

## Дәріс 13

### Материалды агломерациялау әдістерімен бөлшектерді қалыптастырудың аддитивті технологиялары

Бөлшектерді қалыптастырудың кең таралған технологиялық әдістерінің бірі-металл ұнтағының композицияларын агломерациялау (балқыту). Бөлшектерді қалыптастыру үшін осы технологияда қолданылатын бастапқы материалдар ретінде ni, Co (CoCrMO, Inconel, NiCrMo), Fe (аспаптық болаттар: 18Ni300, H13; тот баспайтын болат: 316L), Ti (Ti6-4, CpTigr1), Al (AlSi10Mg, AlSi12), ұнтақтар негізіндегі композициялар қолданылады әр түрлі маркалы қола және арнайы қорытпалар.

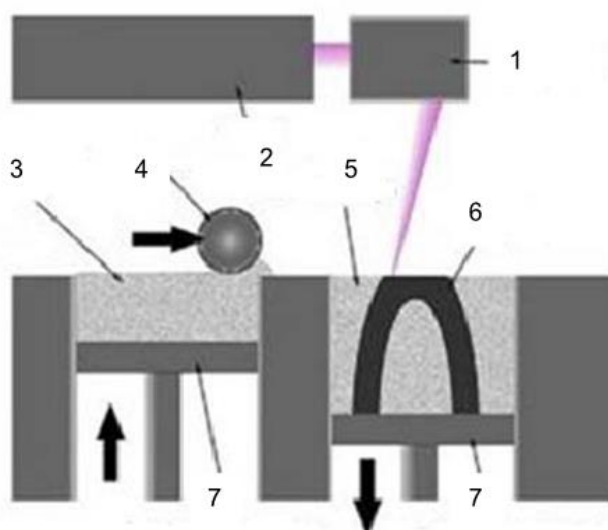
Бөлшектерді жасаудың ең кең тараған әдісі металл ұнтағының бөлшектерін агломерациялау үшін лазерлік қондырғыларды қолдануға негізделген . Бұл әдіс "тандамалы лазерлік агломерация" немесе SLS технологиясы (selective Laser Sintering, Selective Laser Melting) деп аталады. Аддитивті технологияның бұл түрі металдармен жұмыс істеу үшін ғана емес, сонымен қатар ұнтақ түрінде термопластикамен де қолданылады.

SLS технологиясының бір түрі - металдарды тікелей ла-дәнді агломерациялау әдісі (dmls) (сурет. 1 ), таза металл ұнтақтарымен жұмыс істеуге бағытталған. Dmls ОЖ қондырғылары - титан сияқты тотығуға бейім металдармен жұмыс істеу үшін инертті газбен толтырылған герметикалық жұмыс камераларымен жабдықталады.

DMLS принтерлерінің ерекшелігі-шығын материалдарын ұнтақтың балқу температурасынан сәл төмен температураға дейін қыздыру, бұл лазерлік қондырғылардың қуатын үнемдеуге және басып шығару процесін жылдамдатуға мүмкіндік береді.

Лазерлік агломерация процесі жұмыс платформасына қыздырылған ұнтақтың жұқа қабатын жағудан басталады. Ұнтақтың әр қабатының қалыңдығы сандық модельдің бір қабатының қалыңдығына сәйкес келеді. Содан кейін бөлшектер бір-бірімен және алдыңғы қабатпен агломерацияланады. Сандық модельге сәйкес лазер сәулесінің қозғалыс траекториясы айналардың электромеханикалық жүйесі арқылы жүзеге асырылады. Қабатты сызу аяқталғаннан кейін артық материал алынып тасталмайды, бірақ кейінгі қабаттарға тірек болады, бұл қосымша тірек құрылымдарын салуды қажет етпестен күрделі пішінді модельдерді, соның ішінде топсалы элементтерді жасауға мүмкіндік береді. Осының арқасында іс жүзінде өндеуді қажет етпейтін бөлшектерді, сондай-ақ дәстүрлі технологиялық әдістермен, соның ішінде құюмен жасалуы мүмкін емес геометриялық күрделі бөлшектерді алуға болады. HIP (Hot Isostatic Pressing – ыстық изостатикалық пресстеу) және тиісті термиялық өндеумен үйлескенде, SLS технологиясын қолдана отырып жасалған бөлшектер құйылған немесе

соғылған бұйымдардан кем түспейді, сонымен қатар олардың беріктігі жағынан асып түседі 20...30% [5, 21].



**Сурет. 1 SLS, DLMS және SLM қондырғыларының жұмыс схемасы: 1-айна жүйесі, 2-лазер, 3-шығын материалы, 4-ролик, 5 - жұмыс камерасы, 6-өндірілген модель, 7-жылжымалы платформа [5]**

Лазерлік агломерация технологиясының маңызды кемшілігі-Алынған бөлшектердің кеуектілігі, бұл бөлшектердің механикалық қасиеттеріне теріс әсер етеді. Бұл мәселені шешудің бір нұсқасы металдарды тікелей ла - дәнді агломерациялау (DMLS) технологиясын лазерлік балқыту (SLM) әдісімен аддитивті өндіру технологиясына түрлендіру болуы мүмкін. Бұл әдістердің түбегейлі айырмашылығы металл ұнтағын термиялық өңдеу дәрежесі болып табылады: SLM технологиялық процесі құю нәтижесінде алынған бөлшектер сияқты материалдардың біртекті қасиеттерін қамтамасыз ету үшін ұнтақ материалын толық балқытуды қамтамасыз етеді.

Катодты сәулелік балқыту (EBM) сонымен қатар материалдың агломерациясына (балқуына) негізделген аддитивті технологияның нұсқасы болып табылады.

EBM принтерлері SLM лазерлік балқыту технологиясынан кем түспейтін бөлшектерді өндірудің жоғары дәлдігін қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, электронды зеңбіректерді қолдану лазерлік қондырғыларда қолданылатын электромагниттік айна жүйелерінен арылуға мүмкіндік береді, бұл көп уақытты қажет ететін іске қосу жұмыстарын қажет етеді. Осылайша, EBM принтерлері SLM жабдықтарымен салыстырғанда дизайнның айтарлықтай күрделілігінсіз жоғары қуат пен өнімділікпен ерекшеленеді. EBM технологиясының жабдықтары әртүрлі металдар мен қорытпалармен жұмыс істеу мүмкіндігін қамтамасыз етеді, бұл әртүрлі металл бөлшектерін жасауға мүмкіндік береді, олардың пайдалану қасиеттері дәстүрлі өндіріс әдістерімен алынған үлгілерден іс жүзінде кем түспейді. Сонымен қатар, құю қалыптары

мен пештер сияқты қосымша құралдар мен инфрақұрылымды қолдану қажеттілігі жоқ, бұл өндіріс шығындарын азайтуға мүмкіндік береді.

ЕВМ принтерлерінің негізгі өндірушісі-шведтік Arcam компаниясы. Қазіргі уақытта лазерлік және электронды сәулелік балқыту жабдықтары газ турбиналарының қалақтарын, реактивті қозғалтқыштардың саптамаларын және т. б. өндіру үшін сәтті қолданылады. [5, 26].

Полилактид (PLA) - FDM технологиясы үшін ең көп қолданылатын материалдардың бірі. Бұл жүгері крахмалы немесе қант қамысы сияқты жаңартылатын шикізаттан жасалған биологиялық ыдырайтын термопластика. Басқа термопластиктерге қарағанда оның жылу бұрмалану температурасы төмен, сондай-ақ шыныға өту температурасы төмен. Бұл қасиеттер PLA 3D басып шығаруды жеңілдетеді.

PLA пластмасса екінші ең танымал жіп болып табылады, оның бірқатар даусыз артықшылықтары бар: экологиялық тазалық және басып шығару кезінде жағымсыз иістердің болмауы. Сонымен қатар, бұл пластик іс жүзінде қысқармайды. Бірақ дұрыс параметрлерді таңдасаңыз, сонымен қатар кейбір нюанстарды білсеңіз ғана басып шығару нәтижелері жоғары сапалы болады. PLA - қатты пластик, ABS-тен ауыр, бірақ майысқан кезде сынғышырақ.

Біріншіден, PLA адгезия тұрғысынан аз талап етеді. Сіз көк таспаны немесе желімді пайдалана аласыз. Егер принтер жылытумен жабдықталған болса, онда сіз жай ғана әйнекке басып шығара аласыз.

Екіншіден, экструдерді дұрыс орнату маңызды, ол үшін кәдімгі ақ қағаз парағын салып, саптаманы түсіру керек. Қағаз тыныш тартылуы керек.

PLA пластикпен басып шығарудың жақсы нәтижелеріне қол жеткізу үшін үрлеуді қамтамасыз ету керек. Егер принтер осы функцияны қолдайтын камерамен жабдықталмаса, онда біз желдеткішті немесе фенді орнатуды ұсынамыз. Осылайша, деформацияны болдырмауға болады.

Сондай ақ стандартты басып шығару параметрлерін таңдау керек:

1. Жіптің балқу температурасы-150-215 градус Цельсий;
2. Жұмыс платформасының температурасы-70 градус Цельсий;
3. Қабат қалыңдығының мөлшері-саптама диаметрінің 80% ;
4. Пластмассаны беру коэффициенті-0,85-0,95;
5. Басып шығару жылдамдығы секундына-30-80 мм.

Басқа жіптер сияқты, оңтайлы параметрлер тәжірибе арқылы жеке таңдалады. Саптаманың температурасы 190-200 градус болады және қажет болған жағдайда оны жақсы нәтижеге жеткенше 5 градусқа көтереді. Бастапқыда сіз пластик өндіруші ұсынған деректерді басшылыққа алуыңыз керек.

Кесте 1 – «ESUN» компаниясының FDM басып шығаруға арналған PLA-пластиктің физикалық-механикалық сипаттамалары

Көрсеткіш	PLA
Шарпи соққысының тұтқырлығы	5,62 кДж/м <sup>2</sup>
Қабаттар бойымен созылу беріктігі	34,8 МПа
Қабаттар бойымен созылған кезде серпімділік модулі	1,32 ГПа

Иілу күшінің беріктігі	94,2 МПа
Иілуге арналған серпімділік модулі	3,04 ГПа
Максималды иілу жүктемесі	154 Н
Қабаттар арқылы созылу беріктігі	31,2 МПа
Қабаттар бойымен созылған кезде серпімділік модулі	3,07 ГПа
Максималды созылу жүктемесі	1419 Н
Қысу күші	77,4 МПа
Сығымдау серпімділік модулі	2,96 ГПа
Максималды қысу жүктемесі	9719 Н
Ұзарту коэффициенті	30%

Материал диаметрі 1,75 мм және тығыздығы 1,37 г/см<sup>3</sup> полимерлі жіппен оралған катушкада жеткізіледі (3-сурет).



Сурет 3- ESUN компаниясының PLA пластиктен жасалған 1,75 мм жіп катушқасы.

"ESUN" компаниясынан АЖЖ-ны басып шығару үшін таңдау бұл материалды өндіруші басып шығару кезінде дәлдігі жоғары (дәлдігі 0,01 мм) деп жариялағанына байланысты, бұл басып шығару режимдерінің пайда болған өнімдердің қасиеттеріне әсерін барынша объективті зерттеуге мүмкіндік береді.

Зерттеудің екінші нысаны ретінде полимер матрицасына негізделген TOTAL GF 10% композиттік материалы таңдалды, ұзындығы 3 мм «ESUN» компаниясы шығарған дискретті шыны талшық қосындылар ретінде пайдаланылды (4-сурет). Толтырылған полимерден жасалған бұйымдардың қасиеттеріне басып шығару режимдерінің әсерін зерттеу үшін бұрын «ESUN» балқымасында шыны талшықпен араластыру арқылы алынған композиттік полимер пайдаланылды, матрицадағы шыны талшықтардың мөлшері 10% құрады.



Сурет 4 - TOTAL GF 10% материал түйіршіктерінің фотосуреті

Кесте 2 - ESUN компаниясынан FDM басып шығару үшін TOTAL GF 10% физикалық және механикалық сипаттамалары

Көрсеткіш	TOTAL GF 10%
Шарпи соққысының тұтқырлығы	11,5 кДж/м <sup>2</sup>
Қабаттар бойымен созылу беріктігі	75,4 МПа
Қабаттар бойымен созылған кезде серпімділік модулі	2,9 ГПа
Иілу күшінің беріктігі	98,2 МПа
Иілуге арналған серпімділік модулі	3,2 ГПа
Максималды иілу жүктемесі	210 Н
Қабаттар арқылы созылу беріктігі	72,2 МПа
Қабаттар бойымен созылған кезде серпімділік модулі	2,9 ГПа
Максималды созылу жүктемесі	4030 Н
Қысу күші	80 МПа
Сығымдау серпімділік модулі	3,1 ГПа
Максималды қысу жүктемесі	9800 Н
Ұзарту коэффициенті	20 %

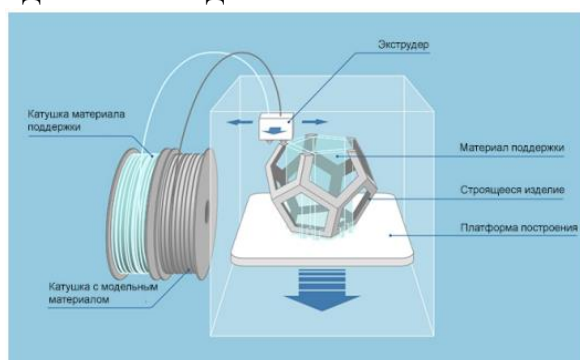
### **Жіп (Филамент) пен түйіршік үлгілерін 3D басып шығару технологиясы үшін қолданылатын жабдықтар**

Үлгілердің бір бөлігі FDM технологиясымен жасалған (3 - сурет) - кеңінен қолданылады және полимерлі басып шығару үшін ең қол жетімді. Бұл принтерлер жіпті экструзиялау әдісін қолданады, онда басып шығару механизмі жіпті жартылай сұйық күйге дейін балқытады, балқытылған материалдарды сығып алады және құрастыру платформасына жеке қабаттарды қолданады.

FDM-дің негізгі артықшылықтары-бұл арзан шығындар, әсіресе шағын көлемді машиналар үшін және бірнеше материалдардан объектілерді басып шығару мүмкіндігі. Әр түрлі баспа орындарындағы материалдың қасиеттерін бірнеше экструдер көмегімен әртүрлі химиялық және механикалық

сипаттамаларды алу үшін оңтайландыруға болады. FDM процесінің шектеулеріне бастапқы материал жіп түрінде болуы керек, ал жіптің балқу температурасы өте жоғары болмауы керек, тек ULTEM (полиэфиримид) және PEEK (полиэфиркетон) сияқты кейбір техникалық полимерлерден басқа. Дегенмен, кейбір микро экструзия жүйелері жіп тәрізді материалды алу қажеттілігін толығымен жояды. Әр түрлі күшейту түрлерін қосу мүмкіндігі осы кемшіліктердің кейбірін жоя алады. Сонымен қатар, FDM көмегімен басып шығару кезінде, егер балқытылған материалдың балқымасының тұтқырлығы жоғары болса, бұл экструзияға кедергі келтіруі мүмкін, содан кейін басып шығару жылдамдығын төмендетеді. Керісінше, егер балқыманың тұтқырлығы төмен болса, құрылымдық тұрақсыздықты тудыратын қолдау көрсетілмейтін жерлерді ұстай алмауына байланысты баспа учаскелері істен шығады. Сондықтан FDM үшін материалдың балқымасының тұтқырлық диапазоны шектеулі болады. FDM үшін жіп жасау кезінде пластик балқытылады және жіп пішініне экструдталады. FDM-де жіппен басып шығарылған кезде, жіп балқу температурасына жақын қайтадан қызады. Сондықтан жоғары сапалы басып шығару үшін жіптің химиялық тұрақтылығын сақтау және температураның ауытқуына қарамастан физикалық белсенділікке төтеп беру өте маңызды.

Басып шығару сапасын бірнеше параметрлерді, соның ішінде басып шығару қабатының температурасын, саптаманың басының температурасын, саптаманың өлшемін, қабаттың қалыңдығын, басып шығару бағытын, басып шығару жылдамдығын және растр бұрышын басқару арқылы өзгертуге болады. Зерттеу қабаттың дұрыс температурасы мен конвективті жылу берудің бақыланатын жағдайлары дәйекті қабаттардың жоғары адгезиялық беріктігіне әкелуі мүмкін, осылайша баспа бөліктерінің механикалық қасиеттерін жақсартады деп болжайды.



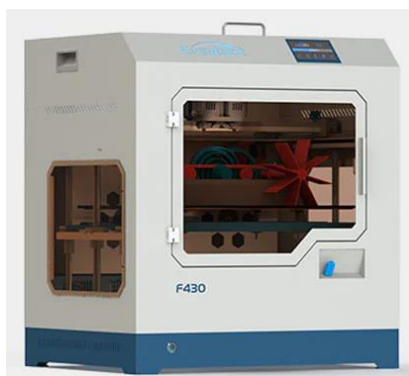
Сурет 5- FDM баспасының құрылымы [80]

PLA пластиктен үлгілерді басып шығару үшін CREATE BOT F430 принтері пайдаланылды (4-сурет). Принтердің техникалық сипаттамалары 3-кестеде көрсетілген.

Кесте 3 - CREATE BOT F430 принтерінің сипаттамалары

Көрсеткіш	CREATE BOT F430
-----------	-----------------

3D басып шығаруға арналған материалдар	ПЛА, АБС т.б. (балқу температурасы 420 градусқа дейінгі кез келген материалдар)
Басып шығару аймағы	400 x 300 x 300 мм
Басып шығару бастарының саны	2
Саптаманың диаметрі	0,4 мм (0.4/0.5/0.6/0.8/1.0-қосымша)
Қабаттың минималды қалыңдығы	0,02 мм
Басып шығару рұқсаты	0,04 мм
Z осі бойынша орналасу дәлдігі	0,00125 мм
X Y осьтері бойынша орналасу дәлдігі	0,0127 мм
Басып шығару жылдамдығы	55 мм/с
Максималды басып шығару жылдамдығы	180 мм / с
Қозғалыс жылдамдығы	200 мм / с
Экструдердің температурасы	420 градус Цельсийге дейін
Жұмыс платформасының қыздыру температурасы	макс. 110 градус Цельсий (керамикалық стол)
Жұмыс камерасының жылыту жүйесі	70 градус Цельсийге дейін



Сурет 6 - Принтер CreatBot F430

Композитті үлгілер PioCreat G5 3D принтерінде (5-сурет) FGF (Fused Granular Fabrication) – түйіршіктелген қорытпаларды қолданып өндіру технологиясы арқылы басып шығарылды. FGF әдісі полимерлі экструзиядағы дамудың жаңа кезеңі ретінде қарастырылады. FGF- басып шығару әдісінің жұмыс істеу принципі. Экструдерді FGF 3D принтерінде жылжыту принципі дәстүрлі FFF (Fused Filament Fabrication) - балқытылған жіппен жасау принтеріндегідей, алайда, филаменттің орнына шығын материалы композиттік түйіршіктер болып табылады. Түйіршіктерді өңдеу үшін бункер және бұрандалы экструдер сияқты қосымша қондырғылар қолданылады. Экструдердегі бұранда түйіршіктерді беру жүйесінің кірісінен саптаманың тесігіне жылжытады. Саптама арқылы экструдталғанға дейін балқытылған композиция бұранданы айналдыратын қозғалтқыш арқылы жоғары қысымға ұшырайды.



Сурет7 - Принтер PioCreat G5

Түйіршіктер (6-сурет) жіпті өндіруге арналған негізгі шикізат болып табылады. Шығын материалдарын өндірудің технологиялық кезеңдерінің бірін жою арқылы біз өнімнің төмен құнын аламыз.



Сурет 8 - TOTAL GF 10% маркалы композиттік түйіршіктер

FFF технологиясының негізгі кемшіліктерінің бірі басып шығарылған қабаттар бойымен алынған өнімдердің төмен беріктігі болып табылады. Орташа алғанда Z осі бойынша созылу күші материалға арналған паспортқа қарағанда 3 есе төмен. FFF және FGF технологияларын пайдалана отырып, 3D принтерлерде басып шығарылған үлгілердің беріктігін зерттеу FGF әдісімен алынған үлгілердің (түйіршіктер мен ұсақталған қалдықтар) механикалық қасиеттерінің FFF әдісімен алынған үлгілермен салыстыруға болатынын көрсетті. Экструдер өнімділігі сағатына 2 кг болатын өнеркәсіптік жабдыққа келетін болсақ, біз барлық осьтерде механикалық қасиеттері бойынша біртекті, қысыммен құйып қалыптау арқылы алынған өнімдермен салыстырылатын өнімдер аламыз. Композиттік түйіршіктермен басып шығару бойынша тәжірибелер жүргізілді, басып шығару параметрлері 4 кестеде көрсетілген.

Кесте 4 – PioCreat G5 3D принтерінің техникалық сипаттамасы



Басып шығару материалы	Пластиковые гранулы
Басып шығару саптамаларының саны	1
Экструдердің температурасы	450 °C
Үстел температурасы	150 °C
Басып шығару аймағы	500x500x500 мм
Калибрлеу	Автоматты
Басып шығару / өсіру жылдамдығы	80 - 100 мм/с
Қабаттың қалыңдығы	0.2 - 1.0 мм
Түстер саны	1 түс
Саптама	0.8 - 2 мм
Қолдануға болатын материалдар	PLA/ PETG/ PVC/ ABS/ PC/ PA/ HDPE/ TPU/ EVA; PC+ABS; PA+Fiber; WPC; MQP-S+PA12; EVA

Полимерлі түйіршіктерді пайдаланып басып шығару материалды таңдаудың әртүрлілігін қоса алғанда, одан да үлкен өндіріс мүмкіндіктеріне есік ашады. Егер біз жіп нарығы туралы айтатын болсақ, онда ассортимент тез өсетіні сөзсіз, бірақ ол түйіршікті термопластиканың үлкен таңдауы мен алуан түрлілігіне сәйкес келмейді. Бұл жағдайда түйіршіктердің құны әдетте материалдың бірдей түріне арналған жіп құнынан 24 есе төмен болады. Бұл жіп жасау үшін қажет өндіріс процесінің қосымша қадамдарына байланысты. FGF технологиясын пайдалану жалпы және тозуға төзімді жабдықты, фрезерлік дайындамаларды және функционалды өнімдерді өндіру құны мен уақытын төмендетуге ықпал ететін негізгі фактор болады.

### **Бақылау сұрақтары**

1. Прототип жасау технологиясын таңдау неге байланысты.
2. Опцияларды бөлуге болатын топтарды тізімдеңіз прототиптерді конструкторлық қолдану.
3. Архитектурада модельдердің құрылысы не үшін қолданылады?
4. Аддитивті технологияларды қолдану мысалдарын келтіріңіз машина жасау.
5. Реактивті құю технологиясын сипаттаңыз.