

## Дәріс 4

### 3D басып шығару саласындағы көпжақты модельдеу технологиясы (MJM - Multi Jet modeling)

MJM (Multi Jet Modeling) немесе көпжақты модельдеу технологиясы – 3D басып шығаруда қолданылатын прогрессивті әдіс. Ол жоғары дәлдіктегі күрделі геометриялы және көп материалды бөлшектерді жылдам жасауға мүмкіндік береді. MJM-технологиясы фотополимер негізіндегі түрлі-түсті және күрделі детальдар, инженерлік және медициналық қосымшалар үшін кеңінен қолданылады. Бұл әдіс бөлшектерді бірнеше материалдың қоспасын қолдана отырып модельдеу арқылы нақты, жоғары сапалы өнімдер жасауға мүмкіндік береді. Осы әдебиетке шолуда MJM технологиясының негізгі принциптері, артықшылықтары, жетіспеушіліктері, қолдану салалары және болашағы қарастырылады.

#### 1. MJM-технологиясының негізгі принциптері

MJM-технологиясы сұйық фотополимерден жасалған өнімнің әрбір қабатын арнайы баспа басы арқылы қабат-қабат етіп құрастыруға негізделген. Баспа басы фотополимер тамшыларын дәлдікпен төгіп, әр қабат ультракүлгін (УК) жарықпен қатайтылады. Әрбір қабат аяқталған соң, келесі қабат полимер тамшыларымен толтырылып, өнімнің үш өлшемді моделі қалыптасады. MJM басып шығаруда бір уақытта бірнеше баспа басын қолдануға болады, бұл әртүрлі фотополимерлерді бір мезетте басып шығаруға мүмкіндік береді. Бұл тәсілдің арқасында MJM басқа 3D басып шығару технологияларына қарағанда әлдеқайда көп материалды өңдеуге қабілетті [1, 2].

#### 2. MJM принтерлерінің негізгі компоненттері

MJM принтерлерінің басты компоненттері – баспа басы, фотополимерлер контейнері және УК жарық көзі. Баспа басы – MJM технологиясының негізгі бөлімі, ол бір уақытта бірнеше тамшы полимерді қатайтуды басқару арқылы әртүрлі материалдар мен түстерді қосуға мүмкіндік береді. Әдетте MJM принтерлерінің құрылымында материалдар контейнері мен платформалар қолданылады, ал бұл материалдар қажетті температура мен қысымды сақтап тұрады. Сонымен қатар, жұмыс алаңының беті де әр қабатты тегістеуге және қатайтылған полимердің дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Зерттеу жұмыстары [3] көрсеткендей, MJM технологиясында қолданылатын көпфункционалды баспа бастарының арқасында көп материалды және күрделі бөлшектерді басып шығаруға болады.

#### 3. MJM-технологиясының артықшылықтары

MJM технологиясының басты артықшылықтарының бірі – әртүрлі материалдарды қолдану арқылы күрделі пішіндер мен құрылымдарды дәл жасау мүмкіндігі. Осы технологияның арқасында MJM бөлшектердің ішкі құрылымына әсер ете отырып, көп түсті және түрлі қасиеттері бар элементтерден тұратын өнімдерді шығаруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, MJM арқылы басып шығарылған детальдарда жылтыр бет пен жоғары ажыратымдылық болады, бұл оларға нақты және сапалы көрініс береді [4].

МЖМ технологиясының тағы бір артықшылығы – оның жоғары өнімділігі. Әр қабат толығымен қатайтылғаннан кейін келесі қабат қатайтылған тамшылардың үстіне бірден салынады, бұл жалпы өндіріс уақытын қысқартады. Қосымша ретінде МЖМ-технологиясы көп материалдардан тұратын бөлшектерді қажет ететін медициналық, электроника және автомобиль өнеркәсібі үшін тиімді.

#### **4. МЖМ-технологиясының жетіспеушіліктері және шектеулері**

МЖМ технологиясының басты жетіспеушілігі – фотополимерлерге тәуелділігі, себебі баспа барысында тек осы материалдар қолданылады. Фотополимерлердің қасиеттері металдар немесе басқа қатты материалдарға қарағанда әлсіз болуы мүмкін, сондықтан МЖМ көмегімен жасалған бөлшектер механикалық беріктілік талап ететін қолдану аймақтарында ұзақ қызмет көрсете алмауы мүмкін [5]. Сондай-ақ, фотополимерлердің шығыны жоғары болуы мүмкін, себебі басып шығару кезінде қосалқы материалдар мен қалыптарды қолдану қажет.

Екіншіден, МЖМ-технологиясының жоғары дәлдікті талап ететін басып шығару материалдары өте сезімтал, сондықтан тұрақты температура мен оңтайлы қатайту шарттарын қажет етеді. Бұл кейбір өндірістік ортада технологияның қолданысын шектейді. Сонымен қатар, МЖМ технологиясының өзіндік құны жоғары, себебі ол күрделі құрылғыларды қажет етеді және арнайы фотополимерлерді қолданады, бұл оның коммерциялық тиімділігін шектейді.

#### **5. МЖМ-технологиясының заманауи дамуы және инновациялары**

Соңғы жылдары МЖМ технологиясы бойынша үлкен өзгерістер орын алды, соның ішінде жаңа фотополимерлер мен арнайы материалдар өңделуде. Мысалы, биосәйкес фотополимерлер медициналық салада қолдану үшін дайындалып жатыр. Сондай-ақ, зерттеушілер жоғары температура мен қысымға төзімді фотополимерлерді жасап, олардың беріктілігі мен ұзақ мерзімділігін арттырып келеді [6]. Заманауи фотополимерлердің арқасында МЖМ басып шығаруының ауқымы кеңейіп, әртүрлі салаларға, оның ішінде микроэлектроника мен медициналық импланттарға қолданылуда.

Сонымен қатар, МЖМ технологиясы көптүрлі баспа бастарының дамуы арқылы жетілдірілуде. Заманауи принтерлерде әртүрлі фотополимерлерді бір уақытта қолдануға мүмкіндік беретін арнайы насадкалар енгізіліп, өндірістің дәлдігі мен өнімділігі арттырылды. Зерттеулер [7] көрсеткендей, жаңартылған МЖМ принтерлері бөлшектердің бетін тегістеу және нақтылау әдістерін қосып, олардың сапасын арттырады.

#### **6. МЖМ-технологиясының қолдану салалары**

МЖМ технологиясы медицина, стоматология, электроника және авиация өнеркәсібінде кеңінен қолданылады. Медициналық салада МЖМ технологиясы тіс протездері, хирургиялық құралдар және жеке импланттар жасау үшін қолданылады. Жоғары дәлдік пен сапалы бетінің арқасында МЖМ тіс пен басқа да күрделі формаларды айнытпай басып шығаруға мүмкіндік береді.

Электроникада МЖМ микросхемалар мен электроникалық компоненттерді прототиптеу үшін қолданылады, себебі МЖМ технологиясы

эртүрлі материалдарды қосу арқылы бір бөлшекте эртүрлі функционалды қасиеттерді біріктіруге мүмкіндік береді [8]. Әуе және автомобиль өнеркәсібі де МЖМ арқылы кішігірім бөлшектерді тез әрі тиімді өндіріп, өндіріс процесін жеделдете алады.

## **7. МЖМ-технологиясының болашақтағы мүмкіндіктері мен перспективалары**

МЖМ технологиясының болашақтағы даму бағыттарының бірі – экологиялық таза фотополимерлерді қолдану және олардың механикалық қасиеттерін жақсарту. Ғалымдар МЖМ технологиясы үшін жаңа материалдарды зерттеу жұмыстарын жүргізіп, оларды арнайы химиялық қосындылармен жетілдіруде. Сонымен қатар, болашақта МЖМ технологиясын масштабтау үшін принтерлердің жұмыс алаңы мен құрылымдарын кеңейту қажет болады, бұл үлкен бөлшектерді шығару мүмкіндігін арттырады.

Зерттеулер көрсеткендей, МЖМ технологиясының болашағы жасанды интеллект пен деректерді өңдеу арқылы процесті оңтайландыруға бағытталған. Мысалы, деректерді талдай отырып, МЖМ принтері әрбір қабат үшін оңтайлы қатайту параметрлерін автоматты түрде реттей алады, бұл өнімнің сапасын және тұрақтылығын арттырады [9, 10].

Тұтқыр реактивті технологиялар эртүрлі нұсқаларда келеді. Материалды саптамалар арқылы итермелеу және мақсатты субстратта воксельдер қалыптастыру үшін оны балқу температурасынан жоғары қыздыру арқылы сұйылтуға болады. Мысалдарға термиялық балауыз, полимер және металл жатады. Полимерлі жүйелер 300–400 °С температураға дейін жетуі мүмкін, ал металлға басып шығару 1000–1500 °С диапазонынан асып кетуі мүмкін беті және бұрын жасалған қабаттар/детальдар, таралатын воксель, осылайша ажыратымдылық пен құрылымды анықтауды шектейді. Негізгі артықшылығы - қатайғаннан кейін материалдың қасиеттерін қалпына келтіру.

Әр түрлі саптама жүйелері әзірленді. Қолданбалы ғылыми зерттеулер бойынша Нидерланд ұйымы (TNO) тұтқырлығы жоғары материалдары бар жүйелерге арналған бүрку жүйесін әзірледі. Технология жақсы анықталған тамшылардың тұрақты ағынын жасау үшін Плато – Рэйлей тұрақсыздығына негізделген. Тұрақсыздық пьезоның бұзылуымен үйлесетін саптаманың конструкциясынан туындайды [60]. Жүйе металл (Sn, Au және Ag) және полимерлі жүйелер жағдайында өлшемі 40–50 мкм болатын воксельдерді құру мүмкіндігін көрсетті. Артық тамшыларды/воксельдерді механикалық немесе электрлік жолмен жою сияқты сұраныс бойынша тамшыларды қолдану үшін бірнеше әдістемелер енгізілген.

Тұтқырлығы жоғары TNO ағынының басының суреті 1.3-суретте көрсетілген. Желдету жүйелері эртүрлі саптамалар эртүрлі материалдарды жинаққа жеткізе алатын көп материалды қолданбалар үшін өте қолайлы. Мәселелерге материал интерфейсінің тұрақсыздығы, материалдың үйлесімділігі және қажетсіз араластыру жатады.

Тиісті қолдану дисперсті тамшыларды жақсы анықталған салқындату немесе кептіру арқылы монодисперсті бөлшектердің (ұнтақтар) түзілуі болып

табылады. Технология металл ұнтағын қалыптастыруға (салқындатқыш сұйықтыққа батыру арқылы) және құрғақ сүт пен жұқа химиялық заттарды қалыптастыруға (кондиционермен салқындату арқылы) сәтті қолданылды [61]. TNO ішкі фильтрациясы бар көп түйінді жүйе тұжырымдамасы бойынша зерттеу жүргізді. Сия бүріккіш басып шығару сонымен қатар металл нанобөлшектерінің төмен температуралы 3D металл микроқұрылымына қолданылды [62].

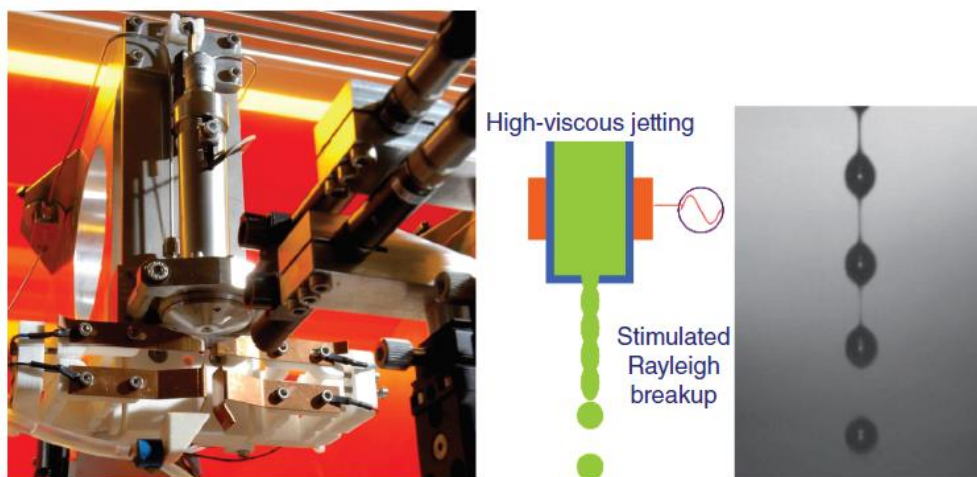


Рисунок 1 Тұтқырлығы жоғары реактивті жүйенің суреті, диаграмма және алынған тамшылардың пішіні.

### Қорытынды

MJM (Multi Jet Modeling) – фотополимерлерді қолдана отырып, күрделі пішіндер мен көп материалды бөлшектерді жасауға мүмкіндік беретін перспективті 3D басып шығару технологиясы. MJM принтерлері медицина, электроника, стоматология сияқты дәлдік пен жоғары сапа талап ететін салаларда кеңінен қолданылады. Оның көптеген артықшылықтарына қарамастан, технологияның фотополимерлерге тәуелділігі және өндіріс құнының жоғары болуы оның кейбір өндіріс орталарында қолдану мүмкіндігін шектейді. Болашақта жаңа материалдар мен технологияларды енгізу арқылы MJM мүмкіндіктері кеңейе түседі.