс процесінде бақылаудың әртүрлі міндеттерін шешу үшін тиімді құрал болып табылады [46].

Селективті лазерлі біріктіру процесі үшін қолданылатын кейбір бақылау әдістерін қарастырайық:

- Рентгендік бақылау;
- Компьютерлік томография;
- Лазерлік 3D-сканерлеу;
- Геометриялық параметрлерді бақылау;
- Қатты метрия.

Өнімнің сапасы жоғары технологиялық жабдықтарға, ғылыми прогреске және үздіксіз жақсартуға тікелей байланысты екенін атап өткен жөн. Әлбетте, өнімнің сапасы жолындағы ең бірінші кезең-ұнтақ сапасының сипаттамасы. Кейбір маңызды әсер етуші факторларды өзгерту, мысалы, ұнтақтың ара қатынасы, ұнтақтың қартаюы және ылғалдың мөлшері, механикалық және физикалық қасиеттерге, тығыздық пен кеуектілікке әсерін зерттейді. Процестің аяқталуына қатысты, салқындату фазасы да зерттеледі. 36-суретте ұнтақ сапасына әсер ететін факторларды көре аласыз. Сапаға қатысты лазер қуаты, дақ шамасы, қабат қалыңдығы, лазер сәулесінің әсер ету уақыты, қозғалыс тректерінің бағыты, химиялық және механикалық қасиеттері сияқты факторлардың әсерін ескеру қажет. Сонымен қатар, лазерлік біріктіру сапасының барлық тізбегін білу маңызды, себебі көптеген әр түрлі кезеңдер дәнекерленген бөлшектердің соңғы сапасына әсер етеді.

Жылу, электр және физикалық, сондай-ақ сызықтық және серпімді механикалық қасиеттер сияқты әртүрлі сипаттамаларды сынау үшін үлгімен сапалы жұмысты да жоққа шығармау керек.

Өсіру процесінің атмосфераға зиянды шығарындылары жоқ, сондықтан ол «жасыл»технологияларға жатады. Бұл жағдайда ресурс үнемдеуші технология деп пайдаланылатын табиғи ресурстарды барынша азайтуды және табиғи (нағыз) жағдайлардың ең аз бұзылуын болжайтын технологиялық процесс түсініледі, яғни дәстүрлі технологиялардан шикізат пен энергияның үлестік шығынынан едәуір аз айырмашылығы бар. Бұл технология металды пайдалану коэффициентін 95% - ға дейін арттырады [47]. Таза өндірісте тазарту құрылыстары мен қалдықтарды жинау орындары болмауы керек. Аддитивті өндіріс үшін оны өндіру және пайдалану кезінде қоршаған ортаны ластаусыз энергия тұтыну деңгейі төмен экологиялық таза өнім шығару тән.

Бұл технологияның артықшылықтары:

- Ластаушы заттардың шығарындыларын, төгінділерін азайту, қалдықтар санын азайту;
- Өндірістің ресурс сыйымдылығын азайту;
- Қалдықтарды жинау орындарын қысқарту;
- Қызметкерлердің денсаулығы үшін қауіп-қатерді азайту;
- Жұмыс орнында еңбек жағдайын жақсарту, жұмыс орнының қауіпсіздігін арттыру;

- Шикізатқа, энергияға, отынға, суға жұмсалатын шығындарды қысқарту;
- Ағынды суларды, шаң және газ тәріздес шығарындыларды тазалауға, қалдықтарды кәдеге жаратуға арналған шығындарды қысқарту;
- Көлік шығыстарын қысқарту;
- Өнімнің сапалық сипаттамаларының жақсаруына байланысты оның бағасын арттыру;
- Пайданың өсуі;
- Кәсіпорын беделінің деңгейін арттыру, қолайлы қоғамдық пікір құру;
- Халықтың мемлекеттік бақылау органдарына шағымдарын қысқарту.

Экологиялық таза өндіріске қол жеткізу жөніндегі ұйым оған әкімшілікті міндетті түрде тартуды, регламентті әзірлеу жөніндегі комиссияны, сондай-ақ талдау жүргізу, проблемаларды анықтау, кәсіпорында өндіріс жөніндегі жобаларды енгізу жөніндегі нақты міндеттерді әзірлеу және шешу үшін жұмыс тобын құруды көздейді. Бүгінгі күні аддитивті технологиялар саласында өндіріс процестерін оңтайландыру бойынша көпфронтты жұмыс жүргізілуде. Ғалымдар мен инженерлер өнімнің механикалық қасиеттері мен сапасын жақсартуға әсер ететін әр түрлі материалдарды тығыздаудың механизмі мен ерекшеліктерін және басқа да факторларды қалыптастыруға процесс параметрлерінің әсерін егжей-тегжейлі зерттеумен айналысады. Өсіру процесінің атмосфераға зиянды шығарындылары жоқ, сондықтан оны «жасыл» технологияларға жатқызады. Бүгінде заманауи жобалау мен бұйымдарды өндіру аддитивті технологияларсыз мүмкін емес деп сеніммен айтуға болады [48].

2.9 2-бөлім қорытындысы

2-бөлімде лазерлік аддитивті технологиялардың классификациясы қарастырылды. Жалпы, лазерлік аддитивті технологияның негізгі 4 түріне толықтай сипаттама бердім. Әр технологияға жеке-жеке тоқтала отырып, бір-бірінен айырмашылығын, қолданылатын материалдар түрлерін, сканерлеу жылдамдығын, лазердің қуатын және т.б мәліметтер кестеде көрсеттім. Технологияларда қолданылатын 3D баспа принтерінің құрылымдарының бөлшектері мен жұмыс істеу тәртібі мәлімделінген. SLS әдісімен дайындалған бұйымдардың өзіндік құнын есептеуге арналған формулалар тізімін ұсындым. Селективті лазерлі біріктіру технологиясының сапасы мен экологиясына тоқталдым. Құю білігін жасау технологияларының салыстырмалы талдауын көрсеттім.

3 3D-басып шығаруға арналған материалдар

3D принтерлерінің алғашқы үлгілері пайда болғаннан бері бірнеше он жылдан астам уақыт өтті - 3D басып шығаруда қолданылатын материалдар тізімі үнемі жаңартылып отырады. Материалдардың физикалық және механикалық қасиеттерінің кең ауқымы бар, ал олардың модельдері әртүрлі облыстарда қолданыла алады. 3D принтерлерге басып шығару үшін қолданылатын ең кең таралған және перспективалық материалдарға шолу жасаймыз. Үшөлшемді басып шығару технологиясы бойынша бөліп қарастыру дұрыс емес себебі бір материал бірнеше әдістерде қолданылуы мүмкін [49].

Полимерлік материалдар. 3D принтерлерге басып шығаруға арналған ең кең таралған полимерлік материал - ABS пластик.

Ол (акрилонитрилбутадиенстирол, химиялық формуласы $(C_8H_8)_x \cdot (C_4H_6)_y \cdot (C_3H_3N)_z$) – соққыға төзімді, акрилонитрилдің бутадиенмен және стирол сополимері негізіндегі техникалық, термопластикалы шайыр. Пропорциялары мына шектерде болуы мүмкін: 15—35 % акрилонитрил, 5—30 % бутадиен және 40—60 % стирол. Бір килограмм ABS өндірісі материал және энергия түріндегі мұнайды талап етеді. Сондай-ақ қайта өңделуі мүмкін. ABS материалының кейбір түрлері күн сәулесінің әсерінен бұзылуы мүмкін. ABS - пластик 3D – басып шығаруда ең практикалы материал болып табылады.

Келесі салаларда бұйымдар жасау үшін қолданылады:

- автомобильдердің үлкен бөліктері (аспаптық панельдер, элементтер
- қолмен басқару, радиаторлық торлар); ірі тұрмыстық техника, радио және теледидар жабдығы;
- электр жарықтандыру және электронды құрылғылар, шаңсорғыштар, кофеқайнатқыштар, басқару панелдері, телефондар, факс машиналары, компьютерлер, мониторлар, принтерлер, калькуляторлар, басқа тұрмыстық және кеңсе жабдықтары туралы мәліметтер;
- өнеркәсіптік аккумуляторлар корпусы;
- спорттық жабдықтар, қару-жарақ бөліктері;
- санитарлық-техникалық жабдықтар;
- кеңсе тауарлары;
- үстелдік аксессуарлар;
- медициналық жабдықтың толық сипаттамасы, медициналық аксессуарлар (гамма-стерилизация).

Аддитивті принтерлерге пластикалық жіп ретінде алғаш дайындалған материал ABS пластик болып табылады. Оның кемшілігіне басып шығару кезіндегі өткір пластмассалық исі жатады. Екінші жағынан ABS материалынан басып шығарылған модельдер беріктілігі және тозуға төзімділігімен ерекшеленеді. Материал жоғары температураларға шыдайды, сондықтан физикалық тозуға ұшырайтын ұзақмерзімді конструкцияларды дайындауға ұсынылады. Ол оның қаттылығы мен жылу тұрақтылығымен ерекшеленеді. Кешенді объектілерді егжей-тегжейлі жасау мүмкіндігі бар, оның құны басқа да

шығыс материалдарына карағанда төмен. Оған жылтырату, бұрғылау немесе кесу әдістерін қолдануға болады. ABS пластиктері ацетонда ериді және бұл қасиет күрделі композиттік құрылымдарды өндіру үшін жиі пайдаланылады.

ABS-пластикті арнайы мақсаттарға ие макеттер мен функционалдық нысандарды басып шығару үшін пайдалануға болады. Материал ультракүлгін сәулеленуге және жоғары температураларға төзімді. Ойыншықтарды, түпкілікті тұтыну тауарларын, машиналар мен құрал-жабдықтардың әртүрлі бөлшектерін шығарады. ABS-пластикті 3D принтерде басып шығаруда FDM технологиясы қолданылады (еріту арқылы модельдеу). Қолданылатын материал катушкаға оралған пластикалық жіп түрінде болады [49].



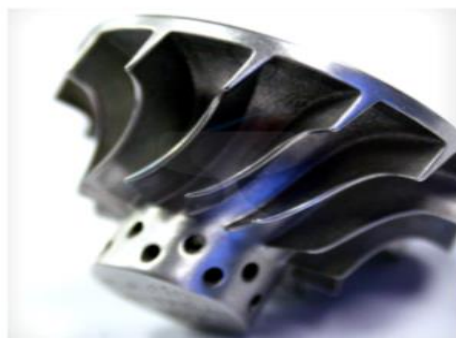
Сурет 40 - ABS –пластик

3D-принтер үшін PLA пластикі. Полилактид (ПЛА) –мономері сүт қышқылы болып табылатын биологиялық, үйлесімді, термопластикалық, алифаттық полиэфир болып табылады. Қысқа мерзімді қызмет ететін өндіріс бұйымдары үшін қолданылады: тамақ қаптамасы, бір реттік ыдыс, пакеттер сондай-ақ медицинада хирургиялық жіп және штифттер үшін қолданылады. Қолданылуы. Полилактид экологиялық таза биологиялық ыдырайтын қаптама, бір реттік ыдыс, жекек гигиена заттарын жасауда қолданылады. Wal-Mart Stores және Kmart сияқты ірі сауда желілерінде боиыдырайтын пакеттер қолданылады. Полилактид сондай-ақ 3D-принтерлерде шығын материалдары ретінде қолданылады. Полилактид табиғи шикізаттан жасалады. Басып шығару кезінде жағымсыз токсинді буланулар бөлмейді.



Сурет – 41 Полилактид

Шойын. Шойынның негізгі артықшылықтарының бірі - беріктігі және оны басқа металдармен бірге қолдануға болатындығы: алюминий, никель, мыс, қола. Металл ұнтақтарын әр түрлі пропорцияларда араластыру қажетті физикалық қасиеттерге және жақсы сыртқы көріністерге жеткізеді. PLA материалын қолдана отырып жылдам басып шығару мен дәлдікке қол жеткізуге мүмкіндік береді. Екінші жағынан алғанда берілген материалдан басып шағырылған бұйымда ұзақмерзімді емес, жоғары беріктілігімен және термиялық тұрақтылығымен ерекшеленбейді.



Сурет – 42 Шойын

Бастапқыда шойынның беті кедір-бұдырлы, кішкене кеуектеу болады. Дайын бұйымдардың сыртқы көрінісіне жылтырату(полировка) әдісі тегістілік береді. Өзінің жоғары беріктілігімен функционалды бөлшектер, прототип, зергерлік бұйымдар жасауда қолданылады (сурет 42). Шойынды баспалау SLS (селективті лазерлі пісіру), SLM (селективті лазерлі еріту), EBM (электронды сәуленің бағыты бойынша) жасалады.

Фотополимерлі шайыр – өзінің агрегатты күйін лазерлі сәуле және ультракүлгін жарықтың әсерінен өзгертетін шайырдың түрі (сурет 43). Фотополимерлі шайырды қолдана отырып көп компонентті бөлшектерді 3D басып шығару мүмкіндігі бар.



Сурет – 43 Фотополимерлі шайыр

Фотополимердің бірін қолдана отырып дайындау процесі:

– сұйық күйдегі мономер немесе төменмолекулярлы полимер түріндегі фотополимер активті жуықпен 365нм толқын ұзындығымен жарық әсер еткенде мономердің сәулеленген аймағы полимерленеді;

– жарық әсер еткеннен кейін полимерленбеген аймақтарды сәйкес келетін еріткішпен тазалайды, полимерленген бөліктер арнайы еріткіште ерімейді;

– соңғы этапта дайын болған бұйымды еріткіштің қалдықтарынан кептіреді.

Кейбір фотополимерлер үшін фотодеполимеризация процесі мүмкін болыа табылады, бұл жағдайда полимерленген бөліктер бастапқы мономер күйіне ауысады. Деполимеризация үшін қысқа толқын ұзындығымен, мысалы 254нм Сәулелендіру пайдаланылады. Заманауи өндірісте баспа формалары үшін фотоәсер ету үшін түрлі жарық көздерін пайдаланады, олардың ішінде түрлі ультракүлгін сәулелендіру көздері, мысалы, кварцты ртутты лампалар, аргонмен толтырылған лампалар, фотографиялық лампалар, электродоғалы жарықтандырғыштар, жоғары интенсивті жарықдиодтар және т.б.

Фотополимерлердің артықшылығы жоғары сапалы басып шығаруды қамтамасыз етеді (кейбір принтерлерде, қабаттың қалыңдығы 0,25 мкм-ге жетуі мүмкін), бұл материал кейінгі құюға және зергерлік бұйымдарды жасауға арналған мастер үлгілерін жасау үшін өте ыңғайлы. Бөліктердің беті қосымша өңдеуді қажет етпейді. Өнімдердің механикалық және физикалық қасиеттерінің кең спектрі болуы мүмкін (икемді және қатты, мөлдір және мөлдір емес). Сонымен қатар, жаңа механикалық қасиеттері бар жаңа композиттік материалдарды алуға болады. Фотополимерлердің кемшілігі - материалдардың жоғары құны, басып шығарудың күрделілігі және принтерлердің үлкен көлемі. Фотополимерлі шайырларды қолдана отырып бірнеше технологиялармен 3D басып шығаруға болады: SLA (лазерлі стереолитография), DLP (цифрлы жарықдиодты проекциялау), MJM (көпжақты модельдеу).

Гипс-қолданылатын түстердің максималды дәлдігін ескере отырып, фотореалистикалық сапамен модельдер алуға мүмкіндік беретін материал. Бұл фотореалистикалық түрлі түсті 3D өнімдерін алуға мүмкіндік беретін жалғыз технология (44-сурет). Технологияның кемшілігі модельдердің салыстырмалы сынғыштығы әрі ылғалдылық әсерінен ластануы. Түстерді беру мүмкіндігі өнеркәсіптік дизайннан, функционалдық прототиптер мен сәулет дизайнынан, білім беру, медицинада, мұражайларда және өнерде қолдану үшін кеңінен таралады. 3D басып шығару Full Color Printing технологиясы - толық түсті 3D басып шығару арқылы жасалуы мүмкін[49].



Сурет 44 - Гипс

Композиттік материалдар. Мысал ретінде – өзінің қасиеттерімен (PLA) полиактидке ұқсас, ағаш пен полимерден тұратын талшық (сурет 45). Комбинирленген материал сыртқы көрінісі ағашқа ұқсас әрі ағаш иіс шығатын ұзақмерзімді әрі қатты модельдер алуға мүмкіндік береді. Қазіргі уақытта инновациялық материал RepRap өздігінен көшіретін принтерлерде ғана қолданылады [49]. Сондай-ақ, 3D принтерлер органикалық жасушаларды, титан, темір-бетон және басқа да көптеген таңқаларлық материалдарды тұратын, саз қоспаларын, азық-түлік басып шығару үшін әзірленген бар. Жақын болашақта 3D басып шығару үшін қандай материалдар қолданылатыны туралы тек болжау ғана қалады.

Металқоспалы материалдар. Металл ұнтақтары- 3D –басып шығару үшін ең берік материал. 3D-принтерлерде жасалған металл бұйымдар өздерінің параметрлерімен дәстүрлі технологиямен жасалған аналогтарынан басым түседі.



Сурет – 45 Металқоспалы материал

Титан. Жоғары беріктікті биоүйлесімді материал, медицинада, авиакұрылысында, машина жасауда, өнеркәсіпте қолданылады.

Инструментальды және тот баспайтын болат. Болаттың түрлі қорытпалары – 3D басып шығару арналған кең таралған материалдар. Бұл материалдар түрлі саладағы әртүрлі тапсырмалардың шешімін шешу үшін қолданылады және коррозияға төзімді, жоғары беріктікпен тозуға төзімділігі жоғары.

Алюминий және қорытпалары. Басқа металдармен салыстырғанда тығыздығы төмен, жеңіл қорытпа. Жақсы легірлеуші әрі электрөткізгіштік қасиеттерге ие. Автомобиль жасауда, аэроғарыштық, өнеркәсіпте қолданылады.

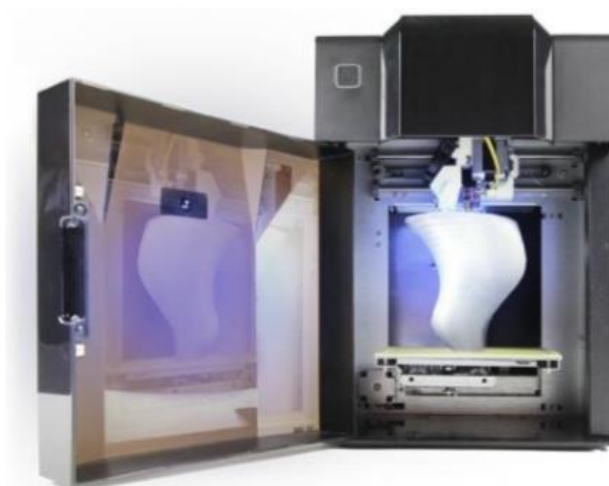
Кобальт-хром. Биоүйлесімді, коррозияға төзімді материал. Жоғары беріктікке ие, медицинада, стоматологияда қолданылады, жоғары температуралы өнеркәсіпте қолданылады.

Никель қорытпалары. Материалдың мықты механикалық беріктігі мен дәнекерлілігі бар материал. 3000 ° C-қа төзімді. Авиация, энергетика, аспап жасау және басқа салаларда қолданылады.

3D-принтерлер басып шығару үшін кең көлемде материалдарды қолдана алады. Техникалық тапсырмаға сай аддитивті машина кез келген металл түрін басып шығаруға икемделе алады: вольфраммен, никель-кадмий қорытпасымен, темірмен, мыспен. Алайда 3D – принтердің баптау процесі көптеген қиындықтар туғызады, қазіргі таңда эксперимент түрінде ғана қолдану мүмкіндігі бар[49].

3.1 Полимерлер үшін 3D-принтер түрлері

UP 3D Printer Mini. UP Mini (сурет 46) –PP3DP фирмасы жасаған, компьютер немесе ноутбуктан басып шығару мүмкіндігі бар. Принтер болаттан жасалған және оны тозуға төзімді ететін ұзақмерзімді құрылымды, тәулігіне 24 сағат жұмыс істеуге болады.



Сурет – 46 UP 3D Printer Mini принтерінің жалпы көрінісі

Принтердің сипаттамасы кестеде берілген.

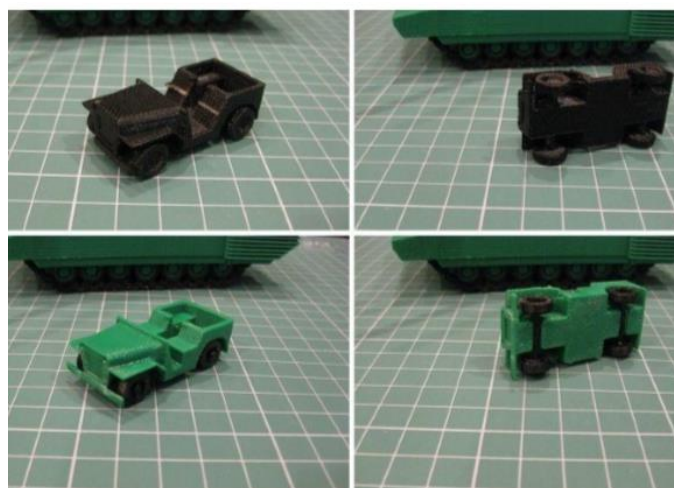
Кесте – 7 Характеристика UP 3D Printer Mini

Жалпы мәліметтер	
Өлшемдері(мм)	240x355x340
Масса	6
Жасалған	Қытай
Техникалық сипаттамалары	
Қолданылу саласы	Үй үшін; білім
Басып шығару сапасы(мм)	0,2
Басып шығару технологиясы	FDM
Басып шығару көлемі (мм)	120x120x120

Жалпы мәліметтер	
Материалдары	ABS; PLA
Жіптің қалыңдығы(мм)	1,75
Саптама диаметрі(мм)	0,4
Интерфейс	USB
Платформа	Қыздырылады
Басу жылдамдығы(см ³ /сағ)	30

Пайдалану оңай және үнемді, принтер аддитивті басып шығару әдісін пайдаланады. Mini ABS пластикалық басып шығару үшін оңтайландырылған және жылытылған платформаға ие, ал жабық корпус ABS пластиктен басып шығару үшін қажетті температураны тұрақтандыратын экструдер мен платформадан жылуды жинайды. Камераның тығыздығы басып шығарудың қауіпсіздігі мен тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Басып шығару ABS, егер қажет болса, алдымен жеке бөліктерді жасайды, содан кейін оларды біріктіреді.

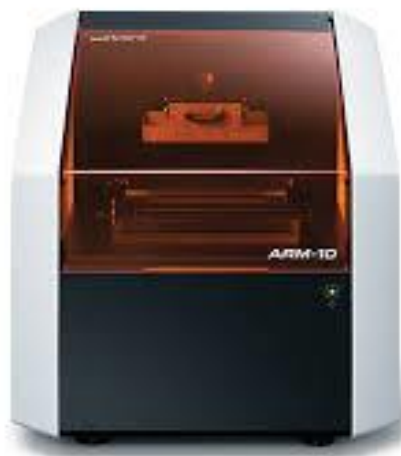
Осы принтерде орындалатын жұмыстар мысалдары 46 және 47-суреттерде көрсетілген. Суреттерден көрініп тұрғандай, бетінің сапасы төмен, үлкен кедір-бұдыр. Жоғары сапалы бетті алу үшін өңдеу қажет. Өңдеу кезінде өнімнің сызықтық өлшемдері төмендейді, ол модельді құрастыру кезінде назарға алынуы керек [50].



Сурет 47 – 3D принтерде жасалған бұйымдар

Roland ARM-10. Roland ARM-10 3D принтері – күрделі объекттерді сенімді басып шығаруды қамтамасыз ететін модельдердің бірі. Roland ARM-10 3D принтерінде стереолитография технологиясы UV-LED сәулелену көздерімен біріктіріледі: модель контейнерден сұйық композицияға полимердің қабаттарын бірізді қолдану арқылы өсіріледі. Бір жұмыс аймағында бірнеше нысандарды бір уақытта қалыптастыру мүмкіндігі уақытты едәуір үнемдеуге мүмкіндік береді.

Бұл параметрді жеке аймақтардың лазерлік сәулелену технологиясымен салыстырғанда басты артықшылығы деп санауға болады.



Сурет – 48 Roland ARM-10

Кесте – 8 Roland ARM-10 сипаттамалары

Жалпы мәліметтер	
Өлшемдері(мм)	635x430x450
Масса(кг)	17
Жасалған	Жапония
Техникалық сипаттамалары	
Қолданылу саласы	Үй үшін; білім; модельдеу; макеттеу;
Басып шығару сапасы(мм)	0,2
Басып шығару технологиясы	SLA; DLP
Басып шығару көлемі (мм)	130x70x70
Интерфейс	USB
Басу жылдамдығы(см ³ /сағ)	10



Сурет 49 – Roland ARM-10 принтерінде жасалған бұйым

Бұрын мульти-осьтік өңдеуді талап ететін күрделі өнімдер, мысалы өнімнің ішіндегі сызаттар мен қуыстар немесе тесіктер арқылы қалыптасқан бөлшектер өте оңай және жылдам басып шығарылуы мүмкін. Объектінің өсуін тоқтата тұру жүйесінде полимер минималды түрде тұтынылады, сондықтан дайын модельдің құны да төмендейді. ARM-10 жылдам прототипін жасау үшін жоғары дәлдіктегі 3D принтер достық интерфейске ие және әртүрлі идеяларды іске асырудың тамаша құралы болып табылады [50].

3D Systems ProJet 360 (ZPrinter 350). 3D Systems ProJet 360 (ZPrinter 350) 3D принтері біртүсті монохромды автоматтандырылған принтердің мысалы болып табылады. Оның көмегімен үлкен көлемді бөлшек жасауға болады. Жоғары жылдамдығымен және қарапайымдылығымен ерекшеленеді. Офисте монохромды модельдер дайындауға келеді. Түрлі салада қолданылуы мүмкін: білім беру жүйесінен бастап өнеркәсіптік дизайнға дейін.



Сурет 50 – ProJet 360 3D –принтері

Үшөлшемді басып шығару негізінде 2D басып шығарудың принципі қарастырылады. Өндіріс процесінде сұйық желімді су негізіндегі құрам ұнтақтың бірігуіне басып шығарушы бастиек арқылы таратылады. Осылайша модельдің қабаттары пішімделеді. Желім бағдарлама бойынша таралып жағылған соң бірден қатаяды. Бір қабат өсірілген соң принтер қалыңдығын тексеріп келесі қабат жасалуын қамтамасыз етеді. Процедура аяқталған соң модель ұнтақтан алынады. Модельді өсіру процесінде пайдаланылмаған ұнтақтар келесі басып шығаруда қолданылады [51].

Кесте – 9 ProJet 360 3D-принтерінің сипаттамалары

Жалпы мәліметтер	
Өлшемдері(мм)	1220x790x1400
Масса	179
Жасалған	АҚШ

9 – кестенің жалғасы

Техникалық сипаттамалары	
Қолданылу саласы	Ұй үшін; білім
Басып шығару сапасы(мм)	0,01
Басып шығару технологиясы	CJP
Басып шығару көлемі (мм)	203x254x203
Материалдары	VisiJet PXL
DPI мүмкіндігі	300x450
Саптама диаметрі(мм)	0,4
Интерфейс	USB; Wi-Fi
Басу жылдамдығы(мм/сағ)	20

Кәсіби 3D Systems ProJet 360 принтері әртүрлі қолданбаларда қолданыла алады. Мысалы, болашақ өнімдердің үлгілері ретінде демонстрация үшін қолданылатын дизайн және сәулет 3D модельдерін жасау. Немесе салада қажетті үлгілерді жасау.



Сурет 51 – Индукционды датчик макеті

ProJet x60 сериясының 3D-принтерлеріне үлгілерді жасау үшін VisiJetPXL Core гипс негізіндегі композициялық материал қолданылады. Бұл ақ ұнтақ. Байланыстыру құралы VisiJet PXL болып табылады, ол түссіз, көгілдір, күлгін және сары болуы мүмкін.



Сурет 52 – Коммутатор моделі

EOS P 800. EOS P 800 – аддитивті өндіріс үшін өнеркәсіптік 3D – принтердің жаңа модельдерінің бірі. Құрылғы жоғары температуралы пластикпен, полиарилэфиркетонмен лазерлі пісірумен басып шығаруға арналған технология. 3D басып шығару процесі 385°C температурада жүзеге асырылады. Үлкен жұмыс алаңы 700 x 380 x 560 мм үлгілерді жасауға мүмкіндік береді. Баспа қабатының ең төменгі қалыңдығы - 0,12 мм. Құрылғы көптеген материалдармен жұмыс істеуге мүмкіндік беретін реттелетін қуат лазерімен жабдықталған.



Сурет 53 – EOS P 800 3D принтері

Кесте 10 – EOS P 800 3D принтерінің сипаттамалары

Жалпы мәліметтер	
Өлшемдері(мм)	2250x1550x2100
Масса(кг)	2300
Жасалған	Германия

Техникалық сипаттамалары	
Қолданылу саласы	Автомобильді; Аэроғарыштық өндіріс; Макеттеу; Қорғаныс өнеркәсібі.
Басып шығару сапасы(мм)	0,02
Басып шығару технологиясы	SLS
Басып шығару көлемі (мм)	700x380x550
Интерфейс	Ethernet
Тип; лазер қуаты(Вт)	CO2; 2x50

3.2 Металл үшін 3D-принтер түрлері

Concept Laser Mlab R. Лазер Mlab R концепциясы (патенттелген LaserCUSING технологиясын пайдаланып, таңдамалы лазерлі балқыту арқылы аддитивті өндіруге арналған өнеркәсіптік қондырғы болып табылады. Комплекстік құрылымдар мен жоғары бет сапасы бар бөліктерге арналған шағын қоспалар өндірісі. Құрылғы реактивті және отқа төзімді материалдармен жұмыс істей алады. Mlab R стоматологиялық лабораториялар мен зергерлік бұйымдарды өндіруге арналған тамаша шешім болып табылады, онда дәстүрлі материалдардан басқа, Титан пайдалану қажет.

Вакуумдық жұмыс камерасы мен автоматты қайта зарядтау жүйесін қолдану арқасында тұтынылатын материалдардың ластануынсыз реактивті материалдармен жұмыс істеуге болады. Қолданылатын қабаттың ең төменгі қалыңдығы 20 мкм, өнімнің максималды мөлшері 90x90x80мм-ге жетеді. Орнату жергілікті желіге қосылу үшін Ethernet интерфейсімен жабдықталған [51].



Сурет 54 – Concept Laser Mlab R 3D-принтері

Жабық салқындатқыш конструкцияларды, сондай-ақ зергерлік бұйымдар, медициналық, стоматологиялық, автомобильдік және аэроғарыш салалары үшін бөлшектер мен компоненттерді қалыптастыратын LaserCUSING технологиясы - өсіру процесі арқылы дайындалуы мүмкін. LaserCUSING өнімді дамытуда тиімділігін арттыруда жұмыс жылдамдығын арттыруда үлкен мүмкіндіктер ашады. Экологиялық тиімді технология – бұл қалдық қалдырмайтын өндірістік процесс. Қолданылмаған ұнтақтары келесі процестерде пайдаланыла береді.

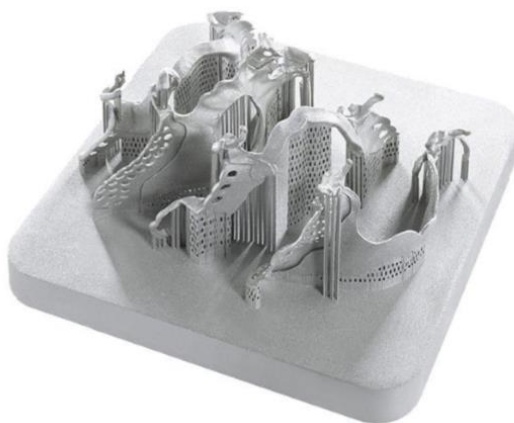
Кесте 11 – Concept Laser Mlab R 3D-принтерінің сипаттамалары

Жалпы мәліметтер	
Өлшемдері(мм)	1220x705x1400
	500
Жасалған	Германия
Техникалық сипаттамалары	
Қолданылу саласы	Автомобильді өнеркәсіп; Аэроғарыштық өнеркәсіп; Макеттеу; Қорғаныс өнеркәсібі; Стоматология;
Басып шығару сапасы(мм)	0,02
Басып шығару технологиясы	LC
Басып шығару көлемі (мм)	203x254x203
Өсіру аймағы	90x90x80
Саптама диаметрі(мм)	0,4
Интерфейс	Ethernet

Сонымен қатар, лазерлік процестің өзі зиянды қалдықсыз толықтай жүзеге асады. Concept Laser жоғары тиімді лазерлік жүйелерді пайдаланатындықтан, құрамдас бөлікке енгізілетін энергияның көп бөлігі жұмыс үрдісіне өтеді. Соңғы қажетті нәтижеге ұқсас пішін – қосымша өндеуді қажет етпейтін өндіріс, осы арқылы дайындау уақытымен шығындарды азайтады.



Сурет – 55 Кронштейн



Сурет – 56 Бұйымның мысалы

Concept Laser X line 1000R. Concept Laser X line 1000R – LaserCusing жаңа технологиясын қолдана отырып лазерлі біріктіру әдісін қолданатын өнеркәсіптік 3D-принтер. Құрылғы түрлі металдармен және қорытпалармен басып шығаруды қамтамасыз ете алады. Вакуумды камераны қолдана отырып, титан секілді реактивті металдармен жұмыс істеуге болады. Лазерлі пісіру 0,02 мм қабат қалыңдығымен жоғары дәлдікке қол жеткізуге болады. 3D принтер үздіксіз өндіріс процесі үшін столдармен жабдықталған. Басып шығарылатын бөлшектердің максималды өлшемдері: 630 x 400 x 500 мм [52].



Сурет – 57 Concept Laser X line 1000R принтері

Кесте 12 - Concept Laser X line 1000R принтерінің сипаттамалары

Жалпы мәліметтер	
Өлшемдері(мм)	4415x3070x3900
Масса (кг)	8000
Жасалған	Германия

Техникалық сипаттамалары	
Қолданылу саласы	Аэроғарыштық өнеркәсіп; Өндіріс; Медицина; Модельдеу; Макеттеу; Стоматология; Автомобильді өнеркәсіп.
Басып шығару сапасы(мм)	0,02
Басып шығару технологиясы	LC
Басып шығару көлемі (мм)	630x400x500
Материалдары	Алюминді қорытпалар; Никель қорытпалары; Титан қорытпалары; Құнды металдар; Металл ұнтақтары.
Модель форматы	STL
Басып шығару жылдамдығы (см ³ /сағ)	10-100
Интерфейс	Ethernet

SLM 500HL. SLM 500 HL – үлкен камерамен (500x280x330 мм) металдарды селективті лазерлі пісіруді орнату. Арнайы металл ұнтақтарынан бірлік және кішісериялы өндіріс үшін қолданылады: инструменталды және тот баспайтын болат, алюминді, титанды қорытпалар, кобальт-хром. SLM 500 HL селективті лазерлі пісіру машиналарының нарықтағы ұсынылған түрлерімен салыстырғанда өте өнімдісі болып табылады. Бөлшекті өсіру процесі толық автоматтандырылған және машинаны қосқаннан кейін операторды қажет етпейді.



Сурет – 58 SLM 500 HL принтері

SLM 500 HL 2 немесе 4 лазермен жабдықталған және өндірістік талаптарды тиімді жолдармен қанағаттандыра алады. Лазердің нүктелерді баптау мүмкіндігі қарапайым аймақтарда максималды дәлдікті немесе жоғары

жылдамдықты таңдау мүмкіндігін береді. SLM 500 HL 3D-принтері сағатына 105 см³ металл бұйымдарын жасауға мүмкіндік береді. Қабырғаның минималды қалыңдығы –150мкм. Лазер нүктесі автоматты 80 мен 150 микрон аралығында бапталатын болғандықтан минималды қабат қалыңдығы 20 микронды құрайды.



Сурет – 59 Турбина күрекшелері

3.3 3-бөлім бойынша қорытынды

3 – тарауда қарастырылған маңызды тақырып 3D-басып шығаруға арналған материалдар мен принтерлердің түрлері. Диссертацияда алынған материалдар: полимер және металл. Аталған материалдардың әрқайсысына жеке принтер түрлері қолданылады. Атап айтқанда полимерлер үшін UP Mini (сурет 46) –PP3DP фирмасы жасаған, компьютер немесе ноутбуктан басып шығару мүмкіндігі бар, болаттан жасалған және тозуға төзімді ететін ұзақмерзімді құрылымды, тәулігіне 24 сағат жұмыс істеуге болатын принтер мысалға келтірдім. Осы принтерге арналған толық мағлұмат 7-кестеде сипатталған.

4 Ұнтақты технологиялар

Ұнтақтардың бөлшектердің мөлшері 1,0 мм-ға дейін болатын көлемдік материалдар болуы түсінікті. Ұнтақ бөлшектердің мөлшері бойынша (номиналды диаметрі d) сәйкес жіктеледі, оларды $d < 0.001$ мкм болатын нанодисперслі бөлшектерге, ультрадисперсирленген $d = 0,01-0,1$ мкм, ұсақ дисперсті $d = 0,1-10$ мкм, жұқа $d = 10-40$ мкм, орташа $d = 40-250$ мкм және үлкен $d = 250-1000$ мкм.

Қазіргі уақытта АМ-технологияларда қолданылатын металл-ұнтақ композицияларына қойылатын жалпы талаптар жоқ. АМ-машиналардың өндірушілері әртүрлі компаниялар, әдетте компанияның өзі ұсынатын материалдардың белгілі бір тізімімен жұмыс жасайды. Түрлі машиналарда әр түрлі фракциялық құрамы бар ұнтақтар қолданылады. Ұнтақты сипаттайтын параметрлердің бірі d_{50} , «орташа бөлшектердің диаметрі». Мысалы, $d_{50} = 40$ мкм, ұнтақ бөлшектерінің 50% -ында бөлшектердің мөлшері 40 мкм-нен аз немесе тең. Мәселен, Phenix (3D Systems) машиналарында $d_{50} = 10$ микрондар бөлшектерінің мөлшері бар ұнтақ қолданылады; Conzept Laser машиналары үшін ұнтақтың дисперсиясы $d_{50} = 26,9$ мкм кезінде 25 ... 52 мкм шамасында болады; Arcam машиналары үшін бөлшектердің мөлшері 45-100 мкм, SLM Solutions машиналары үшін $d_{50} = 10-30$ мкм және т.б.

Әртүрлі өндірушілер ұнтақтарына белгілі бір сенімсіздік бар. Бір өндірушіден материал сатып алу арқылы және басқа саннан қосымша санын алу арқылы бірдей сападағы өнімдерді алуға кепілдік жоқ. Мұның бәрі АМтехнологиялар үшін материалдарды стандарттау әдістерін жетілдіру қажеттігін талап етеді. Мұнда да көптеген зерттеулер қажет, өйткені дәстүрлі технологияларға арналған материалдардың қасиеттерін бағалау үшін қолданылатын қазіргі заманғы әдістер анизотропияның болуына байланысты аддитивті технологияларға қолданылмайды, бұл қабатты өнім жасау технологиясы болып табылады.

Шетелде аддитивті технологияларға арналған материалдар бойынша стандарттау мәселелері NIST - Ұлттық стандарттар және технологиялар институты (АҚШ) құзыретіне жатады; ISO Халықаралық стандарттау ұйымы (ТК261 қоспа технологиялары жөніндегі комитет) және ASTM (Additive Technologies бойынша F42 Халықаралық комитеті). Қазіргі уақытта Powder Bed Fusion технологиясында қолдану үшін Ti-6-Al-4-V материалы үшін тек бір стандартты (ASTM F2924) әзірленген.

Лазерлік синтез процесінің ерекшелігі, мысалы, SLM технологиясы лазер сәулесінің құрылыс егжей күймалардың ұнтақтары бөлшектер дененің қалыптастыру ғана емес, сонымен қатар жарды-материалдық, құрылыс деректемелер бойынша бетін «күртушы» деп табылады. Осылайша, SLS машиналармен жұмыс істеу тәжірибесінде «ақаулы» бөлігін алып тастау үшін «жұмыс» ұнтағын жаңадан араластырып, қалдық материалды сүзу әдісі қолданылады. Кез-келген пропорцияда - әр компания өз қалауы бойынша шешеді. Дегенмен, бір машинада сол ұнтақтан жасалған үлгілердің сәйкестігі,

бірақ бұл нюанстарды ескере отырып, кепілдік берілмейді. АМ машиналары үшін ұнтақтарға арналған жалпы талаптар бөлшектердің сфералық пішіні болып табылады. Бұл, біріншіден, мұндай бөлшектердің белгілі бір көлемге тығыз орналасуына байланысты. Екіншіден, бөлшектердің сфералық пішінімен дәл жететін минималды кедергісі бар материалдарды жеткізу жүйелеріндегі ұнтақ құрамының «сұйылтуын» қамтамасыз ету қажет.

Алюминий және титан тәрізді пиропондармен жұмыс істейтін машиналарға арналған жалпы талаптар - өртке қарсы жүйенің болуы және тұтануды хабарлауға қажетті дабыл жүйесі. Жақсы дисперсті ұнтақтармен жұмыс істегенде (әсіресе $d_{50} < 10$) олардың құбылмалылығына байланысты қауіпсіздік ережелерін сақтау қажет. Бір жағынан, d_{50} шамасы кішірек болса, құрылыстың кіші қадамын орнатуға болады, бөлшектердің кішкене элементтері нақтырақ болуы мүмкін және құрылыстағы бөліктен неғұрлым тегіс бетін алуға болады. Екінші жағынан, жоғарыда айтылғандай, энергия лазерлік спот ауданы үлкен соманың құрылыс процесінде бірден айдалады: балқыту процесі өте тез болып табылады - металл толқудың орын және балқытылған металл бөлігін (құрылыс материалдары) шашыраудан құрылыс аймағынан ұшып.

Көрнекі түрде бұл қарқынды ұшқынмен байқалады. жетілдірілген кедір-бөлшектер, микрокеуекті - ұнтақ тым кішкентай бөлшектердің мөлшері болса, жеңіл бөлшектердің салу процесінде қарама-қарсы әсерін тигізеді, ол еріген қар аймағының «алып» болады. Тағы бір ескерту: еріген қар аймағынан шығаратын бөлшектер іргелес, қазірдің өзінде балқытылған бағыттар бойынша құлап кетпес үшін, бағытталған жұмыс камерасының ішінде салынып жатқан беткі қабатын бөлшектер жолдары ұшып жел айдайтын «жел» жасау. Бұл сондай-ақ құрылыс аймағынан құрылыс материал тым қарқынды жою әкелуі мүмкін.

D_{50} ұсақ бөлінеді ұнтақтар <төмен қуатты лазер пайдаланып 10 мкм, осылайша malopro-өнімділігін бірге жұмыс істегенде осы енгізуі арқылы. (Тиісті машина параметрлермен) Мұндай ұнтақтар негізінен, әйтпесе алынуы мүмкін емес микро бөлшектер өндіру үшін пайдаланылады. Төмен дисперсті ұнтақтармен жұмыс істеудің кейбір қиындықтары олардың меншікке байланысты көтерілудің ұлғаюына байланысты. Бұл материалдарды сақтауға және АМ-машиналарының жұмысына арнайы талаптар қойылады. Ұнтақ материалдарын алу мәселесі АМ технологиясын дамытуға ғана емес, классикалық ұнтақты металлургияға да қатысты. Металлургтер композициясы әуе кемелерінің құрылысы, энергетика, әскери және ғарыштық технологиялар, кеме жасау, аспап жасау сияқты жоғары технологиялы өндірістерде қолдануды табады.

4.1 Металл ұнтақтарын алу әдістері

Металл ұнтақтарын алудың әр түрлі әдістері бар, олар шартты түрде физика-химиялық және механикалық бөлінеді. физика-химия шикізаттың физико-химиялық түрленуімен байланысты әдістерді қамтиды, ал химиялық

құрамы және түпкілікті өнім-ұнтақ құрылымы бастапқы материалдан айтарлықтай ерекшеленеді. Механикалық әдістер химиялық құрамы өзгеріссіз шикізаттан ұнтақты өндіруді қамтамасыз етеді. Механикалық әдістерге, мысалы, диірмендегі көптеген тегістеу параметрлері, сондай-ақ балқымалардың газ немесе сұйық ағын арқылы дисперсиясы бар, бұл процесс атомдау деп аталады. Тегістеудің механикалық әдістерімен алынған ұнтақтардың бөлшектері фрагментті, қалыпсыз пішінге ие.

Өндірілген ұнтақ қоспалардың үлкен мөлшерін - тегістеу құралдарының тозу өнімдерін және диірменнің асты қаптамасын қамтиды. Сондықтан бұл әдістер аддитивтік технологияларда қолданылатын ұнтақтарды өндіру үшін пайдаланылмайды. Балқыманы шашырату - шағын және орта металл ұнтақтар дайындау ең тиімді, үнемді және тиімді тәсілі: бұл әдістің арқылы алынған барлық коммерциялық ұнтақтарын 60-70%.

(Бөлшектеу) бүрку кеңінен, тіпті қорытпасынан негізгі компоненті ерігіштік олардың шегінен жоғарыда қоспалау компоненттерінің мазмұны құрамын біркелкі химиялық құрамын қол жеткізуге мүмкіндік береді, атап айтқанда, аморфты құрылымында, көп компонентті қорытпасы ұнтақтарын өндіру қолданылған. Сонымен қатар, ұнтақтар сфералық жақын пішінді болуы ериді дисперсия әдістерін пайдалана отырып, өндірілген. Қоспа технологияларында қолданылатын барлық ұнтақтардың 90% астамы балқу дисперсия әдістерімен алынады. АМ машиналарына арналған ұнтақтарды алудың негізгі технологиялары келесі атомизация болып табылады: газ; вакуум; ортадан тепкіш.



Сурет – 60 Ұнтақ сапасына әсер ететін факторлар

4.2 4-бөлім бойынша қорытынды

4-бөлімде ұнтақтар бөлшектерінің мөлшері, ұнтақ сапасына әсер ететін факторлар туралы мәлімделінген. Мысалға, төмен дисперсті ұнтақтармен жұмыс істеудің кейбір қиындықтары олардың меншікке байланысты көтерілудің ұлғаюына байланысты. Бұл материалдарды сақтауға және АМ-машиналарының жұмысына арнайы талаптар қойылады. Ұнтақ материалдарын алу мәселесі АМ технологиясын дамытуға ғана емес, классикалық ұнтақты металлургияға да қатысты. Металлургиялық композициясы әуе кемелерінің құрылысы, энергетика, әскери және ғарыштық технологиялар, кеме жасау, аспап жасау сияқты жоғары технологиялы өндірістерде қолдануды табады.

5 Аддитивті өндіріске арналған кешенді шешім. Autodesk Netfabb

Autodesk компаниясы автоматтандыру құралдарын нарықта жобалау мен өндіру тұрғысынан бұрыннан белгілі және ол кеңінен таралған.

Осы саладағы құралдардың саны өте көп, олардың бәрін мүдірмей тізімдеу өте қиын. Және бұл тізім үнемі өсуде. Autodesk кейбір жағдайларда құрал ойлап таппайды, ол керісінше дайын, сенімді, нарықта көшбасшы және пайдаланушыларда өзін көрсете білген басқа әзірлеушілердің құралдарын сатып алады және одан кейін олардың одан әрі дамуына жаңа қуатты серпін бере отырып, оларды өз портфолиосына біртіндеп біріктіріп, саланың қажеттілігін бақылай отырып және өз пайдаланушыларына тек үздік шешімдерді ұсынуға ұмтылады. Autodesk жас және тез дамып келе жатқан аддитивті өндіріс технологиясы саласын назардан тыс қалдырмады.

Autodesk шешімдерінің портфолиосында осы сала үшін «барлығы бірге» — Autodesk Netfabb қуатты кешенді құралы пайда болды. Бұл бөлімде аддитивті технологияларды ашатын компаниялар алдында тұрған күрделі мәселелердің барлық спектрі және өз пайдаланушыларына Autodesk компаниясының жаңа шешімін бере алатын жауаптардың кең жиынтығы қарастырылады. Бүгінгі күні Autodesk Netfabb құралдары аддитивті өндірісті дайындау процесінің барлық негізгі кезеңдерінде – моделдің АЖЖ шығуынан бастап және модель файлының 3D принтерге кіруіне дейін пайдалануға болады. Айта кету керек, Autodesk компаниясы жақында Netfabb сатып алған және де, ол әрдайым функционалдың осындай кең спектріне ие болған емес. Бірақ соңғы бірнеше жылда өнім айтарлықтай өсті, бірқатар жаңа технологияларға толықтырылып, аддитивті технологиялар саласындағы қуатты кешенді шешімге айналды. Қазіргі Autodesk Netfabb функционалын шартты түрде 5 негізгі аймаққа бөлуге болады: модель жасау (немесе импорттау), торды түзету (қажет болған жағдайда) және АЖЖ кейін пысықтау.

Бөлшектерді аддитивті өндіріске оңтайландыру – массаның/ көлемнің/ беріктіктің/ технологиялықтың арақатынасы тұрғысынан. Сондай-ақ, кейде күтпеген жағдайда бұл кезеңдерде бөлшек жаңа қасиеттерге ие бола алады, мысалы, серпімділік, кеуектілік, жылу өткізгіштік, гигроскопиялық және т.б.; Модельді баспаға дайындау – бұл геометрияның тәуелді бөліктері үшін қолдау жүйесін құру, бір мезгілде басып шығару үшін принтердің жұмыс алаңында көптеген бөлшектерді пакеттеу, модельдердің «слайсинг» («қатпарлау») және т. б.

Мүмкін болатын қателерді алдын-ала болжау және жою үшін металдан басып шығару процестерінің бөлшектер сандық үлесін талдау және виртуалды модельдеу.

Бөлшектерді аяқтау және/немесе алдын ала өңдеу.

Бұл бөлшектерді дайындау (бұрғылау, фрезерлеу), уақытша құрылымдар мен қолдауларды жою, температуралық немесе химиялық өңдеу, беттерді тазалау және жылтырату, шығу аспаптық бақылау. Бұл кезеңдерді дәйекті қарастырайық. Autodesk үшін Netfabb пайдаланушысын жасау бұл кезең

көбінесе АЖЖ моделін импорттаудан басталады. Бұл жерде оған баға жетпес көмек басқа өндірушілердің (SolidWorks, Catia, NX, Creo және т.б.) ең кең таралған АЖЖ — дан деректерді тікелей импорттауға және триангуляцияланған (мысалы, STL, OBJ, 3DS және т. б.), сондай-ақ беттік (STEP, SAT, IGES және т. б.) файлдардың бейтарап форматтарының кең жиынтығын қолдауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, «слайдинг» («қатпарлар») деп аталғаннан кейін модельдерді беру үшін кең таралған 3D-принтерлер пішімдерінің кең жиынтығын қолдайды.

Түрлі форматтардағы импорт мүмкіндіктерінің кең ауқымына байланысты, Netfabb пайдаланушылары қосымша АЖЖ лицензияларын немесе үшінші жақ түрлендіргіштерін сатып алуға ақша жұмсамайды. Үш өлшемді баспаға үлгілерді дайындау саласында триангуляцияланған торлар түріндегі үлгілер кеңінен таралған. Мұнда ең көп таралған пішім – STL. Оны 3D байланысты әрбір бағдарлама қолдайды.

Бұл форматтың кең танымалдығының кері жағы - әрбір бағдарлама оны өзінше түсінеді. Бұл модельдерді бір жүйеден екіншісіне жіберу кезінде әртүрлі қателіктер жинақталуы мүмкін. Мысалы, модель қабықшасындағы тесіктер, жекелеген қырлардың нормальдері, қырлар салу және т.б. Егер бұл қателіктерді жоймаса, олар қате немесе тіпті модельді басып шығара алмайды.

Netfabb-да әрбір осындай қатені түзету құралдарының кең жиынтығы бар. Оларды қолмен ғана емес, автоматты режимде де пайдалануға болады, бұл әлдеқайда жылдам. Үлгіні жүктеу және түзету сценарийін таңдау жеткілікті. Жүйе бірнеше секунд бойы барлық белгілі «жаралар» моделін өзі «емдейді». Сонымен қатар, модель түзетуді қажет ететіні туралы Netfabb алдын ала ескертіп, оны файлды ашу диалогтық терезесінде арнайы белгімен белгіленеді. Сонымен қатар, бір уақытта ашылатын файлдар тобының бірден автоматты пакеттік түзетілуі мүмкін.

5.1 Autodesk Netfabb бағдарламасында жұмысты оңтандыру

Netfabb оңтайландыру функционалы бөлшектерді қалыпты АЖЖ-модельдерді қабықшадан және ауыспалы тығыздықтың ішкі торлы құрылымынан қажетті беріктікті сақтай отырып жеңілдетілген жүйеге айналдыруға мүмкіндік береді.

Бұл жағдайда бөлшектер салмағы, көлемі, беріктігі, технологиялылығы бойынша және тағы бір бірқатар сипаттамалар бойынша оңтайландырылуы мүмкін. Конструктор тіпті бүкіл модель үшін де, оның жеке учаскелері үшін де баспа материалының қасиеттерін өзгерте алады. Мысалы, металл немесе полимерлі бөлшектерде кеуекті учаскелер мен тегіс, серпімді және қатты, ал серпімділік анизотропты (әртүрлі осьтер бойынша тең емес) болуы мүмкін.

Netfabb оңтайландыру утилиттерінің қолдану аясын атап өту өте ұзақ, және тізіміде толық, қанша дегенмен Netfabb пайдаланушылары әрдайым жаңа дүниелерді ашып жатыр.

Бірақ, негізгі қолдану, әрине, берілген жүктемелердің астында қажетті сенімділігін сақтай отырып, бөлшектер массасының төмендеуі болып қала береді. Бірақ, негізгі қолдану, әрине, берілген жүктемелердің астында қажетті сенімділігін сақтай отырып, бөлшектер массасының төмендеуі болып қала береді. Autodesk Nastran шешімінің басқаруымен утилит жұмыс істейді, бұл нәтижеге деген сенімді арттырады.

Netfabb қазірдің өзінде «қораптан» толтырушы құрылымдардың көптеген түрлерін қолдайды. Сонымен қатар, Netfabb-да өз типтерін де жасауға болады. Бұл үшін арнайы ыңғайлы және интуитивті редактор бар. Бөлшектерді оңтайландырудың тағы бір әдісін қарастырайық. Бұл «тудыратын модельдеу» деп аталады (оны детальдар топологиясын оңтайландыру немесе Generative Design деп атайды). Бұл технологияны қолданғанда бағдарлама өзі адамның берген кеңістіктік және жүктеме жағдайларына қарай бөлшектің пішінін жасайды.

Autodesk шешімдерінің портфелінде бұл функционал біршама бұрыннан пайда болды. Бұрын ол «Dreamcatcher жобасы» деп аталды. Сондай-ақ, туындататын модельдеудің оңайлатылған функционалы бұрыннан бері Autodesk Inventor Professional үшөлшемді жобалау жүйесінің құрамына кіреді. Жақында бұл функционал Autodesk Netfabb 1-ге де келді. Топологияны оңтайландыру технологиясымен жабдықталған Autodesk Netfabb конструктор үшін олардың берілген жұмыс істеу жағдайына байланысты бөлшектің пішінін дербес жасайды.

Нәтижесінде алынатын бөлшектер барынша тиімді ғана емес, жануарлардың сүйек құрылымына ұқсас әдемі бионикалық формаларға да ие. Мұндай нысандарды әдеттегі дәстүрлі өндіріс құралдарымен жасау мүмкін емес. Бірде-бір қазіргі заманғы керемет СББ бар фрезерлік білдек болсада, осындай күрделі бөлшек жасай алмайды, мейлі онда ондаған басқарылатын ось болсада. Бұл жерде тек үш өлшемді басып шығару қолданылады, ол бір операция үшін сенімді және бір уақытта жеңіл бөлшекті жасай алады. Және де бөлшектің барлық бірегей нысаны беріктікті сақтауға бағытталған болады материалдың әрбір текше сантиметрі конструкцияның қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін қажетті жерде орналасады.

5.2 Аддитивті өндірістің ақауларын модельдеу

Ұнтақтарды селективті лазерлік біріктіру (СЛС) технологиясын әзірлеу ұзақ және қымбат тәжірибелік сынағалар мен қателерге негізделеді. Алайда, егер осы мақсат үшін үлгілеуді қолдануға болатын болса, онда өндірістік технологияны тексеру процесі жеделдетіледі, ал өндіріс құны айтарлықтай төмендеуі мүмкін.

Металдың бір-бірінен кейін өте жұқа қабаттап жағу технологиясы, аддитивті өндірісте СЛС технологиясы деп аталады. Жылу көзі ұнтақ қабатының белгілі бір аймақтарында металл ұнтағын балқытады. Бұл аймақтар қатайтады,

ал ерітілген ұнтақ процестің соңында жойылады. Осылайша, СЛС технологиясы әртүрлі тәртіптегі өлшем шкаласын қамтиды: ұнтақ бөлшектерінің диаметрі 10-100 микронға тең, ал лазердің жалпы жылжу жолы бүкіл процесс үшін бірнеше километрді құрайды.

Лазер ұнтақ бірнеше микросекундқа әсер етеді, ал тұтас өнімді өсіру уақыты бірнеше күнге жетуі мүмкін. Сондықтан соңғы бұйымның қасиеттері мен ақауларын дұрыс болжау үшін СЛС микро және макродеңгейде моделдеу мүмкіндігі болуы қажет. Алайда, бір модельде барлық физикалық аспектілерді дамыту әрекеті есептеу техникасы тұрғысынан тым қымбат болып табылады, бұл мультимасштабты модельдерді әзірлеуді қажет етеді. Мультимасштабты және мультифизикалық үлгілеуге арналған платформа СЛС моделдеу міндеттерін шешуде жоғарыда сипатталған қиындықтарға сүйене отырып, осы міндетті өлшемдік шкала бойынша үш санатқа бөлуді көздейтін тәсіл таңдалды: микро-, макро және мезо.

Микромодель балқыманың аймағын микроннан миллиметрге дейінгі ұзындық шегінде сипаттайды, бұл ұнтақ бөлшектерінің өлшемімен өлшенетін ақауларды талдауды қамтамасыз етеді, мысалы балқымалар, кеуектілік және беттің кедір-бұдырлығы. Лазер дақтарының мөлшері 80 мкм, Лазер қуаты — 100 Вт, сканерлеу жылдамдығы — 1000 мм/с құрайды. Есептік модель сәулеленуді және энергияның жұтылуын, фазалардың өзгеруін, жылу берілісін және барлық үш термодинамикалық құрауыштарды, сондай-ақ температуралық тәуелді беттік керілуін ескереді.

СЛС технологиясы кеуектілікке жоғары бейім процестерге жатады. Ұсақ тесікшелер өсіру камерасы бар және ұнтақ бөлшектерінің арасында орналасқан, металл булану процесінде пайда болатын газдан құралады. Шағын көпіршіктердің болуы балқыманың ағынына тікелей байланысты. Микромодельдің көмегімен алдыңғы қабаттардағы ақаулардың нәтижесінде алынған ұнтақ қабатындағы біркелкі бөлінудің бұйымның соңғы сапасына әсерін анықтау үшін есептеу жүргізуге болады. Өңдеу параметрлері ұнтақ оңтайлы катаю үшін орталық аймақта ұнтақ қабатының белгілі бір қалыңдығына сәйкес реттелген. Макромодель тұтас дайындаманың өлшемінде міндеттерді шешуге арналған және технологиялық туралы маңызды ақпарат бере отырып, өндіріс процесінде бұйымның қораптарын есептеу үшін пайдаланылады. Макромодель деформациялар мен қалдық кернеуді болжайды. Мез ауқымды модель материалдың қасиеттері туралы қажетті ақпаратты береді.

5.3 5-бөлім бойынша қорытынды

5-бөлімде аддитивті өндіріске арналған кешенді шешімдерді қарастырдым. Мысалы, Autodesk Netfabb құрамына салмағы, қаттылығы, эстетикалық және материал бойынша қажетті нәтижелерге қол жеткізуге көмектесетін дизайнды оңтайландыруға арналған құралдар кіреді. Олардың көмегімен технологиялық талаптар мен конструктивтік шектеулерді ескере

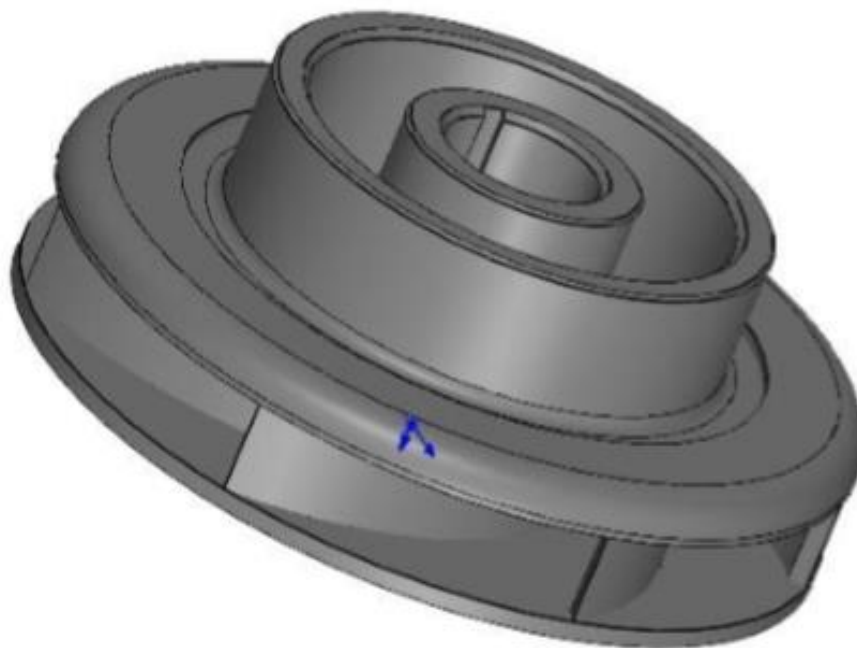
отырып, бөлшектің пішінін оңтайландыруға болады. Жобалау кезінде күрделі конфигурациялы ішкі қуыстарды және беттерді өңдеуді қарастыруға болады. Қуатты оңтайландыру құралдары модельді әзірлеу процесін автоматтандырады және өзіндік компоненттер кітапханасын құруға мүмкіндік береді.

Netfabb баспа уақытын және материалды тұтынуды барынша азайтуға көмектесетін анықтамалық аумақтар мен мойынтіректерді анықтауға арналған аналитикалық құралдарды қамтиды. Netfabb автоматты калибрлеу мүмкіндігіне ие. Бұл жұмыс платформасындағы бөліктерді нақты орналастыруға арналған ең тиімді әдіс. Деректерді принтерге беру үшін бағдарлама барлық 3D үлгілерінің барлық белгілі форматтарын қабат файлдарына түрлендіреді.

6 Есептеулер және аналитика

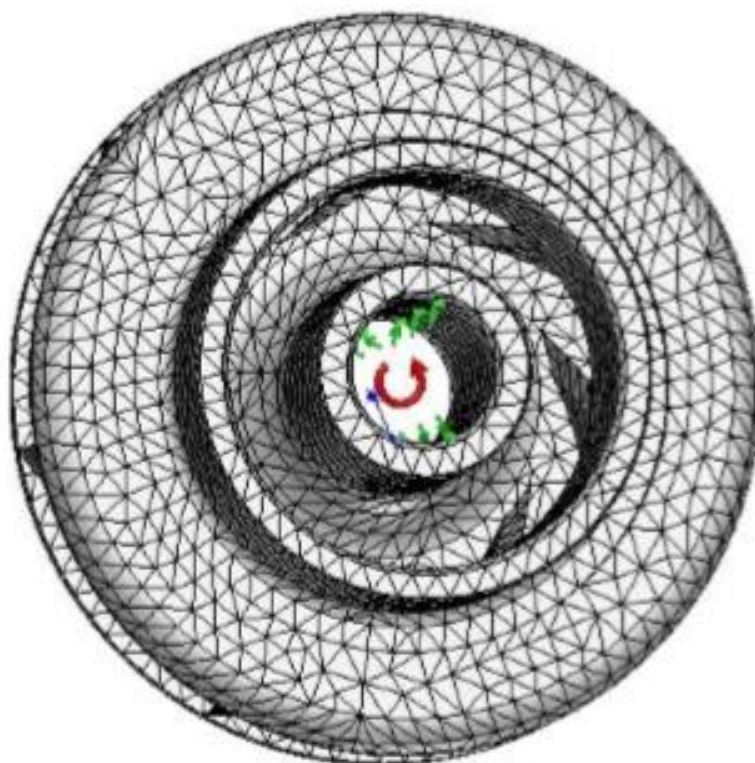
6.1 Соңғы элементтер әдісімен жұмыс дөңгелегінің статикалық беріктік анализі

3D – басып шығару технологиясымен алынған жұмыс дөңгелегінің кернеулі-деформацияланған күйіне центрден тепкіш күштің әсерін бағалауға және беріктікке есептеу жүргізу үшін, SolidWorks кешенді бағдарламасында 3D-моделін жобалаймыз.



Сурет 61 – Жұмыс дөңгелегінің 3D-моделі

Материал ретінде басып шығарылатын SI500 фотополимерін таңдаймыз. Ары қарай жобаланған жұмыс дөңгелегінің 3D-моделін тетраэдрлі соңғы-элементті торға бөлеміз.



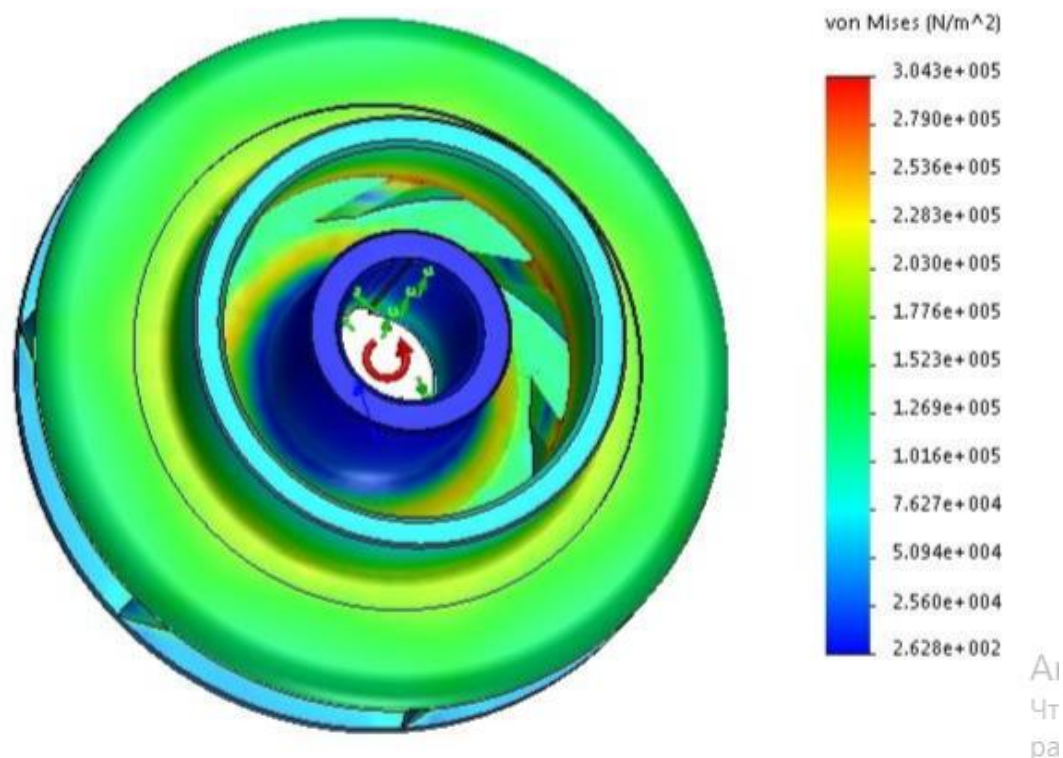
Сурет 62 – Тетраэдрлік соңғы элемент торына бөлінген жұмыс дөңгелегі

Жұмыс дөңгелегінің центрден тепкіш күші тікелей бұрыштық жылдамдыққа тәуелді болады. ЭЦВ 8-25-100 ұңғымалы сораптың айналу жиілігі 3000 айн/мин. Осылайша бұрыштық жылдамдық тең болады:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}; \quad (8)$$

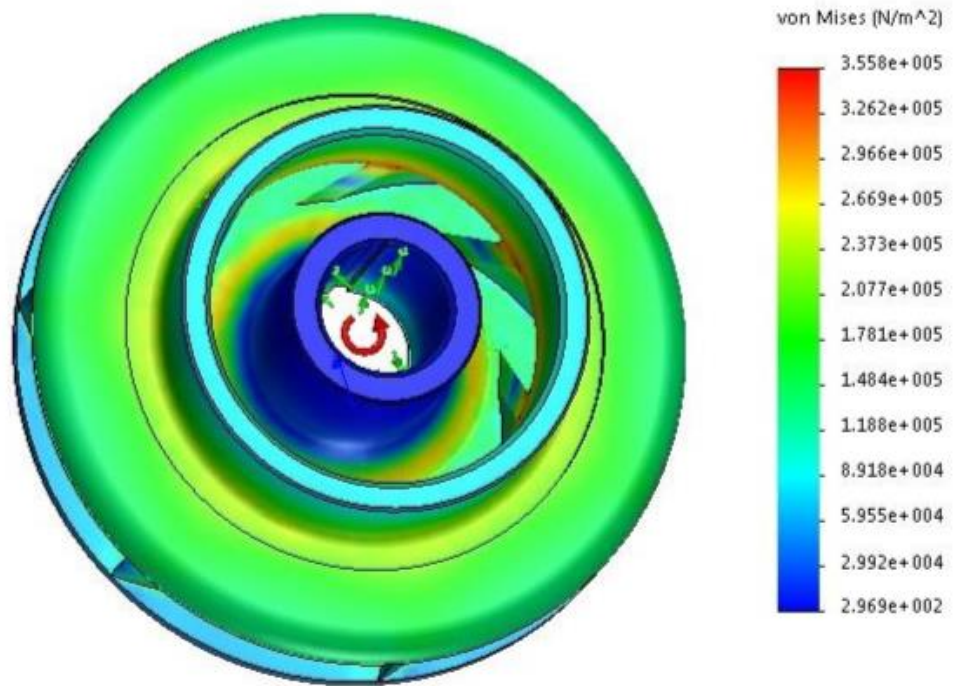
$$\omega = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3000}{60} = 314 \text{ рад/с.}$$

SolidWorks Simulation компонентін қолдана отырып жұмыс дөңгелегін бұрыштық жылдамдық арқылы табылған күшпен жүктеу арқылы статикалық беріктікке есептеу жүргіземіз. Кернеулі – деформацияланған күй нәтижелері келесі суретте көрсетілген.



Сурет 63 – SI500 фотополимерінен жасалған жұмыс дөңгелегінің кернеулі-деформацияланған күйі

SI500 фотополимері және жұмыс дөңгелегін қысыммен құю арқылы алынған поликарбонат материалдарын салыстырамыз. Зат ретінде поликарбонат түйіршіктер түріндегі өндірісте қолданылатын қатты, түссіз полимерлі пластик. Ол берік, жеңіл, оптикалық мөлдір, пластикалық, аязға төзімді, жақсы диэлектрлік және өте берік. Поликарбонаттан жасалған жұмыс дөңгелегінің кернеулі-деформацияланған күйі келесі суретте бейнеленген.



Сурет 64 – Поликарбонаттан жасалған дөңгелектің кернеулі-деформацияланған күйі

Зерттеу нәтижесінде SI500 фотополимерінен жасалған жұмыс дөңгелегінің кернеулі-деформацияланған күйінен жасалған нәтиже бойынша алынған кернеулер таңдалған материалдың аққыштық шегінен аспайды.

Материал үшін:

$$\sigma_T = 0,9 \cdot \sigma_B, \quad (9)$$

мұнда σ_T – аққыштық шегі, МПа;

σ_B – материалдың созылуға беріктік шегі, МПа;
(SI500 фотополимері үшін $\sigma_B = 30$ МПа).

$$\sigma_T = 0,9 \cdot 30 = 27 \text{ МПа.}$$

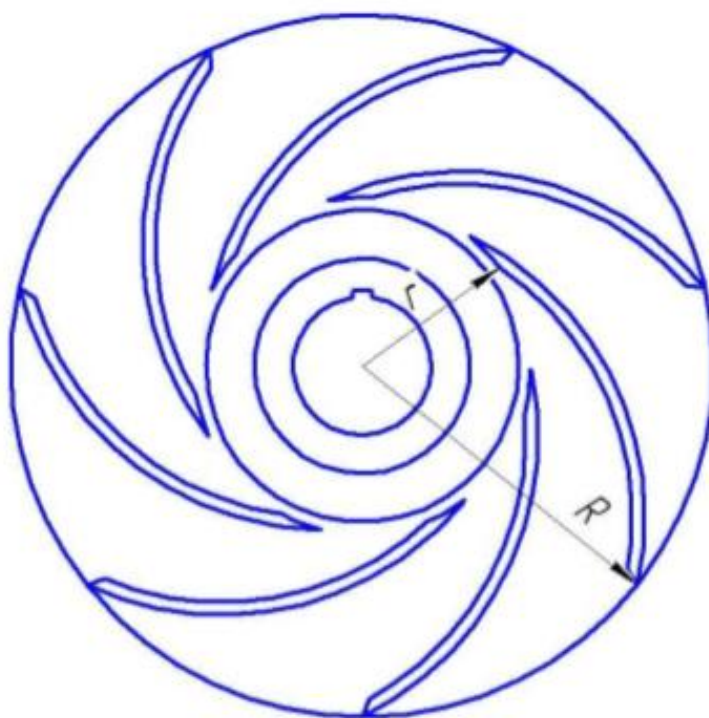
Беріктік бойынша берілген дөңгелек поликарбонаттан қысыммен құю арқылы жасалған дөңгелектен аз ғана айырмашылыққа ие. ЭЦВ 8-25-100 батпалы ұңғымалы сорап жұмыс кезінде жұмыс дөңгелегі центрден тепкіш күш әсерінен бұзылуы орын алмайды, яғни қолдануға тиімді.

6.2 Жұмыс дөңгелегінің беріктігін аналитикалық есептеу

Батпалы центрден тепкіш ұңғымалы сораптың жұмыс дөңгелегін беріктікке есептеу пышақтарды центрден тепкіш күштерден созылуға есептеуден және дисктерді есептеуден тұрады. Тұрақты қима ауданына ие пышақтар үшін центрден тепкіш күш келесі формуламен анықталады:

$$C = \rho \cdot \omega^2 \cdot F \cdot \frac{R^2 - r^2}{2}, \quad (10)$$

Мұндағы R және r – сәйкесінше пышақтың ішкі және сыртқы радиустары,
м

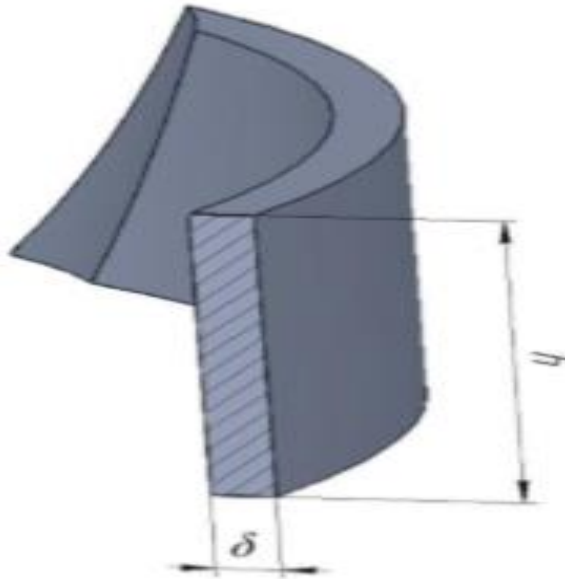


Сурет 65 – Жұмыс дөңгелегі

ρ – пышақ материалының тығыздығы, кг/м^3 ($\rho = 1050 \text{ кг/м}^3$ – SI500 фотополимері үшін);

ω – бұрыштық жылдамдық, рад/с ;

F – Пышақтың қима ауданы, м^2 (сурет 66)



Сурет 66 – Пышақтың көлденең қимасының ауданы

Жұмыс дөңгелегінің көлденең қима ауданын анықтаймыз:

$$F = h \cdot \delta = 0,013 \cdot 0,002 = 26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2; \quad (11)$$

$$F = 0,013 \cdot 0,002 = 26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2,$$

мұндағы h – пышақ биіктігі, м;
 δ – пышақ ені, м.

Осылайша, центрден тепкіш күш тең:

$$C = 1050 \cdot 3142 \cdot 26 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{0,056^2 - 0,027^2}{2} = 3,24 \text{ Н.}$$

Созылу кернеуі центрден тепкіш күш арқылы келесі формуламен анықталады:

$$\sigma = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot (R^2 - r^2); \quad (12)$$

$$\sigma = \frac{1}{2} \cdot 1050 \cdot 3142^2 \cdot (0,056^2 - 0,027^2) = 124,59 \text{ кПа.}$$

Дискті есептеу пышақтың профильді бөліктерінен центрден тепкіш күш арқылы табылған кернеулерге негізделеді:

$$\sigma_{rb} = \frac{z \cdot C}{2 \cdot \pi \cdot b \cdot h_b} \quad (13)$$

мұндағы z – пышақтар саны;

C – пышақтың профильді бөлігінің центрден тепкіш күші, Н;

b – диск радиусы, м;

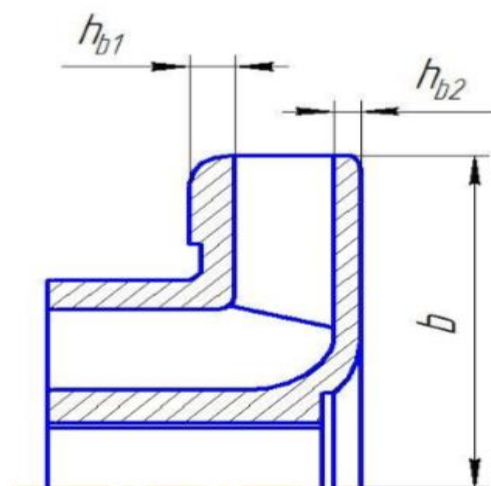
h_b – диск ені, м.

Батпалы сораптың жұмыс дөңгелегі алдыңғы және артқы дисктерден тұратын болғандықтан, h_b мәнімен барлық дисктің жалпы қалыңдығы анықталады:

$$h_b = h_{b1} + h_{b2} \quad (14)$$
$$h_b = 0,006 + 0,0035 = 0,0095 \text{ м}$$

мұндағы h_{b1} – алдыңғы дисктің қалыңдығы, м;

h_{b2} – артқы дисктің қалыңдығы, м.



Сурет 67 – Жұмыс дөңгелегі

Пышақтың профильді бөліктерінің центрден тепкіш күш арқылы анықталған кернеуі:

$$h_{rb} = \frac{7 \cdot 124,59}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,056 \cdot 0,0095} = 261,04 \text{ кПа.}$$

Батпалы центрден тепкіш ұңғымалы сораптың жұмыс дөңгелегін беріктікке аналитикалық есептеу нәтижесінде мынадай шешім жасауға болады, пышақ пен дисктегі центрден тепкіш күштер арқылы анықталған кернеу мәні SI500 фотополимер материалы үшін 27 МПа аққыштық шегінен аспайды.

6.3 6-бөлім бойынша қорытынды

6-бөлімде соңғы элементтер әдісімен жұмыс дөңгелегінің статикалық беріктік анализі және жұмыс дөңгелегінің беріктігін аналитикалық есептеу

жүргізілді. Зерттеу объектісі ретінде SI500 фотополимерін қолданып дайындалатын батпалы центрдентепкіш ұңғымалы сораптың жұмыс дөңгелегі таңдалды. Жұмыс дөңгелегінің кернеулі-деформацияланған күйі және беріктік статикалық есептеулері SolidWorks Simulation бағдарламасының компонентімен орындалды. Зерттеу нәтижесінде SI500 фотополимерінен жасалған жұмыс дөңгелегінің кернеулі-деформацияланған күйінен жасалған нәтиже бойынша алынған кернеулер таңдалған материалдың аққыштық шегінен аспайды. ЭЦВ 8-25-100 батпалы ұңғымалы сорап жұмыс кезінде жұмыс дөңгелегі центрден тепкіш күш әсерінен бұзылуы орын алмайтындығы анықталды.

ҚОРЫТЫНДЫ

Магистрлік диссертацияны орындау барысында аддитивті технологияларға аналитикалық шолу жасалып, түрлі әдіспен басып шығарылатын технологиялардың артықшылықтары мен кемшіліктері, тиімді тұстары мен ерекшеліктеріне талдаулар жасалды. Аддитивті технологиялардың қолданылатын материалдары бойынша (сұйық, полимер, ұнтақты металл, гипс, керамика, ағаш); лазердің қолданылуымен; қабатты тұрғызу тәсілі бойынша (жылумен әсер ету, ультракүлгін және көрінетін жарықпен сәулелендіру) түрлері қарастырылды. SLS, SLM технологияларымен жұмыс жасайтын 3D-принтердің құрылысы, механикалық мүмкіндіктері, жұмыс принципі, қолданылатын материал құрамы секілді ерекшеліктері қарастырылды. Лазерлі аддитивті технологияларды салыстыру мақсатында, алынған бұйымның сапасына, жасалу мерзіміне, бұйым құнына жұмсалатын шығындар есептелінді.

Аддитивті өндіріске арналған кешенді шешімдер қарастырылды. Autodesk Netfabb бағдарламасының көмегімен жұмысты оңтандыру мәселелері келтірілді. SLS, SLM технологиялары арқылы дайындалған бөлшектердің түрлі механикалық қасиеттері, оларды жасау кезіндегі параметрлерді таңдауға тікелей байланысты. Келесі зерттеу бөлімінде басып шығарылатын үлгілердің қасиеттерін таңдалған параметрлердің әсері зерттелді. Қабат қалыңдығы, үлгінің орналасу бағыты, экспозициялау уақыты сияқты параметрлерге байланысты алынған үлгілердің өзгерісіне талдаулар жасалды. Әсер ету уақытымен механикалық қасиеттерінің өзара байланысы талқыланды. Нәтижесінде созылуға, критикалық деформацияға, серпімділікке сынақ нәтижелері алынды.

Зерттеу объектісі ретінде SI500 фотополимерін қолданып дайындалатын батпалы центрдентепкіш ұңғымалы сораптың жұмыс дөңгелегі таңдалды. Жұмыс дөңгелегінің кернеулі-деформацияланған күйі және беріктік статикалық есептеулері SolidWorks Simulation бағдарламасының компонентімен орындалды. Зерттеу нәтижесінде SI500 фотополимерінен жасалған жұмыс дөңгелегінің кернеулі-деформацияланған күйінен жасалған нәтиже бойынша алынған кернеулер таңдалған материалдың аққыштық шегінен аспайды. ЭЦВ 8-25-100 батпалы ұңғымалы сорап жұмыс кезінде жұмыс дөңгелегі центрден тепкіш күш әсерінен бұзылуы орын алмайтындығы анықталды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Wohlers T. Wohlers Report. Fort Collins: Wohlers Associates, INC, 2014. 276 p.
- 2 Srivatsan T.S. Additive Manufacturing Innovations, Advances, and Applications. Taylor & Francis Group, LLC, 2016. 444 p.
- 3 David L. Bourella, Joseph J. Beaman, Jr.a, Ming C. Leub and David W. Rosenc. 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.
- 4 Сергеева О.Ю. «Индустрия 4.0» как механизм формирования «Умного производства» // Нанотехнологии в строительстве. – 2018. – Том 10, № 2. – С. 100–113. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-2-100-113](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-2-100-113).
- 5 Каблов Е. Новые материалы и технологии – основа технологического лидерства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://viam.ru/news/5032>.
- 6 Аддитивное производство: технологии и материалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://poisk-ru.ru/s58t8.html>.
- 7 Steve Heller. Why 3D Printing Stocks Could Have a Tremendous Runway for Growth. [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.fool.com/investing/general/2014/09/09/why-3d-printing-stocks-could-have-a-tremendous-run.aspx> (дата обращения: 11.11.17)
- 8 Осокин Е. Н. Процессы порошковой металлургии. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: курс лекций / Е. Н. Осокин, О. А. Артемьева. – Электрон. дан. (5 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, 2008.
- 9 Hohmann M., Brooks G., Spiegelhauer C. Production methods and applications for high-quality metal powders and sprayformed products. Produktionsmethoden und Anwendungen für qualitativ hochwertige Metallpulver und spruhkompaktierte Halbzeuge. Stahl und Eisen. – 2005.
- 10 Tsantrizos P. G. et. al. Method of production of metal and ceramic powders by plasma atomization. Pat. US № 5707419, дата выдачи: 13 янв. 1998.
- 11 Назаров А.П., Окунькова А.А. Типовые образцы изделий, получаемых методом селективного лазерного спекания. Вестник Саратовского государственного технического университета. Саратов: СГТУ им. Гагарина Ю. А., 2012. –Т. 3. –№ 1 (67). –С. 76–83.
- 12 Бабакова Е.В., Чудинова А.О. Селективное лазерное спекание (SLS). Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: Труды международной научно-практической конференции (Курск, 19–21 марта 2014 г.). Курск: ЗАО «Университетская книга», 2014. С. 159–161.
- 13 Кривилев М.Д., Харанжевский Е.В., Гордеев Г.А., Анкудинов В.Е. Управление лазерным спеканием металлических порошковых смесей. Управление большими системами. Москва: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2010. –№ 31. –С. 299–322.

14 J-P. Kruth, G. Levy, F. Klocke, and T.H.C. Childs. Consolidation phenomena in laser and powder-bed based layered manufacturing. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 56(2):730–759, January 2007.

15 S. Kumar. Comprehensive Materials Processing, volume 10. Elsevier, 2014.

16 Ruidi Li, Jinhui Liu, Yusheng Shi, Li Wang, and Wei Jiang. Balling behavior of stainless steel and nickel powder during selective laser melting process. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 59(9-12):1025–1035, 2012.

17 3D-печать. Аддитивные технологии [Электронный ресурс] : Режим доступа: <http://www.up-pro.ru/library/innovations/niokr/additive-3d.html>

18 <http://www.jetcom-3d.ru/technology/tehnologija-3d-pechati-fdm>

19 <https://www.sculpteo.com/en/materials/dmls-material>

20 Технологии 3D-печати [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://3donly.ru/articles/tehnologii-3d-pechati>

21 Additive Manufacturing Consortium, Интернет-источник: <http://ewi.org/additive-manufacturing-consortium/>

22 http://3dtoday.ru/wiki/3D_print_technology/

23 Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш [Текст]: // пособие для инженеров. – М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. 220 с.

24 Валетов В. А. Аддитивные технологии (состояние и перспективы). [Текст]: / Учебное пособие. - СПб.: Университет ИТМО, 2015, - 63с

25 Доступная 3D печать для науки, образования и устойчивого развития. [Электронный ресурс] // – Электрон. данные. Режим доступа: <http://notabenoid.com/book/41907>

26 <http://3dtoday.ru/industry/obzor-raskhodnykh-materialov-dlya-3d-printerov.html>

27 Сапрыкин А. А., Бабакова Е. В., Дудихин Д. В. Материалы используемые в селективном лазерном спекании. Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: Труды международной научно-практической конференции (Курск, 19–20 марта 2015 г.). Курск: ЗАО «Университетская книга», 2015. С. 42–44.

28 Селективное лазерное спекание. Часть 1. История появления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://3dp.su/selektivnoe-lazernoe-spekanie-chast-1-istoriyapoyavleniya/>

29 3D Systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://3dtoday.ru/3dprinters/producers/usa/3d-systems/#description>

30 http://www.3dsystems.com/products/datafiles/lasersintering/datasheets/Laser_Form_ST_100_uk.pdf

31 <http://www.eosab.ru/?eid=86>

32 <http://www.eosab.ru/?eid=87>

33 <http://www.eosab.ru/?eid=88>

34 <http://www.phenix-systems.com/en/phenix-systems>

35 http://www.aksteel.com/pdf/markets_products/stainless/precipitation/174_ph_data_sheet.pdf

- 36 <http://www.3trpd.co.uk/wp-content/uploads/2013/03/maraging-steel-1-2709-2012.pdf>
- 37 <http://can-touch.ru/materials/3d-printing-ti6al4v/>
- 38 Султанова Ф.Р., Нам И.Э., Мирзахакимов С.Б. Технология селективного лазерного спекания (SLS) // Международный журнал Инновационная наука. — 2016. — № 10-2. — С. 119-121.
- 39 Бояринцев А.В., Дувидзон В.Г., Подсобляев Д.С. Быстрое изготовление пилотных серий деталей из термопластичных полимерных материалов // Полимерные материалы. — 2013. — № 6. — С. 4-9.
- 40 Дувидзон В.Г. Принципы модернизации литейного производства изделий из полимерных материалов // Полимерные материалы. — 2016. — № 6. — С. 32-37.
- 41 Шишковский И.В. Основы аддитивных технологий высокого разрешения. — СПб.: Питер, 2016. — 400 б.
- 42 Михайлова А.Е., Дошина А.Д. 3D-принтер – технология будущего // Молодой ученый. – 2015. – № 20. – С. 40–44.
- 43 Серебrenицкий П.П. Технологии быстрого прототипирования. Часть 1 // РИТМ. – 2008. – № 6 (36). – С. 27–30.
- 44 Валетов В.А. Аддитивные технологии (состояние и перспективы): учеб. пособие. – СПб., 2015. – 63 с.
- 45 Литунув С.Н., Сысуев И.А., Вдовин В.М. Полиграфия: технология, оборудование, материалы: материалы VI заоч. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Омск: Изд-во Омск. гос. техн. ун-та, 2015. – 96 с.
- 46 Gibson I., Rosen D.W., Stucker B. Additive manufacturing technologies. rapid prototyping to direct digital manufacturing. – Springer, 2010. – 473 p.
- 47 Babentsova L.P. Complex approach to improvement of quality of process of selective laser sintering // Scieuro. – 2016. – № 3–2. – С. 7–11.
- 48 Игнатъева М.Н., Мочалова Л.А. Экологизация промышленного производства: направления, инструментарий // Экономика региона. – 2008. – № 1. – С. 154–166.
- 49 Материалы для 3D-печати [Электронный ресурс] : Режим доступа: <http://www.orgprint.com/wiki/3d-pechat/materialy-dlja-3d-pechat/>
- 50 Dutta B. et. al. Additive Manufacturing by Direct Metal Deposition ADVANCED MATERIALS & PROCESSES • MAY 2011. P. 33-36
- 51 Types of 3D printers of 3D printing technologies overview. Retrieved March 10, 2016, from <http://en.topmaxtech.net/reviews/2015/12/27/types-of-3d-printers-or-3dprinting-technologies-overview/279.html>
- 52 Industrial 3D printers. Retrieved March 2, 2015, from <http://www.prodways.com/en/industrial-3D-printers/promaker-p1000/>