

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

Өнеркәсіптік инженерия кафедрасы

Жұбанышов Наурызбек Аманжолұлы

«Жұқа қабырғалы бөлшектерді 3D басып шығару технологиясы»

Дипломдық жобаға

ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

5B071200 – Машина жасау

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

Өнеркәсіптік инженерия кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

PhD д-ф, қауым. профессор

_____ Арымбеков Б.С.

« ____ » _____ 2020 ж.

Дипломдық жобаға

ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

Тақырыбы: «Жұқа қабырғалы бөлшектерді 3D басып шығару
технологиясы»

5B071200 – Машина жасау

Орындаған

Жұбанышов Наурызбек Аманжолұлы

Ғылыми жетекші,

ассоциированный профессор

_____ Исаметова М. Е.

« ____ » _____ 2020 ж.

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

Өнеркәсіптік инженерия кафедрасы

5B071200 – Машина жасау

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі

PhD д-ф, қауым. профессор

_____ Арымбеков Б.С.

« ____ » _____ 2020 ж.

**Дипломдық жоба орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Жұбанышов Наурызбек Аманжолұлы

Тақырыбы «Жұқа қабырғалы бөлшектерді 3D басып шығару технологиясы»

Университет ректорының «__» _____ 20__ ж. №_____ бұйрығымен
бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «__» _____ 20__ ж.

Дипломдық жобаның бастапқы берістері Жұқа қабырғалы бөлшектерді 3D
басып шығару технологиясы зерттеу, және салыстыру

Дипломдық жобада қарастырылатын мәселелер тізімі

а) Қосымша өнімдер: технологиялар және материалдарды зерттеу

б) 3D басып шығару ерекшеліктерін анықтау

в) Микроскопиямен зерттеу.

Ұсынылған негізгі әдебиет: 6 атау

Дипломдық жобаны дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәліметтер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Кіріспе. Әдеби шолу		
3D басып шығару ерекшеліктер		
Нәтижелер		
Микроскопиямен зерттеу.		

Дипломдық жоба бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жобаға қойған қолтаңбалары

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

Ғылыми жетекші _____ Исаметова М. Е.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы _____ Жұбаньшов Н. А.

Күні «__» _____ 2020 ж.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	8
1 Әдеби шолу	10
1.1 Қосымша технологиялардың артықшылықтары	14
1.2 Қосымша өнімдер: технологиялар және материалдар	16
1.3 Әдеби шолу бойынша қорытынды жасау.	17
2 3D басып шығару ерекшеліктер	18
3 Нәтижелер	20
3.1 Әр түрлі еріткіштердегі әртүрлі пластикалық материалдардың тұрақтылық сынақтары.	20
3.2 Бұзылу процестерін механикалық зерттеу.	22
3.3 3D басып шығару параметрлерінің химиялық тұрақтылыққа әсері	25
3.4 Микроскопиямен зерттеу.	27
Қорытынды	29
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	30

КІРІСПЕ

Аддитивті өндіріс технологиялары химиялық инженерияда, сандық прототиптеуде, микрореакторларды жобалауда және медициналық құрылғыларды әзірлеуде, сондай-ақ басқа да көптеген салаларда неғұрлым танымал болып келеді. Қазіргі уақытта 3D-басып шығару бірнеше зерттеу және материалдарды әзірлеу саласына белсенді қатысады. Ол күрделі бөлшектерді жасауға мүмкіндік береді, оларды дайындау қарапайым әдістермен қиын және қымбат болуы мүмкін; оның кең таралуы қымбат емес үстел үсті 3D-принтерлерінің іске қосылуымен байланысты. Аддитивті өндіріс технологиялары қабаттарды қалыптастыру принциптері мен қолайлы материалдарды қолдану салалары бойынша ерекшеленетін бірнеше әдістерді қамтиды. Балқытылған шөгуді (FDM) үлгілеу деп аталатын өте танымал аддитивті өндіріс технологиясы қыздырылған шүмек арқылы термопластикалық полимердің қабаттық шөгуі болып табылады. Оның негізгі артықшылықтары FDM дербес 3D принтерлерінің төмен құны және қолайлы термопласттардың кең ассортименті болып табылады. FDM принципі кейбір дәстүрлі емес материалдарды қолдануға мүмкіндік береді, мысалы, кейбір биополимерлер, полимерлік композиттер, металл оксиді болып саналады. Ол түрлі мақсаттар үшін 3D-басып шығарудың ең кең мүмкіндіктерін ұсынады. 3D-басып шығару саласындағы қазіргі заманғы проблемалар прототиптеу ғана емес, практикалық қолдану үшін функционалдық бөліктерді құруды да қамтиды. Медицинада ол жасанды протездер мен имплантаттарды салыстырмалы төмен шығынмен дайындауға мүмкіндік береді.

3D баспа бөлшектері бетінің ерекше түріне ие және әр түрлі микроқұрылымдық ақауларға ие (мысалы, тері тесігі, қабаттар арасындағы кеңістіктер мен бос жерлер). Еріткіш молекулалары осы ақауларға еніп, қатты сұйық интерфейстің бетін ұлғайтып, еріткіштердің әсеріне төзімділігін төмендетеді.

Бұл дипломдық жұмыста кеңінен танымал термопластика PLA, ABS, SBS, HIPS, PETG, Nylon, POM, PP, PE, сонымен қатар FDM басып шығаруға арналған жаңашылдарға талдау жасалды: PLA-Cu (PLA-дан жасалған мыс), Прималлой, Керамо, Нейлон-С (көміртегі қабаты бар нейлон).

3D баспа бөлшектерін органикалық еріткіштердің әсеріне төзімділігін (1) баспа материалын модификациялау және FDM басып шығару параметрлерін оңтайландыру арқылы жақсартуға болады. Толтырғыштарды полимер матрицасына қосу шөгуді едәуір азайтады және осылайша басып шығарудың өлшемді дәлдігін жақсартады. Талшықты фломерлер шөгуді азайтып қана

қоймайды, сонымен қатар FDM бөліктерінің механикалық беріктігін және сәйкесінше композиттік реакторларда және басқа жабдықтарда олардың сенімділігін арттырады. Мысалы, нейлонның бөлінбеген бөліктері айтарлықтай кішірейеді, ал көміртекті нейлоннан шығарылған бірдей бөліктер қысқаруға аз бейім және сонымен қатар күшті, әсіресе күш қабаттар бойымен қолданылған кезде. FDM параметрлері мен геометриясын оңтайландыру қабырға қалыңдығы, басып шығару температурасы, құйылу тығыздығы және т.б., басылған бөліктің микроорганизмін төмендетуге мүмкіндік береді және осылайша оның агрессивтік медиаға төзімділігімен байланысты өткізбейтіндігін арттырады.

1 Әдеби шолу

3D-баспа өнімдерін кеңінен пайдалану тиісті материалдарды, атап айтқанда, әртүрлі органикалық және органикалық емес заттарға төзімді таңдауды маңызды етеді.

Аддитивті өндіріс технологиялары химиялық инженерияда, сандық прототиптеуде, микрореакторларды жобалауда және медициналық құрылғыларды әзірлеуде, сондай-ақ басқа да көптеген салаларда неғұрлым танымал болып келеді. Қазіргі уақытта 3D-басып шығару бірнеше зерттеу және материалдарды әзірлеу саласына белсенді қатысады. Ол күрделі бөлшектерді жасауға мүмкіндік береді, оларды дайындау қарапайым әдістермен қиын және қымбат болуы мүмкін; оның кең таралуы қымбат емес үстел үсті 3D-принтерлерінің іске қосылуымен байланысты.

Аддитивті өндірістің қалдықсыз, әмбебап және қымбат емес технологиялары тәжірибелі үлгілер мен функционалдық бөлшектерді тез және дәл дайындауға мүмкіндік береді. 3D басып шығару кейде жаңа өнеркәсіптік революция деп аталады.

Аддитивті өндіріс технологиялары қабаттарды қалыптастыру принциптері мен қолайлы материалдарды қолдану салалары бойынша ерекшеленетін бірнеше әдістерді қамтиды. Балқытылған шөгуді (FDM) үлгілеу деп аталатын өте танымал аддитивті өндіріс технологиясы қыздырылған шүмек арқылы термопластикалық полимердің қабаттық шөгуі болып табылады. Оның негізгі артықшылықтары FDM дербес 3D принтерлерінің төмен құны және қолайлы термопласттардың кең ассортименті болып табылады. FDM принципі кейбір дәстүрлі емес материалдарды қолдануға мүмкіндік береді, мысалы, кейбір биополимерлер, полимерлік композиттер, металл оксиді болып саналады. Ол түрлі мақсаттар үшін 3D-басып шығарудың ең кең мүмкіндіктерін ұсынады. 3D-басып шығару саласындағы қазіргі заманғы проблемалар прототиптеу ғана емес, практикалық қолдану үшін функционалдық бөліктерді құруды да қамтиды. Медицинада ол жасанды протездер мен имплантаттарды салыстырмалы төмен шығынмен дайындауға мүмкіндік береді.

3D-баспа технологиялары жоғары тиімді, жоғары жылдамдықты және шағын сериялы және бірлі-жарым өндіріс үшін экономикалық тиімді болып табылады. Металл өңдеу саласында жетістіктер соншалықты кең емес, бірақ 20 жылдан астам уақыт ішінде құрал-саймандар өндірісінің алғашқы оң нәтижелері бар. [2] 3D басып шығаруды қолдану мұндай жабдықты әзірлеу мен дайындауға кететін уақыт шығындарын 80% - ға қысқартуға және жабдықты дайындау құнын 70% - ға төмендетуге қабілетті екендігі анықталды. [4,5]

Көптеген 3D-принтерлер арасында пластикалық бұйымдарды жасауға арналған принтерлер металл немесе басқа материалдармен жұмыс істеуге арналған принтерлермен салыстырғанда әлдеқайда арзан.[6] Сондықтан пластикалық материалдарды қолдану мүмкіндігі экономикалық жағынан тиімді болып табылады. Ең алдымен ұсақ сериялы және бірлі-жарым өндіріс салалары кең игерілуде. [7] Автокөлік өнеркәсібі болашаққа қосалқы бөлшектер мен жеке автокөлік өндірісінің болашағын көре отырып, бұл процеске үлкен мән береді. [8,9] Авиация саласының бөлшектерін гидрооқшаулауға арналған пластикалық құралды қолдануды қызықты деп атауға болады.

Материалдарды таңдау химия өнеркәсібінде, биотехнологияда, машина жасауда, катализде және іргелі зерттеулерде қолдану үшін әрдайым айқындаушы болады. 3D баспа кезінде фламентті балқыту оның микроқұрылымын айтарлықтай өзгерте алады; бұл модификацияның дәрежесі мен сипаты баспа параметрлеріне байланысты болуы мүмкін. Сонымен қатар, FDM бөліктері өте пористы. Бұл факторлар сол материалдардан классикалық әдістермен (күю, токарлық өңдеу, қалыптау және т.б.) жасалған бөлшектермен салыстырғанда әр түрлі ортадағы FDM бөлшектерінің тұрақтылығына айтарлықтай әсер етеді). Жабдықтың пластмасса функционалдық бөліктері сумен немесе спиртпен байланыста болуы мүмкін; кейбір жағдайларда олар органикалық еріткіштердің әсеріне ұшырайды.

Пластмассалар - органикалық синтетикалық немесе табиғи полимерлерге негізделген материалдар, олардан жылыту мен қысым қолданғаннан кейін күрделі конфигурация өнімдерін қалыптауға болады. Полимерлер дегеніміз - химиялық байланыспен байланысқан көптеген бірдей атомдық топтары бар ұзын молекулалардан тұратын жоғары молекулалық қосылыстар. Полимерден басқа, пластмассада бірнеше қоспалар болуы мүмкін. Пластмассадан өңдеу - бұл белгілі бір конфигурациясы, дәлдігі және пайдалану қасиеттері бар өнімдер - бөлшектердің алынуын қамтамасыз ететін технологиялық процестердің жиынтығы. Егер таңдалған материалдық-технологиялық процесс өнімнің белгіленген талаптарын қанағаттандырса, өнімнің жоғары сапасына қол жеткізіледі: электрлік, механикалық беріктік, химиялық төзімділік, тығыздық, мөлдірлік және т.б.

Жаңа технологияларды қолдану - өнеркәсіптік өндірістің кез-келген саласында соңғы жылдардағы басты бағыт. Әлемдегі кез-келген компания ең жаңа әдістер мен материалдарды қолдана отырып, арзан, сенімді және сапалы өнімдер жасауға тырысады.

Аддитивті технологияларды қолдану жаңа әзірлемелер мен жабдықтар дәстүрлі өндірісті айтарлықтай жақсартуға болатындығының айқын

мысалдарының бірі болып табылады. Аддитивті технологиялардың даму қарқындылығы ұқсас емес. Бұл технологиялар өнімді жобалау және құру процестерін түбегейлі өзгертті, оларды өнімді үздіксіз жасау процесіне айналдырды.

Қосымша өндіріс технологиялары кез-келген өнімді 3D компьютерлік модель негізінде қабаттарда шығаруға мүмкіндік береді. Нысанды жасаудың бұл процесі біртіндеп өндіруге байланысты «өсіру» деп те аталады. Егер басында дәстүрлі өндірісте біз барлығын артық мөлшерде кесіп тастайтын немесе оны деформациялайтын дайындамамыз болса, онда аддитивті технологиялар жағдайында жаңа өнім ешнәрседен (нақтырақ айтсақ, тұтынылатын аморфтан) тұрады.

Алғашқы қоспалық өндіріс жүйелері негізінен полимерлі материалдармен жұмыс істеді. Бүгінгі күні қоспалық өндірісті білдіретін 3D принтер олармен ғана емес, сонымен қатар инженерлік пластмассалармен, композициялық ұнтақтармен, түрлі металлдармен, керамикамен және құммен де жұмыс істей алады. Аддитивті технологиялар машина жасауда, өнеркәсіпте, ғылымда, білімде, дизайнда, медицинада, құю өндірісінде және көптеген басқа салаларда белсенді қолданылады.

1.1 Қосымша технологиялардың артықшылықтары

Аддитивті технологиялар немесе қабаттарды синтездеу технологиялары - бүгінгі таңда сандық өндірістің ең қарқынды дамып келе жатқан саласы. Бір комбайндар олардың себебі қоспа деп атауға болады көптеген технологиялар бар: құрылыс моделі материал қосу арқылы жүреді (ағылшын. ADD - айырмашылығы «қосу») элементтердің құру «артық» материалдарды алып тастау арқылы жүреді дәстүрлі әдістері.

Аддитивті технологиялардың негізгі артықшылықтары:

- Дайын өнімнің қасиеттері жақсарды. Қабатты құрылыстың арқасында өнімдер ерекше қасиеттер жиынтығына ие. Мысалы, металды 3D принтерде жасалған, олардың механикалық әрекеті, тығыздығы, қалдық кернеуі және басқа да қасиеттері бойынша бөлшектер құю немесе өңдеу кезінде алынған аналогтардан жоғары.
- Шикізатқа үлкен үнемдеу. Аддитивті технологиялар сіздің өнімді шығару үшін қажетті материалдардың дерлік мөлшерін пайдаланады. Өндірістің дәстүрлі әдістерімен шикізаттың жоғалуы 80-85% дейін болуы мүмкін.
- Кешенді геометриясы бар өнімдерді шығару мүмкіндігі. Қосымша технологияларға арналған жабдықтар басқа жолмен алуға болмайтын

заттарды шығаруға мүмкіндік береді. Мысалы, бөлік ішіндегі бөлік. Торлы құрылымдарға негізделген өте күрделі салқындату жүйелері (бұны құю немесе штамптау арқылы алуға болмайды).

- Өндіріс және деректерді алмасуды жеделдету. Енді сызбалар, өлшемдер және көлемді үлгілер жоқ. Аддитивті технологиялар болашақ өнімнің компьютерлік моделіне негізделген, оны бірнеше минут ішінде әлемнің басқа шетіне жіберуге болады және бірден өндірісті бастайды. Дәстүрлі және аддитивті өндірістің айырмашылықтарын схемалық түрде келесі схемамен көрсетуге болады.

1.2 Қосымша өнімдер: технологиялар және материалдар

Аддитивті өндіріс дегеніміз - CAD моделін қолдана отырып, 3D принтерде өнімді өсіру процесі. Бұл процесс инновациялық болып саналады және өнеркәсіптік өндірістің дәстүрлі әдістерімен салыстырылады.

Бүгінгі таңда өндірісте қосымша қоспаларды бөліп алуға болады:

- FDM (балқытылған тұндыру модельдеу балқытылған пластикалық бұрымды өнімдерін жағуға -). Бұл әлемдегі ең кең таралған 3D басып шығару әдісі және миллиондаған 3D принтерлер ең арзаннан бастап өнеркәсіптік 3D басып шығару жүйелеріне дейін жұмыс істейді. FDM принтерлері әртүрлі пластмассалармен жұмыс істейді, олардың ішіндегі ең танымалы ABS. Пластмассадан жасалған бұйымдар өте берік, икемді және өнімді сынау, прототиптеу , сонымен қатар пайдалануға дайын қондырғыларды жасау үшін өте жақсы.
- SLA (арқылы қысқартылған Stereolithography) - лазерлік stereolithography , лазермен сұйық Фотополимер материал қатайтылған. Бұл қосымша сандық өндіріс технологиясы әр түрлі қасиеттері бар дәл өнімдерді шығаруға бағытталған.
- SLS (Selective lazer sintering) - полимерлі ұнтақтарды селективті лазерлік агломерация. Бұл технологияны қолдана отырып, әртүрлі физикалық қасиеттері бар үлкен өнімдерді алуға болады (беріктігі, икемділігі, ыстыққа төзімділігі және т.б.).
- Жедел прототиптеу технологиялары бөлек санатқа орналастырылуы керек . Бұл визуалды бағалауға, сынақтан өткізуге немесе қалыптарды жасауға арналған мастер модельдерге арналған 3 D баспа әдісі.
- LOM (ламинатталған Object Өндіріс) - арқылы объектілерді өндіру ламинация. Бұл әдіс лазерлік кесуді қолдана отырып, әр қабаттың

контурын қалыптастырумен парақтық материалдарды (қағаз, пластик, металл фольга) дәйекті байланыстыруды қамтиды. Бұл әдіспен өндірілген нысандар әдетте басып шығарғаннан кейін қосымша өңдеуге ұшырайды. Қолданылатын қабаттың қалыңдығы пайдаланылған парақ материалының қалыңдығына тікелей байланысты.

- MJM (Multi-jet Modeling) - фотополимер материалын қолдана отырып, көп реактивті модельдеу. Бұл технология құю үшін күйдірілген немесе балқытылған мастер-модельдерді, сондай-ақ әртүрлі бұйымдардың прототиптерін шығаруға мүмкіндік береді.
- PolyJet - ультракүлгін сәуле әсерінен сұйық фотополимерді емдеу. Технология прототиптер мен тегіс беттері бар шебер модельдерді алу үшін қолданылады. 3DP (үш өлшемді баспа) - үш өлшемді сиямен басып шығару цифрлық үш өлшемді модель негізінде физикалық нысандардың қабатты құрылысын қамтиды. Модельдің контурлары ұнтақтардың барлық түрлерінің жұқа қабатына байланыстырғышты қолданып, басып шығару механизмімен салынады. Осылайша, әр жаңа қабаттың бөлшектері бір-бірімен және алдыңғы қабаттармен бірге дайын үш өлшемді модель қалыптасқанға дейін желімделеді.
- Сонымен, полимерлермен 3D басып шығарудың ең жаңа технологиясы - CLIP (сұйық интерфейсті үздіксіз шығару) - сұйық полимердің үздіксіз интерфейсін салу технологиясы. Баспа жүйесі тікелей цифрлық проекциялық жүйенің үстінде орналасқан полимерлі резервуармен жабдықталған. Проектор мен полимер арасындағы контейнердегі тесік жарық пен оттегінің жұмыс ортасына жетуіне мүмкіндік береді, ал контакт линзасы дәл солай жасалған. Барлық қолданыстағы 3 D технологиясынан айырмашылығы , «басып шығару» ультрафиолет сәулеленуімен (полимерленуге ықпал етеді) және оттегімен (реакцияны бәсеңдетеді) полимермен әрекеттесу арқылы қабатта емес, үздіксіз жүреді.

Бұл дайын «көшірменің» жоғары беріктігіне және оны 10 микронға көбейту дәлдігіне қол жеткізуге мүмкіндік береді. Айта кету керек, осы технологияны қолданып 3D басып шығару бұрын белгілі болған кез-келген ұқсас құрылғыларға қарағанда 100. Жылдамырақ жүреді.

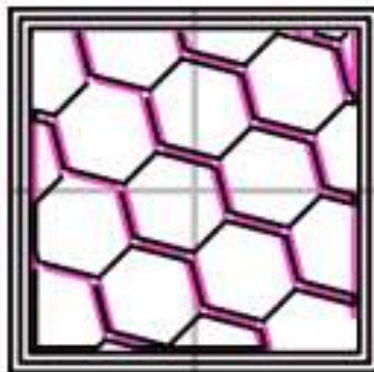
1.3 Әдеби шолу бойынша қорытынды жасау.

Әдеби дереккөздерге талдау жасай отырып, 20 ғасырдың 80-ші жылдарынан бастап белсенді дамып келе жатқан 3D баспа технологиясы

жетілдіріліп, дами береді деген қорытынды жасауға болады, алайда қазіргі уақытта 3D баспа саласында тек үлгілеу саласында ғана емес, сонымен қатар жұмыс істейтін өнімдерді, машина бөлшектерін жасау саласында, әсіресе авиа өнеркәсіптік кешенде айтарлықтай нәтижелерге қол жеткізілді. Модельдеу мақсатында 3D басып шығарудың құны бұдан 8 жыл бұрын СББ-де прототиптерді шығарумен салыстырғанда тартымды болды. Металмен 3D басып шығару құнының төмендеу үрдісі де байқалады. Осы кезеңде металдарды қысыммен өңдеу процестерін модельдеу мақсатында 3D баспаны қолдану мүмкін болып табылады және зерттеудің өзекті тақырыбы болып табылады. Алайда, штампалық жабдықтарды өндіру үшін 3D басып шығаруды қолдану үлкен қызығушылық тудырады. Өндірісті автоматтандырудың ұлғаю үрдісін қарастыра отырып, шығындарды төмендету, аспапты жылдам ауыстыру және қайта баптау процестерін жылдамдату, сондай-ақ жеке өндіріс үрдістерін жылдамдату, бұйымдарды дайындау үшін 3D баспаны қолдану зерттеудің өзекті тақырыбы болып табылады.

2 3D басып шығару ерекшеліктер

3D-басып шығару әдістің негізгі ерекшеліктері мен артықшылықтарын көрсету маңызды болып табылады. Кез келген бөлшектердің конфигурациясы мен күрделілігі бойынша шектеулердің болмауы, сондай-ақ белгілі бір пайыздық толтырумен ерекшеленеді. [13] Толтырудың сан алуан түрлері бар, сонын ішіндегі «Honeycomb-ды» қарастырсақ. «Honeycomb» (пчелиная сота) – аралар ұясы сияқты алты қырлы құрылымды толтыру. 1.10- суретте көрсетілген.

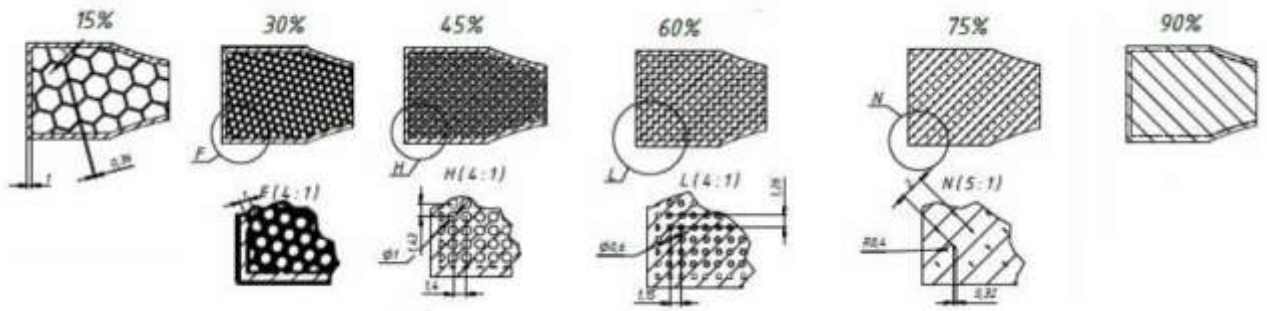


1.10-сурет - «Honeycomb» құрылымы. Тәжірибе үшін Honeycomb құрылымын қолдана отырып, 6 қырлы пайыздық толтырулар қолданылды: 15%, 30%, 45%, 60%, 75%, 90%



1.11-сурет - Құрылымдардың үлгілері

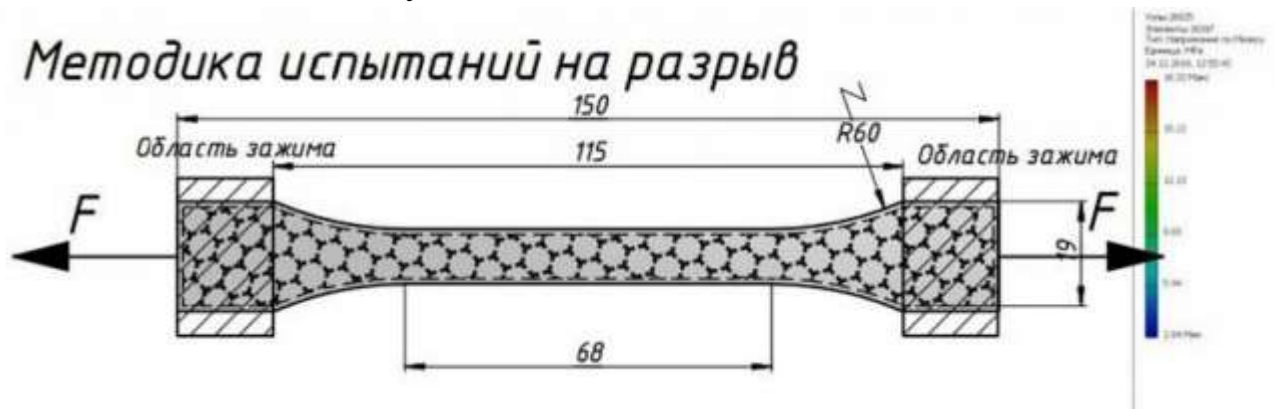
Үлгілердің 3D үлгілерін құру үшін суретте көрсетілген құрылымдардың үлгілерін қолданылады.



1.12 -сурет - Эскиз құрылымдары

15-30% толтыру кезінде алтыбұрыштар пайдаланылады, содан кейін олар шеңберге өтеді, содан кейін саңылаулы құрылымға өтеді.

Және бұл бұйымның қорытынды беріктігінде өте қатты ойнайды. Үлгілерді сынау MEMCT және ASTM стандарттары бойынша үзілуге жүргізілді. ГОСТ бойынша сынаудың 2 түрі - кәдімгі пластмасса және кеуекті. Сынауға арналған үлгі күріш бейнеленген. 1.13 үлгілер ағымдылық шегі аймағында қаралды. Тұрақтамаудан тыс жерде тек әлсіз толтырылған үлгілер ғана физикалық түрде бұзылмаған. Осылайша, қирауды бағалау критерийі ретінде 52 МПа тең созылу кезіндегі ағымдылық шегі есептеледі.



1.14-сурет- сынақ үлгісі

Сынақ нәтижелері бойынша негізгі қорытындылар:

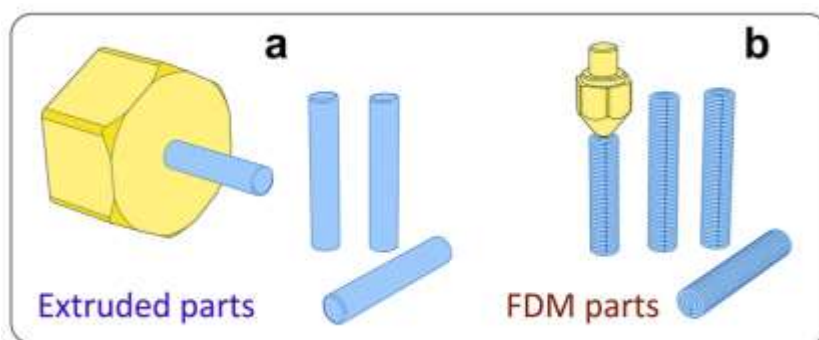
- Құйма үлгіні 15% - ға 15-20% - ға толтыру кезінде үзілу беріктігі.
- Құрылымы 30% және 75% нақты тәжірибе мен виртуалды бұл нашар құрылым екенін көрсетті - онда өнім төзімділіктің сызықтық өсуі бар деп санауға тиіс кем берік; Осылайша, егер мүмкін болса, 15% толық емес толтыруды пайдалану мағынасы бар, себебі материалға және басып шығару уақытына шығындарды үнемдеуге мүмкіндік береді.

3 Нәтижелер

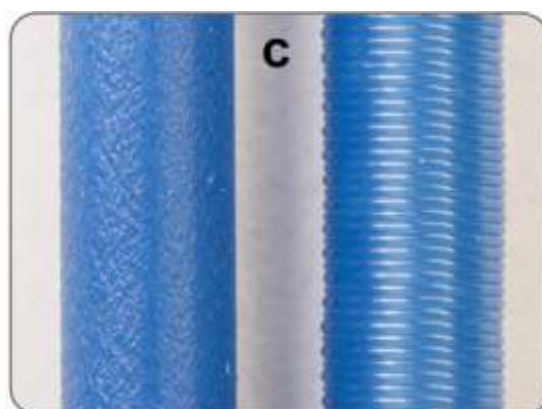
3.1 Әр түрлі еріткіштердегі әртүрлі пластикалық материалдардың тұрақтылық сынақтары.

3D баспа бөлшектері бетінің ерекше түріне ие және әр түрлі микроқұрылымдық ақауларға ие (мысалы, тері тесігі, қабаттар арасындағы кеңістіктер мен бос жерлер). Еріткіш молекулалары осы ақауларға еніп, қатты сұйық интерфейстің бетін ұлғайтып, еріткіштердің әсеріне төзімділігін төмендетеді.

3D-баспа объектілерінің химиялық беріктігіне ерекше беткі және микроқұрылымды ақаулардың әсерін бағалау үшін біз экструдирленген цилиндрлік бөлшектерді (диаметрі 2,85 мм) және оның дәл 3D-баспа көшірмесін сол материалмен, геометриямен және массамен пайдалана отырып салыстырмалы модельдік эксперимент жүргіздік (сурет.1). 1A-c).

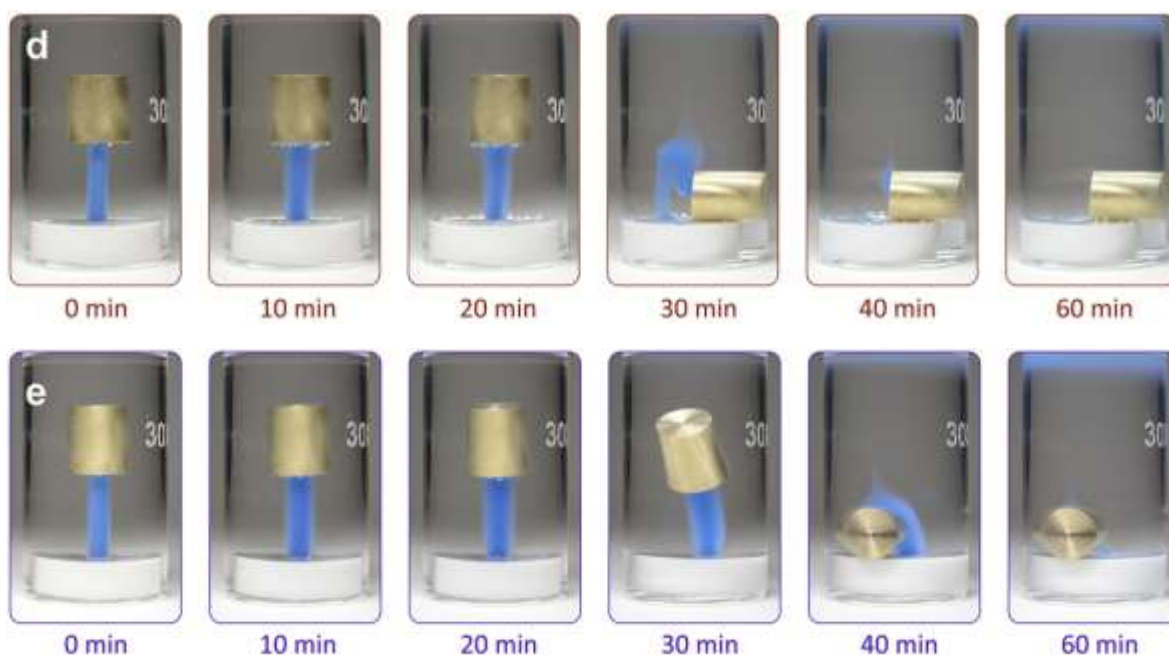


Сурет 1. FDM бөліктерінің тұрақтылық сынағын сұйық ортада ұсыну (a) экструдтаудың стандартты технологиясымен жасалған бөлшектері (b) FDM 3D басып шығару арқылы осы жұмыста жасалған PLA бөліктері



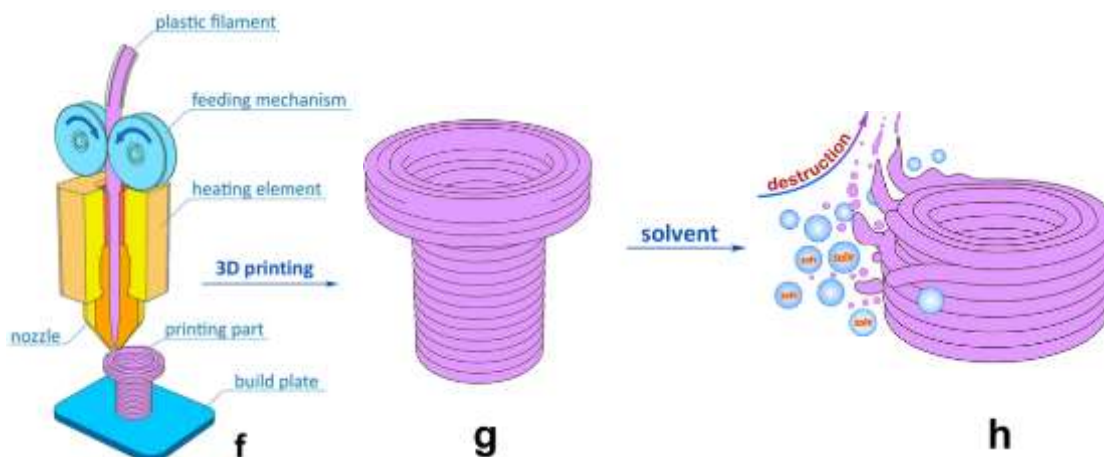
Сурет 1. FDM бөліктерінің тұрақтылық сынағын сұйық ортада ұсыну (с) бірдей диаметрі 2,85 мм болатын экструдалған бөліктің (сол жақ) және FDM басылған бөлігінің (оң жақ) макрофоттары;

Екі PLA бөлігі де DCM-ге батыру арқылы сыналды. Байқасаңыз, басқаша мінез-құлық байқалды және 3D басылған бөлігі тезірек пішінін жоғалтты (Сурет 1d, e). Салыстыру көрсеткендей, өндіріс режимі (дәстүрлі 3D өлшемі бойынша) сұйықтықпен жанасқанда нақты жұмыс жасау үшін өте маңызды. Қосымша өндіріс процедурасы объектінің нақты құрылымына әкеледі (1b, c, g), сондықтан қатты сұйық интерфейстегі өзара әрекеттесудің әр түрлі құрылымы құрылымның тұтастығын сақтауға және жалпы тұрақтылыққа қол жеткізуге жауап береді (1с-сурет).



Сурет 1. FDM бөліктерінің тұрақтылық сынағын сұйық ортада ұсыну (d, e) 3D-басылған бөлік үшін (экструзиялық көбейткіш $k = 0.9$) және экструдалған бөлік үшін DCM-де химиялық тұрақтылықты тексерудің суреттері, тұтастық индикаторы ретінде жез цилиндрімен);

Tis сынағы екі үлгі үшін де бірдей материалды қолданды және дайындау әдісі өте маңызды екенін көрсетті. Тус, қарапайым еріткішпен үйлесімділік диаграммасы (көлемді полимерлі материалдармен белгілі) FDM жасаған 3D-баспа бұйымдарына қолданылмайды және арнайы бағалау қажет. 3D-баспа нысандарындағы әртүрлі пластикалық материалдарды жылдам бағалау үшін арнайы процедура оңтайландырылды. FDM пластмассасынан химиялық қарсылықты зерттеуге арналған бірдей модельді бөліктер (түбі 10 мм диаметрі мен жалпы биіктігі 17мм (1g сурет) қуыс цилиндрлік бөлік) салынған.



Сурет 1. FDM бөліктерінің тұрақтылық сынағын сұйық ортада ұсыну (f) FDM негізіндегі қоспаларды өндіру қағидасы; (g) FDM шығарған қабатты құрылым, (h) 3D-баспа бетін еріткішпен әрекеттесу нәтижесінде бұзу.

Бұл дипломдық жұмыста кеңінен танымал термопластика PLA, ABS, SBS, HIPS, PETG, Nylon, POM, PP, PE, сонымен қатар FDM басып шығаруға арналған жаңашылдарға талдау жасалды: PLA-Cu (ПЛА-дан жасалған мыс), Прималлой, Керамо, Нейлон-С (көміртегі қабаты бар нейлон).

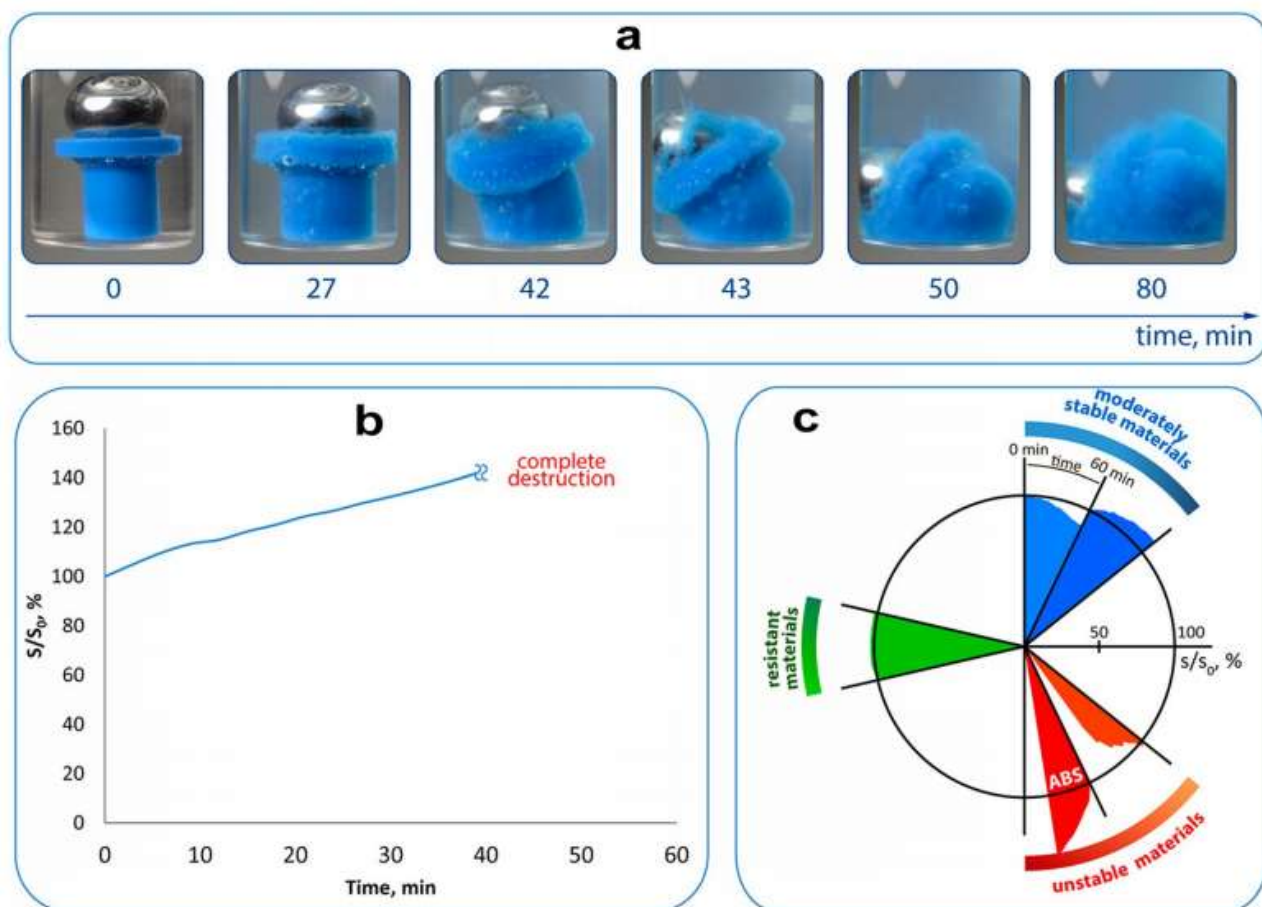
Фотополимеризация әдісімен стереолитографиясының фоторезиннен жасалған бөлігі сыналды. Сынақ процедурасы кезінде басып шығарылған бөліктер жеке ыдыстарға салынып, жойылғаны туралы болат немесе шыны моншақтармен толтырылды. Кейіннен еріткішті қосып, 20 сағат ішінде бірнеше уақыт нүктелерінде үлгі түсірілді.

Тәжірибелерде он екі түрлі еріткіштер қолданылды: дихлорометан (DCM), тетрагидрофуран (THF), ацетон, диметилформамид (DMF), толуол, этил ацетаты, триэтиламин (TEA), сірке қышқылы, этанол, күкірт қышқылының 0,5м сулы ерітіндісі, натрий гидроксидінің сулы ерітіндісі, және су.

ABS/DCM жүйесі үшін бұйымдардың сериялық суреттері 2a суретте көрсетілген. Суретте пластикалық затпен жабылған аймақ сандық көрсеткіш ретінде пайдаланылды. Эксперимент кезінде бұл аймақтың ұлғаюы ісіну процестерін көрсетеді, ал төмендеу сыналған объектінің ерігенін білдіреді. FDM бөліктері аймағының өзгеруін суреттейтін бұзылу қисықтары салынды; мысал 2b суретте көрсетілген.

Эксперимент барысында қисықтың сипаттамасы FDM материалының әр түрлі түрлеріне қарсылықты бағалауға мүмкіндік береді, ал өзгерістер сипаты бұзылу түрін көрсетеді. Салынған қисық бұрышпен және радиалды

қашықтықпен көрсетілген өлшемдердің тиісті арақатынасымен эксперименталды уақытпен айналмалы диаграммаға орналастырылды (сурет.1). 2С).



2-сурет. Тұтастық көрсеткіші ретінде DCM-де ABS бөлі (а) суреттер сериясы; (b) жойылу процесіне байланысты 3D-көгілдір цилиндрде орналасқан көрінетін үлкейтілген кеңістіктің қисық сызығы (көлденең ось эксперимент уақытын, тік ось нақты-бастапқы бағыттардың қатынасын көрсетеді); (c) шеңберлі диаграммадағы бейнелеу мысалдары: ABS тұрақсыз материал ретінде (қызыл), сонымен қатар неғұрлым тұрақты материалдардың (көк және жасыл) жалпы белгілері.

Осы қарапайым және эффективті әдісті қолдана отырып, бірқатар басқа полимерлік материалдар бағаланды. 3 суретте келтірілген мәліметтер барлық тексерілген материалдардың суға, қышқыл және негізгі сулы ерітінділерге және этанолға химиялық тұрғыдан төзімді екенін көрсетеді.

3.2 Бұзылу процестерін механикалық зерттеу.

Айта кету керек, бірінші топтағы материалдар агрессивті ортада әр түрлі мінез-құлықты көрсетеді, бұл материалға да, еріткішке де байланысты. Қатты сұйық интерфейстердегі процестерді электронды микроскопия арқылы зерттеу жүргізілді. Пластмассаны еріткіш арқылы жою, мысалы PLA-Cu немесе керамика полимер матрицасының ерітілуімен бірге бөлшектердің біртіндеп шығарылуымен бірге жүреді (4а-сурет).

Жою процесіне детальды-эмиссиялық сканерлеуші электронды микроскопияны (FE-SEM) қолдана отырып, егжей-тегжейлі талдау жүргізілді (5-сурет), бұл бөліктер арасындағы бөлікті жою сипатын талдауға мүмкіндік берді.

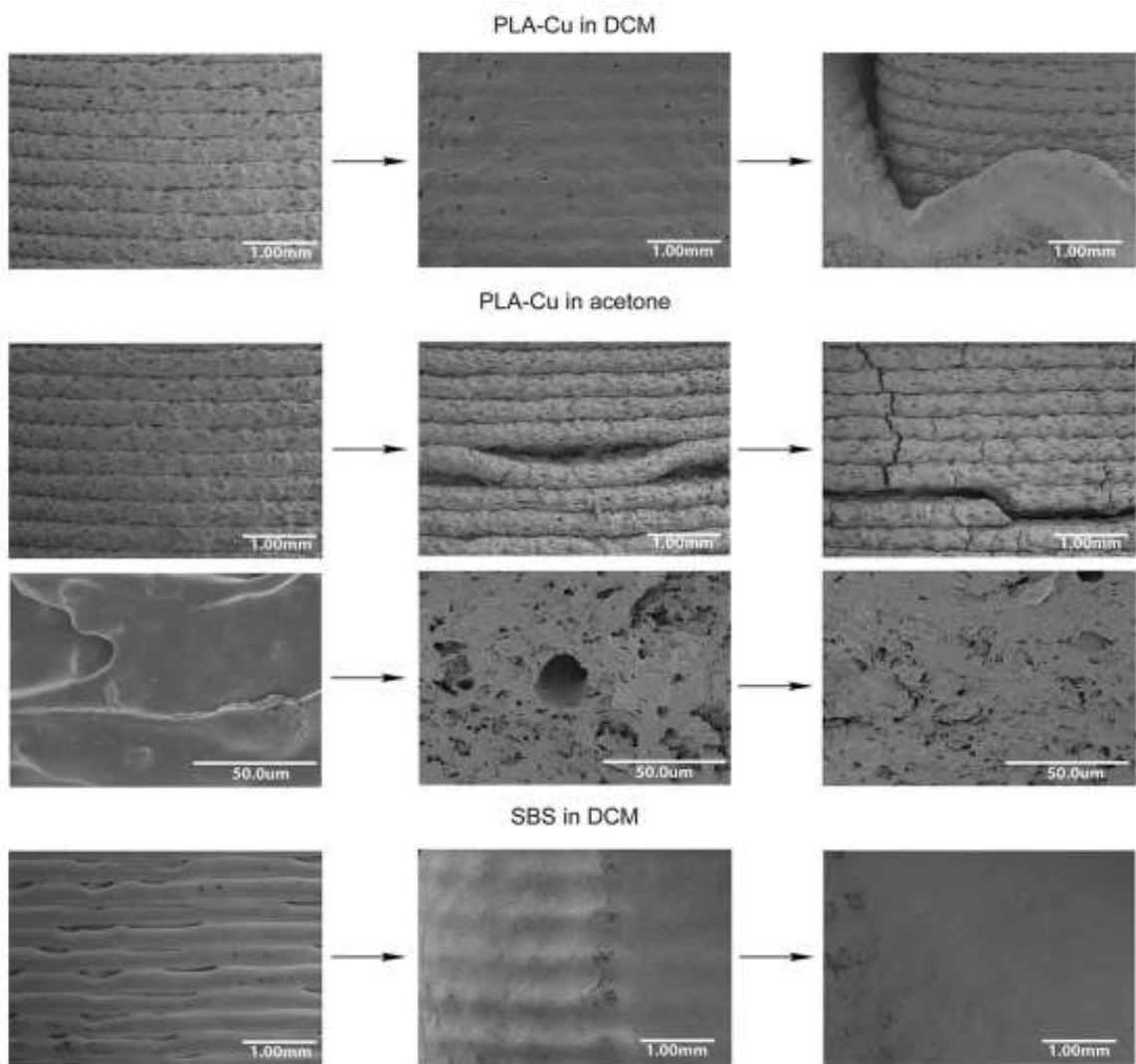
Қабаттың қалыңдығы 0,5мм-ден аз болғандықтан, кейде фотокамерамен түсірілген суреттерді қолдана отырып, бұзылу сипатын нақты анықтау қиынға соғады. Эксперимент алдында, PLA-Cu бөлігінің бетінде қабаттарда да, олардың арасында да кеуектері бар жақсы қорғалған қабаттар көрсетілген.

DCM өңдеу қабаттардың ыдырауына және Мыстың бөлшектерінің болуына байланысты бет қабатының түйіршіктілігінің біртіндеп дамуына әкеледі. Нәтижесінде сыртқы бетті шайып кетеді. Бұл ішкі қабаттарды еріткішпен өзара әрекеттесуге және дәйекті ерітуге бейім етеді.

ABS, PLA және PLA-Cu-ны ацетонмен қабаттардың біртіндеп бөлінуіне әкеліп соғады, бұл бөлшектің толық жойылуына әкеледі. ABS жағдайында полимердің ісінуі мен фукциясы арқылы қабаттасушы адгезия босатылады. Керісінше, PLA және PLA-Cu тәжірибелерінде ешқандай ісіну байқалмайды (4б-сурет): бөлік беті тек қабаттар мен түзілген бағыттар арасында ғана жарылып кетеді

PLA бөліктерін ацетондық ортада жаруға қатысты түсінік береді. PLA бөлігін еріткішке тигізу, оның беткі қабатында тығыздықтың жоғарылауына әкеледі, бұл беткі қабаттың азаюына және материал ішіндегі механикалық штамдардың көбеюіне әкеледі. Қабаттардағы жарықтардың пайда болуы суреттерде анық байқалады (5-сурет).

Микрофотографияларда сыртқы бет қабаттардың қопсығанын және олардың арасындағы тесіктерді көрсетеді. DCM-де қабаттардың бұлдырлануы және сыртқы бетін тегістеу (5-сурет) кейін ерітіледі.



Сурет 5. 3D-баспа беттерінің әртүрлі морфологиялық өзгерістерді көрсететін электронды микроскопиясымен 3D-баспа беттерінің кескіні.

Барлық полимерлі материалдар органикалық еріткіштерде ісінуге аз немесе аз бейім, бірақ DCM-де Primalloy ең айқын түрде ісінеді. 1 сағат ішінде еріткіштің жалпы көлемін FDM бөлігі болған ісінген зат сіңіреді, қазір ол шыны ыдыстың барлық көлемін аударады.

Микрофотосуреттерде еріту белгілері байқалмайды, қабаттың интерфейстері мен беткі қабатының толық сақталуы байқалады. Белгілі бір объектіні жою режимі оның микроқұрылымымен материал мен еріткіш арасындағы өзара әрекеттесу түрімен үйлеседі. Жоюдың алғашқы сатысында еріткіш полимермен сіңіп, оның тізбектері арасына енеді. Ену дәрежесі микроқұрылымға (бетінің топографиясы, кеуектілік және т.б.) және полимердің химиялық сипатына байланысты. Келесі кезеңде полимер тізбектері ішінара шешілуге ұшырайды, бұл оларды икемді етеді және объектінің ісінуіне әкеледі. Ісіну дәрежесі полимердің еріткішке байланысты анықталады. Мысалы, DCM-

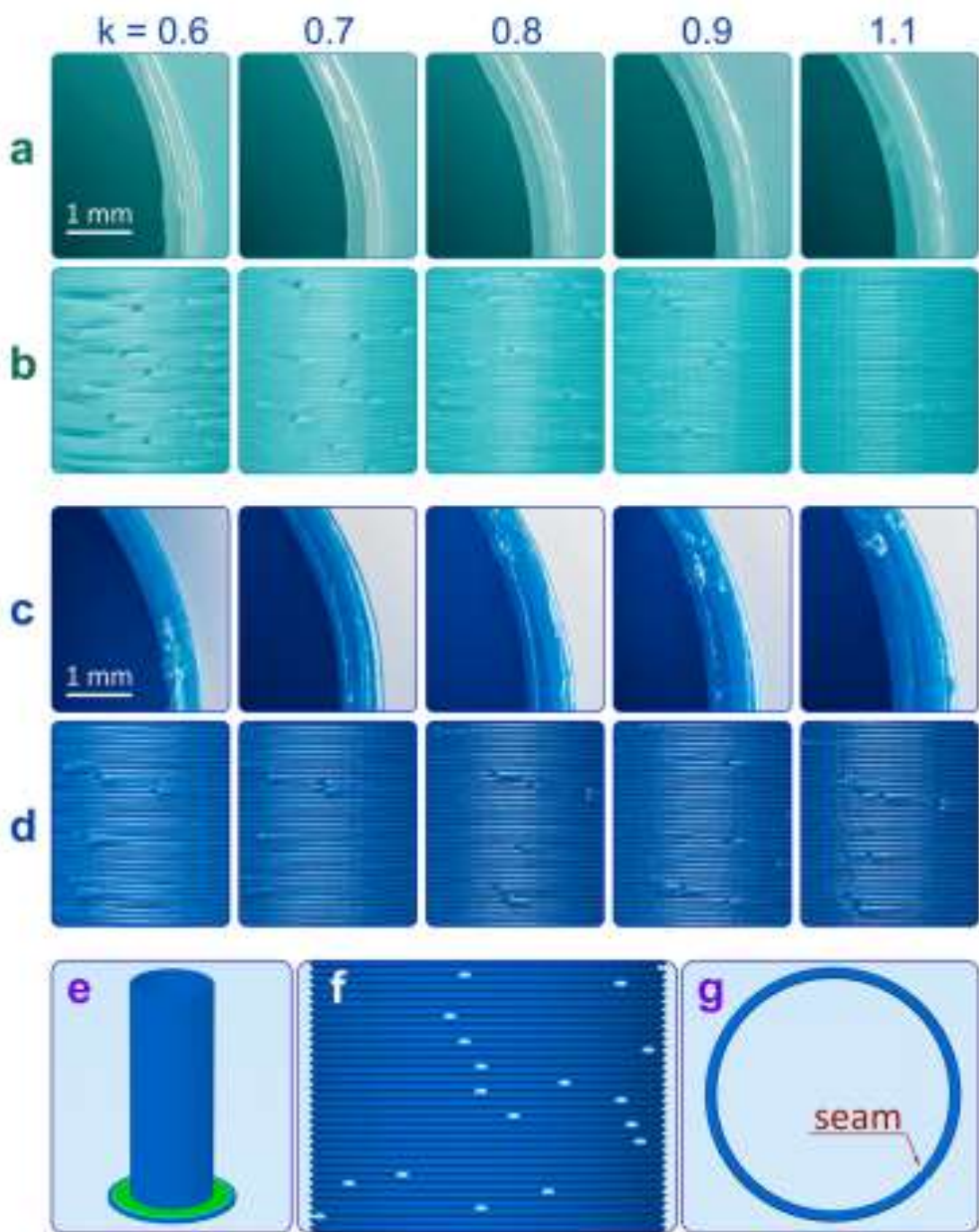
да PLA ерітіндіге ауысады, ол ерітіндіге біркелкі өтеді. Шектеулі ісіну жағдайында нысан ерітілуісіз ұлғаяды (мысалы, толуолдағы Primalloy бөліктері).

3.3 3D басып шығару параметрлерінің химиялық тұрақтылыққа әсері

3D баспа бөлшектерін органикалық еріткіштердің әсеріне төзімділігін (1) баспа материалын модификациялау және FDM басып шығару параметрлерін оңтайландыру арқылы жақсартуға болады. Толтырғыштарды полимер матрицасына қосу шөгуді едәуір азайтады және осылайша басып шығарудың өлшемді дәлдігін жақсартады. Талшықты фломерлер шөгуді азайтып қана қоймайды, сонымен қатар FDM бөліктерінің механикалық беріктігін және сәйкесінше композиттік реакторларда және басқа жабдықтарда олардың сенімділігін арттырады. Мысалы, нейлонның бөлінбеген бөліктері айтарлықтай кішірейеді, ал көміртекті нейлоннан шығарылған бірдей бөліктер қысқаруға аз бейім және сонымен қатар күшті, әсіресе күш қабаттар бойымен қолданылған кезде. FDM параметрлері мен геометриясын оңтайландыру қабырға қалыңдығы, басып шығару температурасы, құйылу тығыздығы және т.б., басылған бөліктің микроорганизмін төмендетуге мүмкіндік береді және осылайша оның агрессивиялық медиаға төзімділігімен байланысты өткізбейтіндігін арттырады.

Жіңішке қабырғалы үшін қабырға сыртқы және ішкі периметрлерден тұрады (FDM басып шығару терминологиясында), яғни бұл жұмыста тексерілген барлық нысандар 100% тереңдікпен сипатталады. Экструзиялық мультипликатор FDM 3D басып шығару кезінде балқытылған пластиктің көлемдік басу жылдамдығына сәйкес келеді. Эффектісін FDM бөліктерінің тұрақтылығына зерттеу үшін бірдей G-кодтың ішінде k-тің әр түрлі мәндерін қолдана отырып, жұқа қабырғалы цилиндр тәрізді түтікшелер сериясын басып шығардық (ба-сурет). Қалыңдығы 0,6 мм және диаметрі 0,3 мм болатын қабырға екі концентрлік периметрден тұрды. Әр периметрде тігіс болған (6ф,г суреттер); тігістер FDM өнімдерінің кеуектілігінің негізгі себептерінің бірі болып табылады. Олардың химиялық төзімділігін тексеру үшін баспа пробиркаларына дихлорметан құйылды. Құрылымдық тұтастықты көрсету үшін тәжірибе кезінде әр пробиркаға жезден жасалған цилиндр орналастырылды. Экструзиялық мультипликатордың төмен мәндерінде шығарылған FDM пробиркаларында (k=0,6, 0,7) көрнекті кемшіліктер болды, ең алдымен PLA түтіктерінің қабырғаларында тесіктер арқылы (ба-сурет). Экструзиялық мультипликатордың төмен мәндерінде дайындалған ABS сынақ түтікшелерінің жабысқаны сонша, тіпті аз механикалық штамм да ламинацияны тудырды. Экструзиялық мультипликатордың (k = 0.9, 1.1) жоғары мәндерінде басылған FDM бөліктері қабырғалары тығыз болды. Жоғары экструзиялық мультипликатордың арқасында тігістердің нүктелеріндегі

ақаулар пластиктен тазартылды, бұл қабырғаның кеуектілігін айтарлықтай төмендетіп, сұйық ортада оның тұрақтылығын арттырды. Шынында да, $k = 0.6$ -да жасалған пробиркалар экспериментте өткізгіштігін көрсетті: еріткіш кеуектер мен қабат аралықтары арқылы оңай төгіледі. Нәтижесінде, бөлшек еріткішке тек ішінен ғана емес, сырттан да әсер етті, тез тазарды және эксперименттің алғашқы минуттарында құрылымдық тұтастығын жоғалтты. $K = 0.8$ үшін PLA және ABS пробиркалары 5 минутқа тұрақты болды, бірақ еріткішпен әрекеттесудің 10 минутын бере бастады. Ең тұрақты пробиркалар $k = 1.1$ кезінде алынды; бұл түтіктер құрылымдық тұтастығын 10 минут ішінде сақтады. 30 минуттан кейін ПЛА сынақ түтіктері қирап қалды, бірақ осы уақытқа дейін олар ісініп, ауытқып кетті. Айта кету керек, ПЛА сынақ түтіктері ABS пробиркаларына қарағанда төзімді болды. Маңыздысы, k параметрінің өзгеруіне қатысты барлық тәжірибелер пробиркадағы бірдей 3D модельдер мен бірдей G-кодтар көмегімен жүргізілді. K мөлшерінің жоғарылауы қабырғаның қалыңдығының шамалы ұлғаюына, сонымен қатар қабырға тығыздығының едәуір артуына әкелді. Жақсартылған қабаттармен жабысу еріткіштің қабырғаға енуіне жол бермегендіктен, пластмассаның сіңуі баяу, қабырғаның беткі қабаттарынан басталып, біртіндеп терең қабаттарға ене бастады; жоғары экструзиялық көбейткіштерде дайындалған FDM бөліктерінің тұрақтылығы. Сонымен, k параметрінің жоғарылауы қатты сұйық интерфейстерде FDM жоғары тұрақтылық бөліктерін басып шығаруға мүмкіндік береді. Принциптің дәлелі ретінде DCM кедергісі FDM жасаған цилиндрлік бөліктердің қатарын $k = 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2$ және 1.3 және бірдей формадағы цилиндрлік бөліктің экструзиямен (фрагмент) салыстырылды. FDM принтері үшін кәдімгі фламенттің). $K = 1.1-1.3.3$ -де басылған FDM бөлшектері экструдалғанға қарағанда бірдей тұрақтылықты көрсетті. Барлық сыналған бөліктердің салмағы ұқсас болғанын атап өткен жөн.



6-сурет. Экструзиялық көбейткіштің FDM бөлшектерінің құрылымдық тұтастығына әсері. (а) экструзиялық көбейткішке байланысты АЖЖ-дан дайындалған цилиндрлік бөлікке арналған қабырға қалыңдығының өзгеруі; (Б) АЖЖ-дан дайындалған цилиндрлік бөлікке арналған қабырғаның құрылымдық тұтастығының өзгеруі; (в) абс-дан дайындалған цилиндрлік пробиркаға арналған қабырға қалыңдығының өзгеруі; (г) АЖС-дан дайындалған цилиндрлік пробиркаға арналған қабырғаның құрылымдық тұтастығының өзгеруі; (д) FDM -ден пробиркаға арналған толық G-кодтың графикалық көрінісі; (е) G-АЖС-дан дайындалған цилиндрлік пробиркаға арналған толық G-кодтың фдм-ден жасалған пробирка қабырғасындағы тігіс нүктелері.; (g)

FDM бір қабатты пробиркасының құрылымы қызыл бағыттамамен белгіленген тігіс орналасуымен.

Әдістері. Зерттеу үшін пайдаланылатын ABS, SBS, PLA, PLA-Cu, Nylon, Nylon-C, PP, PE, PETG, HIPS, POM, Ceramo, Primalloy және коммерциялық көздерден алынған фотополимер шайыры.

3.4 Микроскопияны зерттеу

Бөлшектерді FDM Picaso 3D Designer Pro 250 принтерімен $k = 0.9$ экструзиялық мультипликаторда (әр түрлі эксперименттерді қоспағанда) және бастапқы қалыңдығы 1,75 мм-де жасады. ABS, SBS, PLA, Нейлон, PP, PE, PETG, HIPS, POM және Primalloy көмегімен басып шығару 0,3 мм шүмектің көмегімен 0,2 мм қабат биіктігінде жүзеге асырылды.

Pla-Cu, Nylon-C және Ceramo fled-пластиктерінің көмегімен басып шығару диаметрі 0,5 мм шүмектің көмегімен 0,35 мм қабат биіктігінде жүзеге асырылды.

Басып шығару параметрлері экструдер температурасы, пластинаны құрастыру температурасы, салқындату қарқындылығын анықтадық.

ПЭ-мен басып шығару композиттік режимде жүзеге асырылды, 1-ден 10-ға дейінгі қабаттар экструдер температурасында 250°C салқындатусыз басып шығарылды. 11-ші қабаттан бастап параметрлер 230°C-қа дейін өзгерді, 50% салқындау және 100°C плитасының температурасы. Барлық материалдар үшін 100% тығыздықтағы 40 мм/с жылдамдықпен басып шығару жылдамдығы бір бөлік үшін және бір бөлік үшін 12-14 минутты, ал 12 бөліктен тұратын массив үшін <90 минутты құрайды.

Басып шығару параметрлері мен G-кодты орнату Simplify3D 3.1.1 бағдарламалық жасақтамасын қолдану арқылы жүзеге асырылды.

POM жағдайында мұндай кішкентай заттармен де шөгу айқынырақ болады. POM-дің тағы бір кемшілігі, оның құрылыс тақтасына аз адгезиясы арнайы жабысқақ жабынды (желім) қолдану арқылы шешілуі мүмкін. PP-нің шөгуі, үлкен нысандар үшін маңызды болғанымен, шамалы болды, бірақ оның платформасына жабысқақ жабындымен қосылуы тым төмен болды. Осы күрделілікке байланысты PP бар FDM 3D принтер құрастыру тақтасына бекітілген 3 мм қалыңдықтағы PP парағында жүргізілді. PE ең қолайсыз FDM материалы болып шықты. Кәдімгі жұмыс үстелінің 3D принтерін қолдану арқылы жоғары сапалы өнімді жасау өте қиын міндет: PE -ге пластинаның өте аз адгезиясынан басқа, оның күйін сақтау үшін жылу жағдайларын оңтайландыру өте қиын басып шығару кезінде.

Диаметрі 2,85 мм диаметрі бар кәдімгі жіптің FDM көшірмелері 0,3 мм саптаманы қолдана отырып, әр түрлі мәндерде басылды.

FDM бөлшектерінің беткі қабаттарының құлау морфологиясы (DCM-де PLA-Cu, ацетондағы PLA-Cu және DCM-де SBS) FE-SEM көмегімен талданды.

Мақсатты-бағытталған тәсіл аналитикалық өлшеулерді оңтайландыру үшін қолданылды. Өлшеулерден бұрын үлгілер 25 мм алюминий үлгісінде орнатылып, екі жақты көміртекті жабысқақ таспамен қапталған. Магнитронды шашыратуды қолдана отырып, 80/20 платина/палладий қорытпасынан 7нм флм металл жабыны бұрын айтылғандай орындалды. Бақылау Hitachi SU8000 дала шығарындысын сканерлеуші электронды микроскоптың көмегімен жүзеге асырылды (FE-SEM). Суреттер екінші электронды режимде 2 кВ үдеу кернеуі және 8–10 мм жұмыс қашықтығында алынды. Үлгілердің морфологиясы металл жабынының ықтимал енуін ескере отырып зерттелді. Толуолдағы Прималлой бөлігінің ісінуінің морфологиясын зерттеу Leica M125 стерео микроскопының көмегімен жүзеге асырылды.

ҚОРЫТЫНДЫ

Диплом жазу барысында барлық қойылған мақсаттарға толық қол жеткізілді.

Бірінші кезеңде Аддитивті технологияларға жалпы шолу жасадық. 3D басып шығару ерекшеліктерін қарастырдық. Әр түрлі еріткіштердегі әртүрлі пластикалық материалдардың тұрақтылық сынақтардан өткіздік. Бұзылу процестерін механикалық зертелді. 3D басып шығару параметрлерінің химиялық тұрақтылыққа әсері қарастырдық. Fused Deposition Modeling технологиясымен басып шыққан бұйымды микроскопиялық талдау жасдық.

Бөлшектерді FDM Picaso 3D Designer Pro 250 принтерімен $k = 0.9$ экструзиялық мультипликаторда (әр түрлі эксперименттерді қоспағанда) және бастапқы қалыңдығы 1,75 мм-де жасады. ABS, SBS, PLA, Нейлон, PP, PE, PETG, HIPS, POM және Primalloy көмегімен басып шығару 0,3 мм шүмектің көмегімен 0,2 мм қабат биіктігінде жүзеге асырылды.

Мақсатты-бағытталған тәсіл аналитикалық өлшеулерді оңтайландыру үшін қолданылды. Өлшеулерден бұрын үлгілер 25 мм алюминий үлгісінде орнатылып, екі жақты көміртекті жабысқақ таспамен қапталған. Магнитронды шашыратуды қолдана отырып, 80/20 платина/палладий қорытпасынан 7нм флм металл жабыны бұрын айтылғандай орындалды.

ПАЙДАЛАНЫЛГАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Park, H. K., Shin, M., Kim, B., Park, J. W. & Lee, H. A visible light-curable yet visible wavelength-transparent resin for stereolithography 3D printing. *NPG Asia Materials*. 10, 82–89 (2018).
- 2 Singh, M. et al. Additive Manufacturing of Mechanically Isotropic Thin Films and Membranes via Microextrusion 3D Printing of Polymer Solutions. *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 11, 6652–6661 (2019).
- 3 Зленко М.А. Нагайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении // пособие для инженеров. М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. 220 с
- 4 Al Mousawi, A. et al. 3-Hydroxyflavone and N-Phenylglycine in High Performance Photoinitiating Systems for 3D Printing and Photocomposites Synthesis. *Macromolecules*. 51, 4633–4641 (2018).
- 5 Wunscher, S. et al. Chip-on-foil devices for DNA analysis based on inkjet-printed silver electrodes. *Lab Chip*. 14, 392–401 (2014).
- 6 Gissibl, T., Thiele, S., Herkommer, A. & Giessen, H. Sub-micrometre accurate free-form optics by three-dimensional printing on single-mode fibres. *Nat. Commun*. 7, 11763 (2016).