

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

Болат Әлімхан Нұрқанұлы

«Бұйымдарды дайындау кезінде аддитивті Fused Deposition Modeling
технологиясын қолдануды зерттеу»

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: «Бұйымдарды дайындау кезінде аддитивті Fused Deposition Modeling технологиясын қолдануды зерттеу»

5B071200 – Машина жасау

Орындаған

Болат Әлімхан Нұрқанұлы

Ғылыми жетекші,

PhD д-ф, қауым. профессор

_____ Арымбеков Б.С.

« ____ » _____ 2020 ж.

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

Өнеркәсіптік инженерия кафедрасы

5B071200 – Машина жасау

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі

PhD д-ф, қауым. профессор

_____ Арымбеков Б.С.

« ____ » _____ 2020 ж.

**Дипломдық жоба орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Болат Әлімхан Нұрқанұлы

Тақырыбы «Бұйымдарды дайындау кезінде аддитивті Fused Deposition Modeling технологиясын қолдануды зерттеу»

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

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

Дипломдық жобаның бастапқы берістері бұйым жасау кезінде Fused Deposition Modeling технологиясын қолдануды зерттеу, және салыстыру

Дипломдық жобада қарастырылатын мәселелер тізімі

a) *Fused Deposition Modeling технологиясының құрылымын және алғашқы патенттерді зерттеу*

б) *3D басып шығару және баспадан кейінгі өңдеу*

в) *беттің кедір-бұдырлығының әсерін зерттеу*

Ұсынылған негізгі әдебиет: 6 атау

Дипломдық жобаны дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәліметтер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Кіріспе. Fused Deposition Modeling технологиясының алғашқы патентерді зерттеу		
3D басып шығару		
Баспадан кейінгі өңдеу		
Беттің кедір-бұдырлығының әсерін 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 _____ Арымбеков Б.С.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы _____ Болат Ә. Н.

Күні

«___» _____ 2020 ж.

АНДАТПА

Берілген дипломдық жобада аддитивті технологиялардың ішіндегі Fused Deposition Modeling процесінің жұмыс жасауын толық зерттелді қарастырылды. Алынған мәліметтерге сай Fused Deposition Modeling технологиясының құрылымы және алғашқы патенттерге талдау жүргізіледі.

3D басып шығару технологиясы туралы және жұмыс жасау принципін зерттедік. Fused Deposition Modeling технологиясымен басып шығарылған бұйымды баспадан кейінгі өңдеу әдістерімен талдау жүргіздік.

Сонымен қатар бағдарламалық жабдықтарды да зерттедік. Бұйымның соңғы элементтер әдісімен жұмыс дөңгелегінің статикалық беріктігін талданды. Жұмыс дөңгелегінің беріктігіне аналитикалық есептер жүргізілді, сонымен қатар 3D баспа материалдарын созуға сыналды. Fused Deposition Modeling технологиясымен басып шыққан бұйымдардың кедір-бұдырлығының әсерін анықталды.

АННОТАЦИЯ

В данном дипломном проекте рассмотрена работа процесса Fused Deposition Modeling из аддитивных технологий. Согласно полученным данным проводится анализ структуры технологии Fused Deposition Modeling и первичных патентов.

Изучили принципы работы и технологии 3D печати. Мы провели анализ изделий, отпечатанных по технологии Fused Deposition Modeling, методами послепечатной обработки.

Также мы изучали программное оборудование. Проанализирована статическая прочность рабочего колеса изделия методом конечных элементов. Проведены аналитические расчеты на прочность рабочего колеса, а также испытания на растяжение печатных материалов 3D. По технологии Fused Deposition Modeling выявлен эффект шероховатости отпечатанных изделий.

ANNOTATION

This thesis project examines the operation of the Fused Deposition Modeling process from additive technologies. According to the obtained data, the structure of the Fused Deposition Modeling technology and primary patents are analyzed.

We have studied the principles of operation and technology of 3D printing. We analyzed products printed using the Fused Deposition Modeling technology using post-processing methods.

We also studied software hardware. The static strength of the product's impeller is analyzed using the finite element method. Analytical calculations on the strength of the impeller, as well as tensile tests of 3D printed materials were performed. The effect of roughness of printed products was revealed using the Fused Deposition Modeling technology.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	8
1 Fused Deposition Modeling технологиясының құрылымы және алғашқы патент	10
1.1 3D басып шығару технологиясы туралы жалпы ақпарат.	14
2 Баспадан кейінгі өңдеу	16
2.1 Ақырлы элементтерді талдау процесі	17
2.2 Қолданылатын қолданбалы бағдарламалар	18
3 Есептеулер мен талдаулар	20
3.1 Соңғы элементтер әдісімен жұмыс дөңгелегінің статикалық беріктігін талдау	20
3.2 Жұмыс дөңгелегінің беріктігіне аналитикалық есеп	22
3.3 3D баспа материалдарын созуға сынау (қысу)	25
3.4 Беттің кедір-бұдырлығының әсерін зерттеу	27
Қорытынды	33
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	34

КІРІСПЕ

Ғылыми-техникалық прогресс пен экономиканың дамуы энергия сыйымдылығының, өнімділігінің және қолданылатын жабдық құнының тұрақты өсуімен байланысты. Қазіргі заманғы көліктік технологиялық жабдықтың өзіндік ерекшелігі жоғары сенімділік деңгейі және тиісінше пайдаланудың үлкен мерзімдері болып табылады. Жабдықтарға техникалық қызмет көрсету және жөндеу шығындары үнемі өсуде. Осыған байланысты, бөлшектердің сынуына, тозуына немесе зақымдануына байланысты жұмыс істеу қабілеттілігінің жоғалуына байланысты тоқталып тежелуде, кәсіпорынның жіберілген пайда есебінен едәуір қаржылық шығынға ұшырайды, оның мөлшері жаңа жабдықтың құнына сәйкес келуі мүмкін. Жабдықтың істен шығуына байланысты кәсіпорынның айтарлықтай қаржылық шығынының негізгі себебі қосалқы бөлшектердің түсуін ұзақ уақыт күту болып табылады. Біздің еліміздің аумақтық ерекшеліктерін, бірқатар өнеркәсіптік, құрылыс және өндіруші кәсіпорындардың ірі көлік тораптарынан алыстығын және жабдықтардың қосалқы бөлшектерін өндіруші кәсіпорындардың әлемнің әр түрлі елдерінде орналасуын ескере отырып, қазіргі заманғы аддитивті технологияларды қолдана отырып, тікелей пайдалану кәсіпорнында жабдықтардың қосалқы бөлігін дайындаудың орындылығы мен экономикалық негізділігін атап өтуге болады. 3D моделінің деректерінен объектілерді құру мақсатында материалдарды біріктіру процестері, әдетте, дәстүрлі өндірістік технологияларға қарағанда, қабаттың артынан "аддитивті технологиялар" деген атауға ие болды.

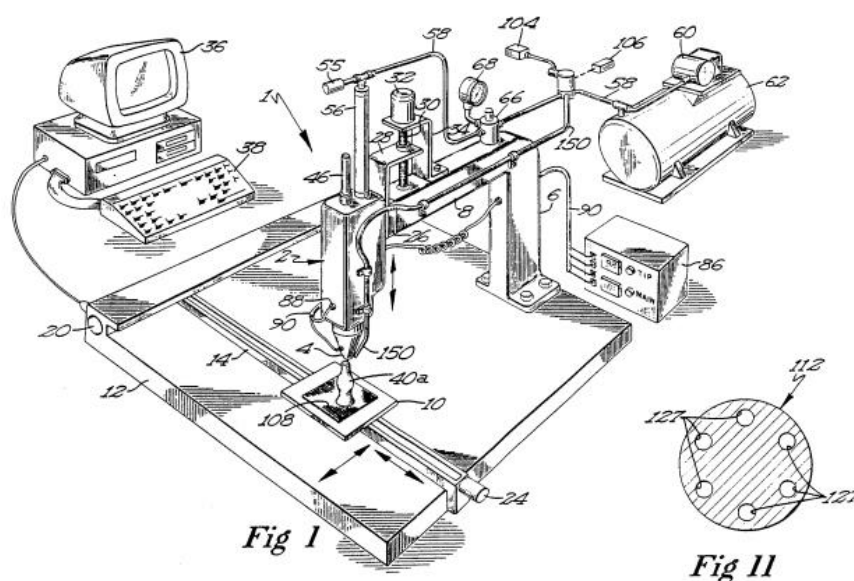
Сондықтан полимерлік материалдардан жасалған орталықтан тепкіш сорғылардың жұмыс дөңгелектерін дайындау үшін 3D баспаның аддитивті технологиясын пайдалану тікелей өндіру кәсіпшілігінде жабдықтың қосалқы бөлшектері мен жинақтаушы бөлшектерін өндіру саласында перспективалы болып табылады.

Қазіргі заманғы аддитивті технологиялар негізінде полимерлі композициялық материалдан жасалған бөлшектерді термиялық немесе қандай да бір өзге әсердің көмегімен біртіндеп өсіру арқылы қалыптастыру әдісі жатыр, оның нәтижесінде қажетті форманың бөлшегі берілген өлшеммен алынады. Қазіргі уақытта аддитивті технологиялық процестердің 30-дан астам түрі бар. Дәстүрлі технологиялар алдында аддитивті технологиялардың негізгі артықшылықтары: дайындаудың еңбек сыйымдылығын қысқарту; бөлшектерді жобалау және дайындау мерзімдерін қысқарту; бөлшектерді жобалау мен жасаудың өзіндік құнын төмендету; машина жасау материалдарын үнемдеу.

Бұл жұмыстың мақсаты Fused Deposition Modeling технологиясын толық қанды зерттеу және осы Fused Deposition Modeling технологиясымен басып шығарылған бұйымның сапасын зерттеу болды. Бұйым ретінде орталықтан тепкіш сорғының жұмыс деңгелегін алдық.

1 Fused Deposition Modeling технологиясының құрылымы және алғашқы патент

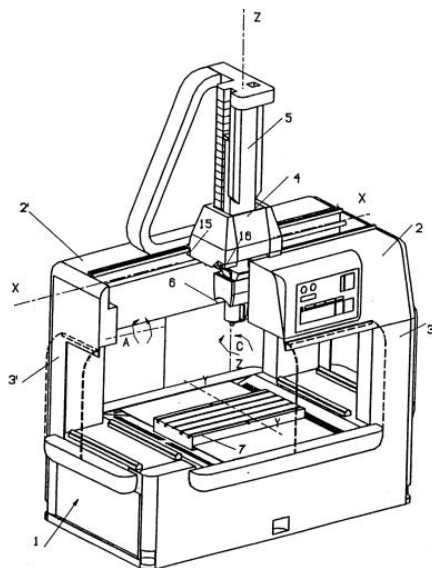
FDM әдісімен 3D-нысандарды қалыптастыру бойынша алғашқы патент 1989 жылы Stratasys, Inc компаниясымен берілді. Шын мәнінде, бұл патент термопластикалық полимерлерді 3D-басып шығару процесін және аппаратуралық безендіруді сипаттайтын бірінші технология болып табылады. FDM технологиясының сұлбасы 1-суретте келтірілген.



1.4-сурет - Fused Deposition Modeling технологиясының құрылымдық схемасы

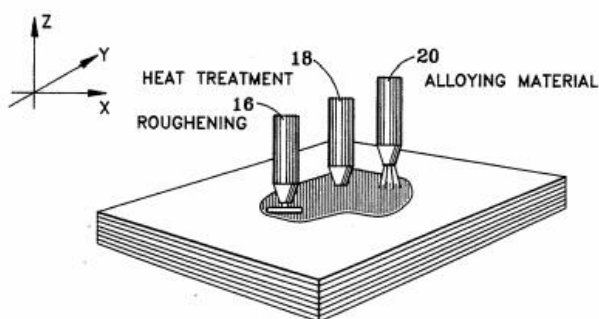
Fused Deposition Modeling технологиясының құрылымдық схемасы 3 бағытта (X, Y, Z-ось) қозғалатын термопластикалық полимер тасымалдайтын экструдері және басқарушы компьютерден тұрады. Авторлар бұл технология өздігінен қатайтылатын балауыздармен, термопласттармен, балқытылған металдармен, екі компонентті эпоксидтермен, көбіктенген полимерлермен басып шығару үшін пайдаланылуы болатындығын айтады. Біраз уақыттан кейін, термопластикалық полимерлермен басып шығару әдісіне FDM процессіне қатысты ағынды баспа методологиясын пайдалана отырып патент алынды [Gore D. W., сұйық фазадағы материалдан 13 еркін формадағы қатты фазалық объектіні алу тәсілі, US 5257657a, 1990 жылғы 11 шілде]. Өнертабыс материалды стол платформа бетіне қолдану әдісіне қатысты. Автор температураның, жылдамдықтың және материалдың берілу жолының белгілі бір мәндерінде қолданылатын балқытылған полимерлі материалдың тамшыларын қолдана отырып, қабаттарда құрылымдар құруды ұсынады.

2-суретте көрсетілген құрылымдық схеманы одан әрі үлкен көлемді баспаны негіз ретінде қолданылған [Armando C., Tridimensional multifunction plotter, US 5285579A, Feb 22, 1990]. Конструкциядағы негізгі өзгерістер басу бастарының, яғни экструдердің басқаруы мен қозғалысына қатысты. Сонымен қатар, экструдердің конструкциясы нақты позициялау үшін бірқатар сенсорлық жүйелерді қамтыды. Конструкцияның принциптік схемасы 2-суретте көрсетілген.



2-сурет - Блок түріндегі FDM технологиясындағы 3D принтердің басып шығару бөлігінің схемасы

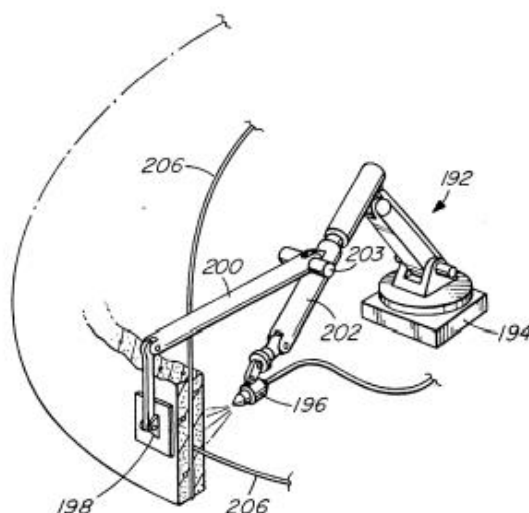
Авторлар басып шығаратын экструзияның конструкциясын, сондай-ақ кері жауап берудің сенсорлық жүйесін қамтитын кеңістіктегі 3D-позициялаудың жетілдірілген жүйесін ұсынды. 3D нысандарын құру үшін ерекше техникалық шешімді келесі патенттің авторлары ұсынды. Ұсынылып отырған әдіс жеке функцияларды орындайтын 3 жеке бастары бар конструкция қолданылады (3-сурет).



3-сурет - 3 экструзерді пайдалану арқылы FDM-процестің құрылымдық схемасы

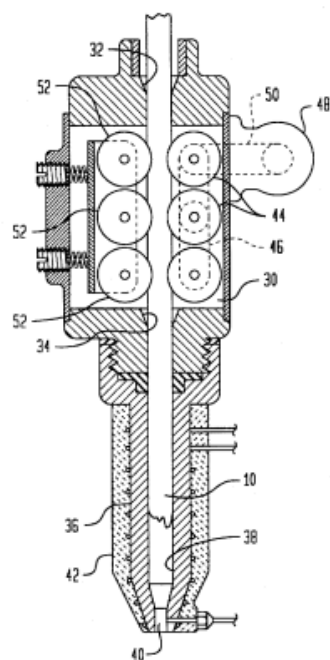
Бұл нұсқада бір экструз материалды басу үшін қолданылады, екіншісі - алынған қабатты жылыту үшін, ал 3-ші бөлігі - тегіс қабат алу үшін бетті тегістеу үшін қолданылады. FDM-процессіне өте ұқсас, ол 3D нысанын қалыптастыра отырып, жіптерді, яғни филаменттерді немесе фольганы қабаттап төсеу технологиясы. Баспа басы ретінде белгілі бір жылдамдықпен талшық беретін немесе жіп беретін шүмек пайдаланылады. Процесті іске асыру үшін міндетті шарты, баспа материалының салынуын бақылау үшін монохроматикалық лазердің болуы (X, Y - осьтер бойынша ауытқулар).

Кеңейтілген материалдарды 3D форматында басып шығару үшін, патенттің авторы модельді қалыптастыру әдісін ұсынды. Әдістің мәні - қалыптау материалы үшін қозғалмалы тәуелсіз басқарылатын негізді және материалды қолдану үшін тәуелсіз басқарылатын саптаманы пайдалану (4-сурет).



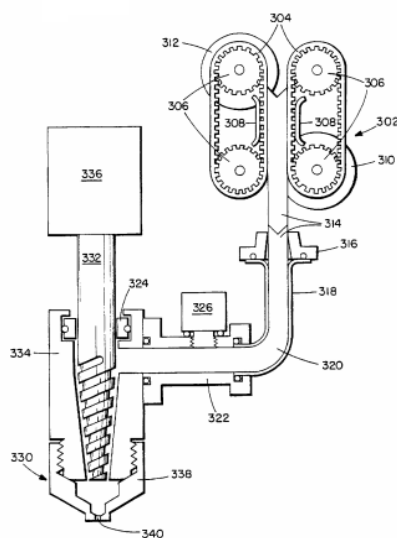
4-сурет- Қозғалмалы негізді және тәуелсіз басқарылатын шүмекті пайдалана отырып, бөлшектерді қалыптау процесі

Процестің негізгі ерекшелігі қабаттардың тиімді жабылуын қамтамасыз ету және қабаттар арасындағы берік өзара іс-қимылды жүзеге асыру үшін баспа процесінде негізді біртіндеп ығыстыру болып табылады. FDM технологиясы композициялық материалдармен басып шығару үшін де қолданылды. Бұл жағдайда термопластикалық байланыстырушы композициялық материал шүмек арқылы, кейіннен объектінің 3D-құрылымын қату және қалыптастыру арқылы экструдияланады (5 сурет).

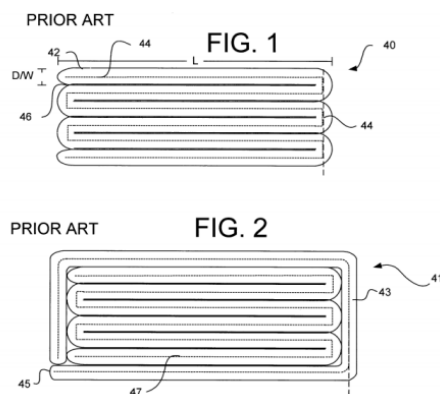


5-сурет- Композитті материалдарды экструдиялауға арналған шүмектің құрылымы

Саңылауларды орналастыру және басқару әдістері бастапқы патенттердегіден айтарлықтай ерекшеленбейді. Ұқсас тағы бір мысал - патент, онда ұнтақ немесе бөлшектер түріндегі күшейтетін материал термопластикалық байланыстырғышпен араластырылған тікелей басып шығару механизміне енгізіледі. Мысалдарды 3D басып шығару термопластикалық полимерлердің көмегімен басып шығару механизміне филамент түрінде кіргізілген кезде белгілі болады. Бұл жағдайда полимерлі филамент орамдармен қолданылады және экструдерге түседі, ол жерде қысым сорғысының әсерінен сығылады (6-сурет).



6-сурет- Композитті материалдарды 3D-қалыптау үшін экструдердің құрылымы



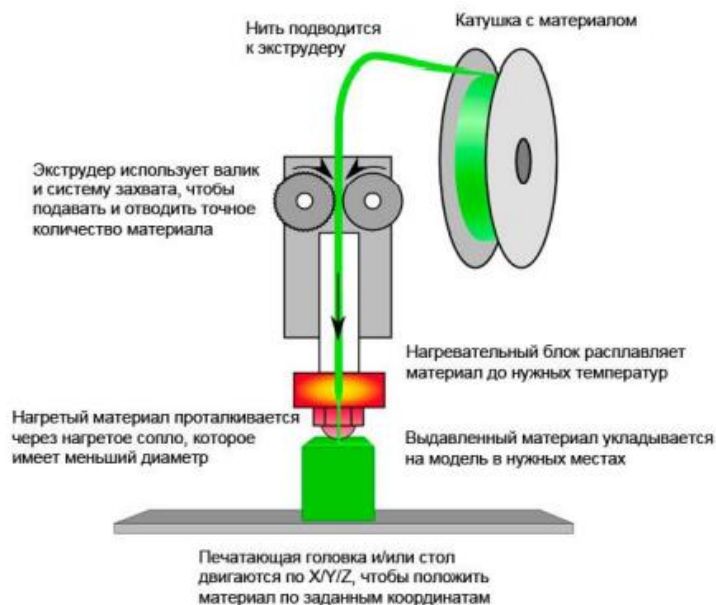
7-сурет- FDM процесінде балқытылған филаменттің баспадағы схемалық құрлысы

3D басып шығару әдісінің жетілдірулерінің бірі - жиек қуыстарының ең аз көлемімен сипатталатын балқытылған жіптерді төсеу әдісі. Балқытылған материалдарды төсеу схемалық диаграммасы 7 суретте көрсетілген.

1.1 3D басып шығару технологиясы туралы жалпы ақпарат

Осыған байланысты, 1980 жылдардың аяғында Скотт Трамп жасаған технологияны салыстырмалы түрде арзан қабаттау әдісі танымал бола түсуде. Ерітілген тұндыруды модельдеу (FDM) - бұл үш өлшемді модельдер мен прототиптерді жасауда, сонымен қатар өнеркәсіптік өндірісте белсенді қолданылатын технологияның қосымшасы.

FDM технологиясында қабатын қалыптастыруға арналған технологиялар пластикалық филамент катушқадан таралып, экструдер – құрылғыға қоректенеді, ол арқылы тікелей экструзия жүзеге асырылатын механикалық жетекпен, материалды балқытуға арналған қыздыру элементімен және диаметрі 0,15-1,5 мм тесігі бар шүмекпен жабдықталған. Қыздыру элементі өз кезегінде пластикалық филаментті балқытатын және салынып жатқан бұйымға балқытылған материалды беретін шүмекті қыздыру үшін қызмет етеді. Әдетте, шүмектің жоғарғы бөлігі керісінше, материалдың бірқалыпты берілуін қамтамасыз ету үшін қажетті температураның күрт градиентін жасау үшін желдеткіштің көмегімен салқындатылады. Шүмектен сығылатын материал суыту кезінде тұтас объектіні қалыптастыра отырып, алдыңғы қабаттың бетіне немесе жұмыс үстеліне балқытылады (8-сурет). Қабаттың қажетті контурларын құру және оларды толтыру көлденең жазықтықта платформаға қатысты шүмекті жылжытумен жүзеге асырылады. Келесі қабатқа өту жұмыс үстелін түсіру немесе экструдерді бір қабаттың қалыңдығына көтеру арқылы жүзеге асырылады. Процесс дайын модель қалыптасқанға дейін қайталанады.



8-сурет- FDM-принтердің жұмыс істеу принципі

50-ден 300°C-қа дейінгі балқу температурасы бар термопластикалық материалдар FDM басып шығару үшін шығын материалдары ретінде қолданылады. FDM принтерлерінде жиі қолданылатын материалдар - бұл әр түрлі жылу және физикалық қасиеттері бар пластмассалар: PLA - полилактид; ABS - акрилонитрилді бутадиеенеостирол; HIPS - жоғары әсерлі полистирол; ДК - поликарбонат; нейлон ТПЭ - термопластикалық эластомер; ПЭТ - полиэтилентерефталат. Пластмассадан басқа, өнеркәсіптік 3D басып шығаруға арналған материалдар ретінде қалайы сияқты балқитын металдарды қолдануға болады.

FDM технологиясының негізгі кемшіліктері:

- Басып шығару жылдамдығы 5-30 см³/сағ төмен, бұл көлемді модельдерді басып шығару кезінде көп уақытқа (10 сағаттан астам) созылады;
- Көлденеңінен де (0,2-1 мм), тігінен де (0,05-0,4 мм) басып шығарудың шағын рұқсат ету қабілеті, бұл модельдің көрінетін қабатына әкеледі;
- Жұмыс үстелінде үлгіні бекіту мәселелері;
- Үлгінің көлденең қималарын басып шығару үшін күрделі және қымбат тұратын құрылымдарды қалыптастыру қажет.

Осылайша, FDM технологиясын қолдана отырып жасалған модельдер көп жағдайда өңдеуден кейінгі уақытты қажет етеді, оны автоматтандыру өте қиын. Салқындағаннан кейін үлгінің өзгеруіне немесе тіпті деформациясына әкелетін үлгінің кішіреюіне байланысты проблемаға назар аударыңыз. Көлбеу

параметрлері қолданылатын материалға байланысты, мысалы, ABS пластик үшін бұл 1% құрайды, бұл үлкен модельдердің басып шығару процесін қиындатады.

2. Баспадан кейінгі өңдеу

FDM технологиясында 3D басып шығару кезінде кездесетін мәселелердің бірі, ол сыртқы беттердің кедір-бұдырлығы. Технологияда пластика қабаттарын жүйелі басуға негізделген болғандықтан, бұл әсерді болдырмау емес. Әрине, принтердің қасиеттің арттыру арқылы оны аз байқалады (яғни жұқа қабаттарды басу), бірақ қабырғадан толық құтылу мүмкін емес. Беттерді тегістеу үшін дайын модельдерді өңдеу әдістері термопластиканың екі ерекшелігіне негізделген: жоғары температура әсерінен еру және сәйкес химиялық заттармен байланыста болған кезде жұмсарту мүмкіндігі. Жоғарылауымен қатар, тегістеу әдістерін дамытудағы маңызды фактор - бұл беріктік. Бұйымның сыртқы қабықша үлгіні болдырмауға мүмкіндік беретін модельді нығайтады және олардың тығыздығын қамтамасыз етеді. Әдетте, термиялық өңдеу жақсы нәтиже бермейді - бетті жылытуды реттеу өте қиын, және нәтижесінде пластикалық қайнауға, тұншығуға немесе улы түтіннің шығуына әкеледі. Осыған қарамастан, бұл әдісті PLA пластиктен жасалған бұйымды модельдерде қолдануға болады. Химиялық өңдеу болашағы зор, бірақ ол сонымен бірге белгілі бір қиындықтармен байланысты. Технологиялық мәселелерден басқа, реагенттер мәселесі де өзекті - әртүрлі пластмассалар әртүрлі еріткіштермен әрекеттеседі. Неғұрлым перспективалы және ең қарапайым әдіс-ацетонға батыру. ABS-пластиктен жасалған үлгіні сұйылтылмаған ацетонда 10 секундта ұстау үлгінің сыртқы қабатын еріту үшін жеткілікті. Нақты ұстау уақыты бастапқы моделінің сапасына және ацетон концентрациясына байланысты өзгеруі мүмкін. Ұстаудан кейін ацетон буланғанша үлгі ауада ұстап тұру керек. Процесс шамамен жарты сағат алуы мүмкін. Бұл әдіс өте жылдам болғанымен, процесті реттеу қиын. Артық ұстау кезінде модель ұсақ қасиеттерді тез жоғалтады. Сонымен қатар, ацетонның бір түсті пластикпен ластануы сол ерітіндіге батырылатын келесі үлгілерде ажырасулардың пайда болуына әкелуі мүмкін. Аса бақыланатын процесс ацетон буымен өңдеу болып табылады. Бұл әдіс түбіндегі ацетон аз мөлшерде ыдысқа үлгі үй-жайын талап етеді. Модельдің өзі ацетонмен жанаспауы тиіс, сондықтан модельді платформаға орнату немесе еріткіштің бетіне ілу керек. Үлгіні орналастырғаннан кейін, ацетон температурасын арттыру үшін сыйымдылықты жылыту қажет. Ацетон бөлме температурасында буланады, бірақ тым баяу. Ацетон қайнату

ұсынылады емес екенін ескеру керек, бұл өз кезегінде ажырасу пайда болуы мүмкін модельдер конденсат жинақтауға ықпал етеді, өйткені. Осылайша, ең жақсы нәтижелер үшін 56°C температуралық табалдырықтан аспауы тиіс. Ұстау уақыты ацетон температурасына байланысты қатты өзгереді. Мысалы, қайнату кезінде бірнеше секунд қана жетеді, ал бөлме температурасында эксперимент 40 минутқа дейін ұстап тұруды талап еткен. Батыру өңделген жағдайда да, дайын модель артық физикалық жанасудан бас тарта отырып, сыртқы беттің қатаюына дейін желдетілуі қажет. Үлгілерді ацетонға батыру кезінде де, бумен өңдеу кезінде де үлгілер қабырғаларының қалыңдығын ескеру керек. Қабық сыртқы қабаттың жоғалуына төтеп беру үшін жеткілікті қалың болуы керек. Сонымен қатар, әсіресе жұқа қасиеттер еруі мүмкін, ал өткір бұрыштары тегістеледі.

Басқа әдістерден айырмашылығы, басып шығарғаннан кейін құм төсеу кез-келген материалмен жұмыс істеуге мүмкіндік береді, сонымен қатар өңдеу процесі қарапайым. Бұл әдіс саптаманы операторлық бақылаудан тұрады, оның көмегімен бөлшекке жайылған материал шашырайды. Құмды тегістеу процесі жұмыс істейді - бар болғаны 10 минут, бұл бөлік эстетикалық жағымды және дәл болады. Әдістің мәні - дайын бөлікті ұсақ бөлшектердің ағымы болатын камераға орналастыру. Олар 3D бөлігінің әсеріне ұшыраған кезде олардың тегістігін қамтамасыз етеді.

2.1 Ақырлы элементтерді талдау процесі

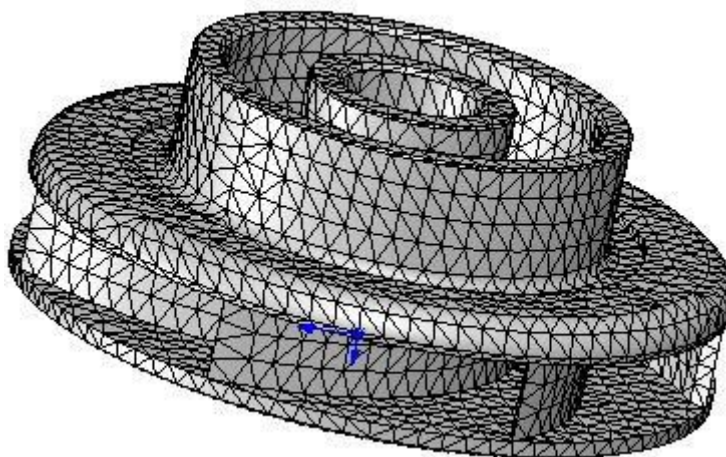
Ортадан тепкіш күштің батырмалы ортадан тепкіш ұнғымалық сорғының жұмыс дөңгелегінің кернеулі-деформацияланған жағдайына әсерін зерттеу үшін осы зерттеуде соңғы элементтер әдісі (МКЭ) қолданылады.

Бұл әдіс жеке туынды, сондай-ақ қолданбалы физика есептерін шешу кезінде пайда болатын интегралды теңдеулермен Дифференциалдық теңдеу түрінде қалыптастырылған есептерді шешудің сандық процедурасы болып табылады. Түйіндердегі шешім компоненттері еркіндік дәрежесі болып табылады. Еркіндік дәрежесі ретінде белгісіз функцияның түйіндік мәндерін де, оның түйіндердегі кеңістіктік координаттарға қатысты туындыларын да қолдануға болады. Бұл әдіс гидродинамика, жылу беру, электродинамика, деформацияланатын қатты механика мәселелерін шешуде кеңінен қолданылады.

Ақырлы элементтерді талдау процесі белгілі бір кезеңдерден тұрады:

Аймақтың дискретизациясы: тор құру, элементтердің материалын тапсыру. Тапсырма шешілетін аймақ, соңғы элементтер деп аталатын қарапайым түрдегі қиылыспайтын субастиялармен жабылады. Сынған

зерттелетін аймақтың көптеген элементтері әрине элементтік тор деп аталады (9 сурет). Соңғы элементтердің шырлары элементтің геометриясын сипаттау үшін арналған тораптар болып табылады. Түйіндегі шешім компоненттері еркіндік дәрежесі деп аталады. Қарастырылып отырған есептерге байланысты түйіндегі еркіндік дәрежелерінің саны әр түрлі.



9-сурет - Доңгелектың беріктігін талдауда ақырлы элементтер торын құру

Көп жағдайда полиномдар түрінде тандалатын базистік функцияларды таңдау, сондықтан шешім ізделетін кеңістік бөлшек-полиномиалдық функциялардың кеңістігі болып табылады.

2.2 Қолданылатын қолданбалы бағдарламалар

Графикалық материалды жасау үшін КОМПАС-3D бағдарламасы қолданылды. КОМПАС - 3D қатты денелі және беттік үлгілеудің қуатты функционалдық мүмкіндіктерімен жұмыс істеу жеңілдігі мен игерудің оңай үйлесімділігінің арқасында мыңдаған кәсіпорындар үшін стандарт болған үш өлшемді жобалау жүйесі.

Өнімнің негізгі ерекшелігі өзіндік c3d математикалық ядросы мен АСКОН мамандары әзірлеген параметрлік технологияларды пайдалану болып табылады.

КОМПАС-3D ең көп таралған 3D модельдерінің (STEP, ACIS, IGES, DWG, DXF) форматтарын қолдауды қамтамасыз етеді, бұл жұмыста кез келген CAD/CAM/CAE-жүйелерді пайдаланатын аралас ұйымдар мен тапсырыс берушілермен тиімді ақпарат алмасуды ұйымдастыруға мүмкіндік береді. [15] Жұмыс дөңгелегінің қатты үлгісін модельдеу үшін SolidWorks бағдарламасы қолданылды.

SolidWorks негізгі конфигурациялары күрделі құрастыруларды, механизмдерді, жарақтарды, өнеркәсіптік объектілерді, металл құрылымдарын, коммуникацияларды, табақ материалынан жасалған бұйымдарды, электр

техникасын және т. б. қоса алғанда, кез келген күрделілік және мақсатқа арналған бұйымдарды әзірлеу үшін қолданылады.

SolidWorks технологияларын енгізу әлемдік және ішкі нарықтағы кәсіпорындардың бәсекеге қабілеттілігінің жоғары деңгейін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді, бұл ретте:

- әзірлеу мерзімдерін 30-50%– ға қысқарту;
- бұйымды әзірлеу кезеңіндегі шығындарды 50%– ға дейін қысқарту;
- жобалау кезеңінде қателер санын 60-90%-ға қысқарту;
- бұйымның эстетикалық тартымдылығын күшейту;
- қағидатты жаңа, инновациялық бұйымдарды әзірлеу мүмкіндігі.

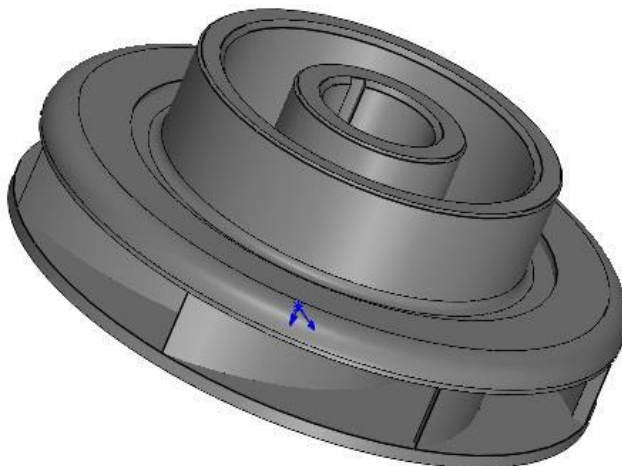
[16]

Жұмыс дөңгелегінің кернеулі-деформацияланған күйін берік статикалық есептеу және талдау SolidWorks Simulation бағдарламасының компонентінің көмегімен жасалды. Сандық әдістермен беріктікке аналитикалық есептеу нәтижелері Mathcad бағдарламасында алынды.

3 Есептеулер мен талдаулар

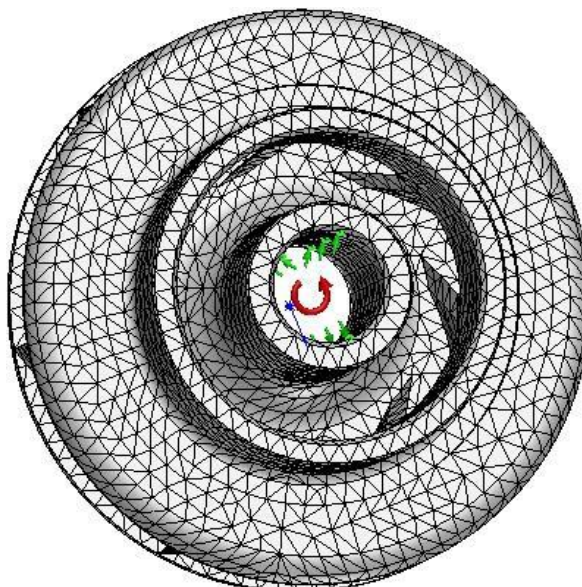
3.1 Соңғы элементтер әдісімен жұмыс дөңгелегінің статикалық беріктігін талдау

3D-басып шығару технологиясының көмегімен дайындалған жұмыс дөңгелегінің кернеулі-деформацияланған жағдайына ортадан тепкіш күштің әсерін бағалау және берік есептеуді жүргізу үшін SolidWorks кешенді бағдарламасында 3D-модельді жобалаймыз (10-сурет).



10-сурет - 3D-жұмыс дөңгелегі моделі

Материал ретінде қабатты балқыту әдісімен басып шығару кезінде пайдаланылатын ABS-пластиктен аламыз. Бұдан әрі тетраэдральдық торға жұмыс дөңгелегінің алынған 3D-моделін бөлшектейміз-қисық сызықты беттерге қатысты бөлу дәлдігі берілген элементті тор (11-сурет).



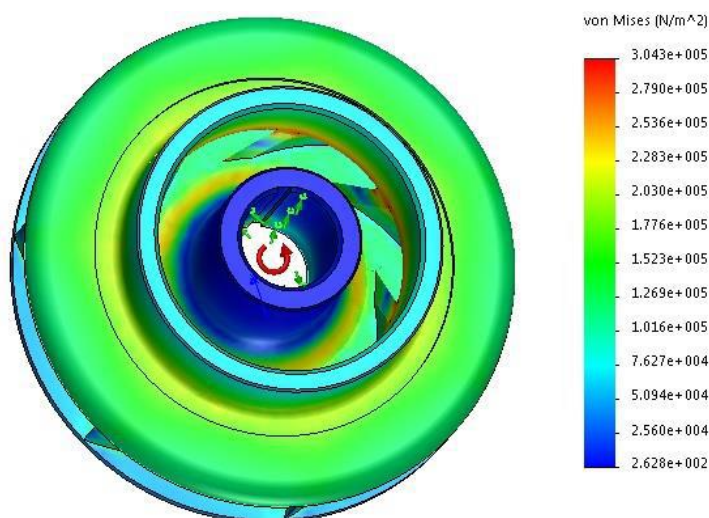
11-сурет-Тетраэдральдық торға бөлінген жұмыс дөңгелегі

Ортадан тепкіш күштің шамасы жұмыс доңғалағының бұрыштық жылдамдығына тікелей байланысты. ЭЦВ 8-25-100 батырылатын ұңғымалық сорғы үшін айналу жиілігі 3000 айн/мин тең.:

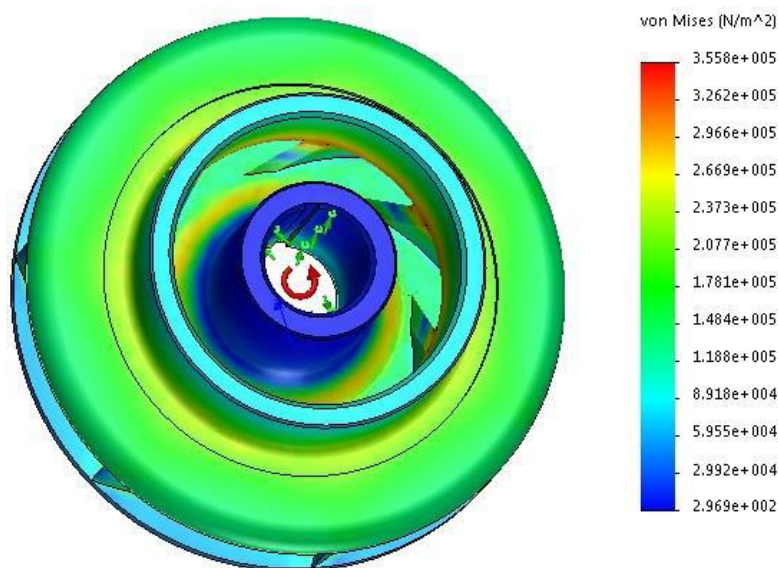
$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}; \quad (1)$$

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

Пайдалана отырып компонент SolidWorks Simulation бағдарламасына жүктейміз, дөңгелегі тепкіш күш арқылы табылған мәні, бұрыштық жылдамдығы мен орындаймыз статикалық қаттылығын есептеу. Кернеулі-деформацияланған күй есебінің нәтижелері 12-суретте келтірілген.



12-сурет- ABS-пластиктен жасалған жұмыс доңғалағының кернеулі-деформацияланған күйі



13-сурет- Поликарбонаттан жасалған жұмыс доңғалағының кернеулі-деформацияланған күйі

ABS-пластиктен жасалған жұмыс дөңгелегінің кернеулі-деформацияланған күйін зерттеу нәтижесінде алынған кернеулер таңдалған материалдың ағымдылық шегінен аспайтыны туралы қорытынды жасауға болады. Пластика үшін:

$$\sigma_T = 0,9 \cdot \sigma_B, \quad (2)$$

мұндағы σ_T -ағымдылық шегі, МПа; σ_B – материалдың созылу беріктігінің шегі, МПа (ABS-пластика $\sigma_B = 30$ МПа).

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

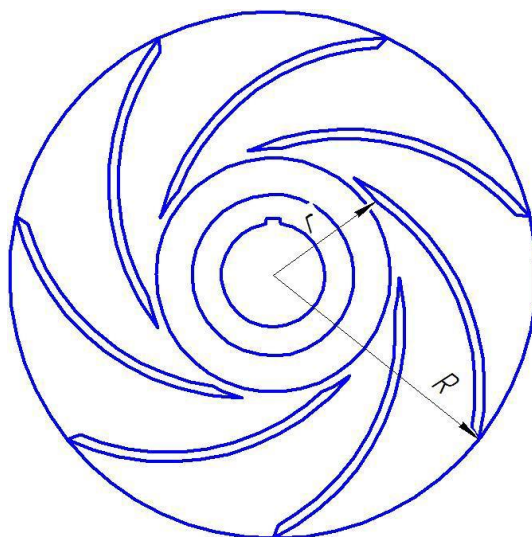
Сондай-ақ осы доңғалақтар беріктігі бойынша қысыммен құюмен жасалатын поликарбонаттан жасалған дөңгелектерден шамалы ерекшеленеді. ЭЦВ 8-25-100 батырмалы ұңғымалық сорғының жұмысы кезінде жұмыс доңғалақтарының центрден тепкіш күштің әсерінен бұзылуы болмайды. Демек, беріктілік сипаттамалары бойынша қабаттап балқыту әдісімен 3D-басып шығару технологиясы ABS-пластиктен бөлшектерді дайындау үшін қолданылады.

3.2 Жұмыс дөңгелегінің беріктігіне аналитикалық есеп

Батырмалы ортадан тепкіш ұңғымалық сорғының жұмыс дөңгелегінің беріктігін есептеу өзіне орталықтан тепкіш күш әрекетінен созылу қалақтарын есептеу және дискілерді есептеу кіреді. [16] Есептеулер созылуына жасалады кернеуін анықтау, туындаған центрден тепкіш күшпен. Көлденең қиманың тұрақты ауданы бар қалақтар үшін ортадан тепкіш күштерді мынадай формула бойынша анықтайды:

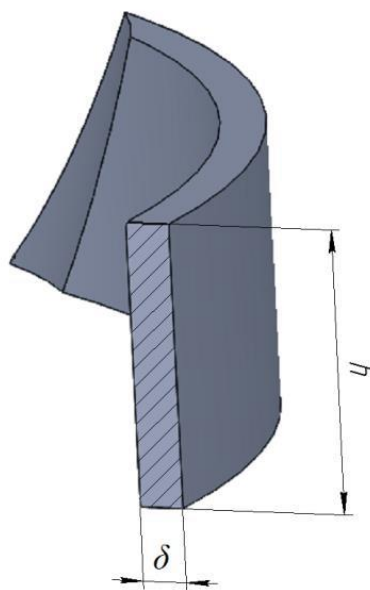
$$C = \rho \cdot \omega^2 \cdot F \cdot \frac{R^2 - r^2}{2}, \quad (3)$$

мұндағы R және r - сәйкесінше қалақтардың сыртқы және ішкі радиусы, м (16-сурет);



14-сурет - Жұмыс дөңгелегі

ρ - қалақ материалының тығыздығы 1050 кг / м³-ABS-пластика үшін;
 ω -бұрыштық жылдамдық, рад / с;
 F -қалақтың көлденең қимасының ауданы, м² (15-сурет).



15-сурет - Қалақтың көлденең қимасының ауданы

Жұмыс дөңгелегі қалақшасының көлденең қимасының ауданын табамыз:

$$F = h \cdot \delta = 0,013 \cdot 0,002 = 26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2; \quad (4)$$

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

мұндағы h -қалақтың биіктігі, м; δ -қалақтың ені, м.

Демек, ортадан тепкіш күш тең:

$$C = 1050 \cdot 314^2 \cdot 26 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{0,056^2 - 0,027^2}{2} = 3,24 \text{ Н.}$$

Ортадан тепкіш күштен созылу кернеуі мынадай формула бойынша анықталады:

$$\sigma = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot (R^2 - r^2); \quad (5)$$

$$\sigma = \frac{1}{2} \cdot 1050 \cdot 314^2 \cdot (0,056^2 - 0,027^2) = 124,59 \text{ кПа.}$$

Дискілерді есептеу қалақтардың профильді бөліктерінің ортадан тепкіш күшінен кернеуді табудан тұрады:

$$\sigma_{rb} = \frac{z \cdot C}{2 \cdot \pi \cdot b \cdot h_b}, \quad (6)$$

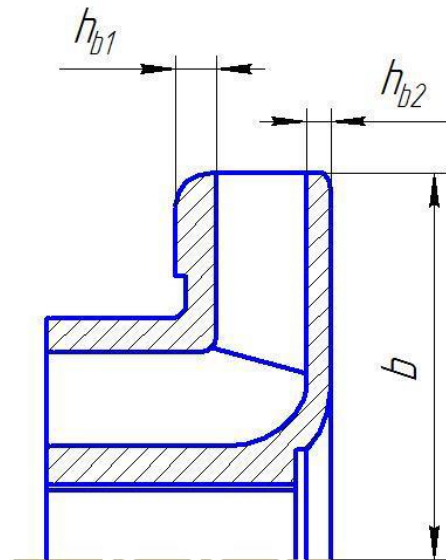
мұнда z -күрек саны; c -қалақтың бейінді бөлігінің ортадан тепкіш күші, Н; b -диск радиусы, м; h_b -диск қалыңдығы, м.

Ортадан тепкіш ұңғымалық сорғының жұмыс дөңгелегі алдыңғы және артқы дискілер болғандықтан, онда h_b деп барлық дискілердің жиынтық қалыңдығын түсінеді (16-сурет):

$$h_b = h_{b1} + h_{b2}; \quad (7)$$

$$h_b = 0,006 + 0,0035 = 0,0095 \text{ м,}$$

h_{b1} -алдыңғы дискінің қалыңдығы, м; h_{b2} -артқы дискінің қалыңдығы, м.



16-сурет - Жұмыс дөңгелегі

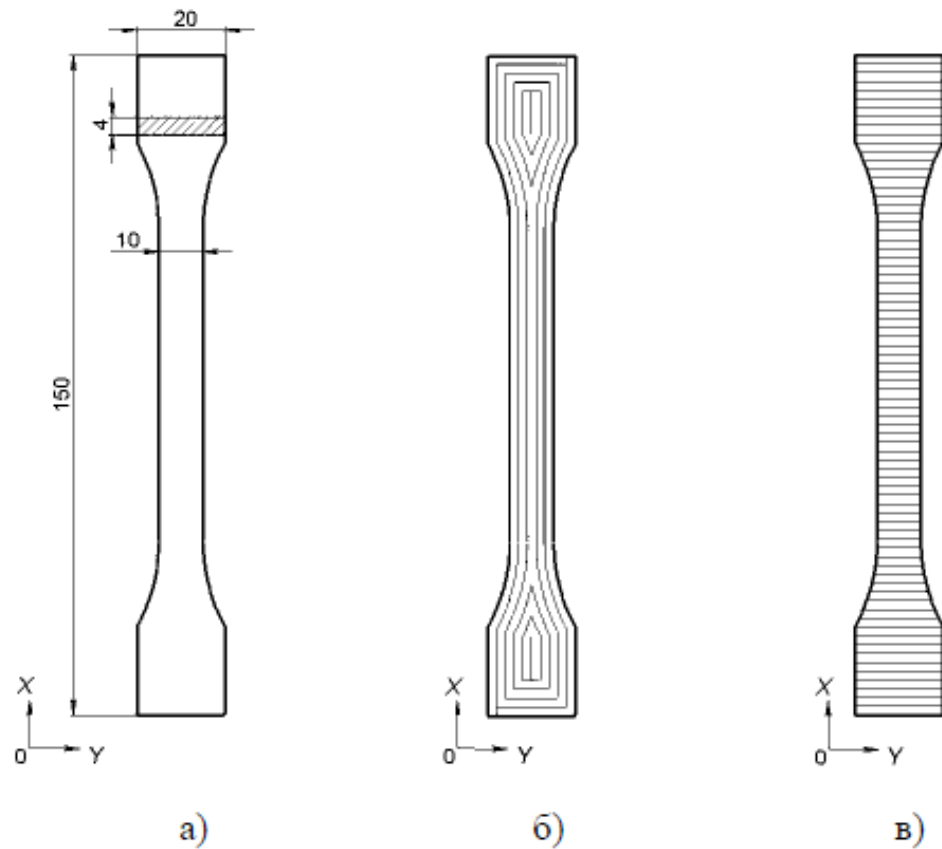
$$\sigma_{rb} = \frac{7 \cdot 124,59}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,056 \cdot 0,0095} = 261,04 \text{ кПа.}$$

Нәтижесінде аналитикалық есептеу беріктігі жұмыс доңғалағының ортадан тепкіш ұңғымалық сорғының туралы қорытынды жасауға болады бұл алынған мәндер кернеу ортадан тепкіш күштің лопатке және дискілерде аспайды, материалының ағымдылық шегінің ABS-пластиктен жасалған, тең 27 МПа.

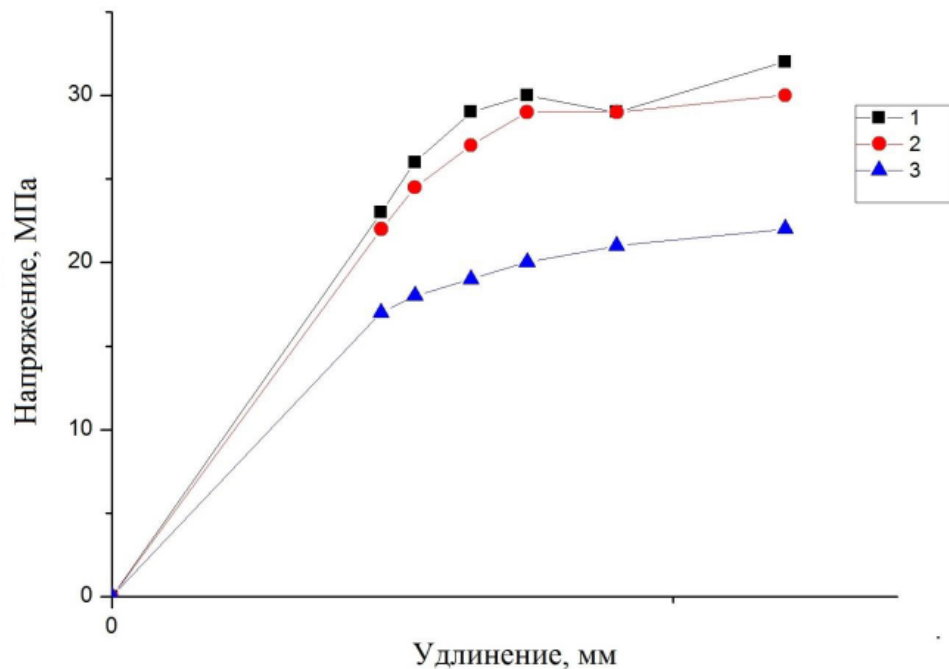
3.3 3D баспа материалдарын созуға сынау (қысу)

Қабаттап балқыту әдісімен жұмыс дөңгелектерін дайындау үшін пайдаланылатын полимерлі материалды модификациялаудың ең қолайлы тәсілін анықтау үшін ABS-пластиктен үлгі топтарының үзілу беріктігіне механикалық сынақтар жүргізілді. Үлгілер әртүрлі тәсілдермен яғни, пресстеу камерасында (3, 17-сурет) және 3D басып шығару арқылы жасалды. 3D басып шығару арқылы алынған үлгілер әртүрлі жолдармен филаменттерді қабатпен басу арқылы пайда болды. Оларды, созылу жүктемесін қолдану бағыты бойынша (сызықтардың бойлық орналасуы/ продольное расположение стренг) (сурет 17, б) және жүктеу бағыты бойынша (жолдардың көлденең орналасуы/ поперечное расположение стренг) (17, в-сурет) жүргізілді.

Үлгілер ГОСТ 11262-80 сәйкесінше жасалды және сыналды. Үлгілер GotechAI-7000M сынақ машинасында толығымен үзілгенге дейін 5 мм/мин жылдамдықпен тартылды. Тест нәтижелері кестеде келтірілген (18-сурет). Қисық 1 қалыптау әдісімен алынған үлгілердің орташа беріктігіне сәйкес келеді. 2-қисық сызық - бойлық орналасуы бар 3D принтерде басылған үлгілер, 3-қисық - 3D сызықтарын көлденең орналасуы бар 3D принтерде басылған үлгілер.



17 сурет - Механикалық сынауға арналған үлгілер



18-сурет-түрлі тәсілдермен алынған үлгілер үшін созылу кезіндегі кернеу – деформация диаграммасы: 1 – қысыммен құю, 2 - 3D – қоса берілген жүктемеге параллель бағытымен басып шығару (бойлық орналасуы), 3-3D-қоса берілген жүктемеге перпендикуляр стренг бағытымен басып шығару (көлденең орналасуы).

Графиктен құймамен алынған үлгілер және (x осінің бойымен) бойлық орналасуы бар басылған үлгілер шамалы (5% - дан артық емес) ерекшеленеді. Бұл беріктіктің құлауы үлгілерде қуыстардың болуы салдарынан көлденең қима ауданының азаюымен және престеу камерасындағы қысымға қарағанда 3D-принтер сопласындағы қысымның азаюымен түсіндіріледі. Стренгтің көлденең орналасуы бар үлгілер (Y осінің бойымен) аз беріктікке ие (20% дейін). 3D-басып шығару кезінде қолданылатын әртүрлі материалдардың механикалық сипаттамаларын салыстыру үшін поликарбонаттан (PC), полилактидтен (PLA) және полиамидтен (PA) жасалған үлгілер дайындалды және созылуға сыналды. Созуға сынау нәтижесінде алынған материалдардың салыстырмалы ұзаруы және уақытша кедергісі (беріктілік шегі) 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1-3D баспа материалдарының механикалық сипаттамаларын салыстыру.

Материал	Салыстырмалы ұзаруы δ , %	Беріктілік шегі σ_b , МПа
ABS-пластик	50	30
Поликарбонат (PC)	30	49
Полилактид (PLA)	32	31
Полиамид (PA)	55	36

3D-басып шығару кезінде қолданылатын әр түрлі материалдардың механикалық сипаттамаларын салыстыру нәтижесінде поликарбонат ABS-пластик, полилактид және полиамид сияқты материалдардың арасында анағұрлым берік, бірақ пластикалық болып табылады деген қорытынды жасауға болады.

3.4 Беттің кедір-бұдырлығының әсерін зерттеу

3D-басып шығару технологиясы қабатты балқытылған ABS-пластик жібінің қабаттарын жүйелі жағуға негізделген. Осының салдарынан сыртқы қабаттардың қабырғаларының жоғары кедір-бұдырлығының негізгі факторы болып табылатын, принтердің рұқсат етуінің төмендігінен қабырғалар пайда болады. Осылайша, FDM-технологиясы бойынша жасалған жұмыс дөңгелектері басып шығарудан кейінгі өңдеу талап етіледі.

Қабырғалар бетінің кедір-бұдырлығы сұйықтық ағынының гидродинамикалық спектрінің өзгеруіне айтарлықтай әсер етеді, бұл өз кезегінде қысымның жоғалуына және жылдамдықтың таралуына әкеледі. Кедір-бұдырлығы келесі факторлардың қатарында анықталады: қабырға материалы; механикалық өңдеу сипаты, оған кедір-бұдырлықтың шығынқы биіктігі, олардың пішіні, қалыңдығы және олардың үстіңгі бетіне орналасу

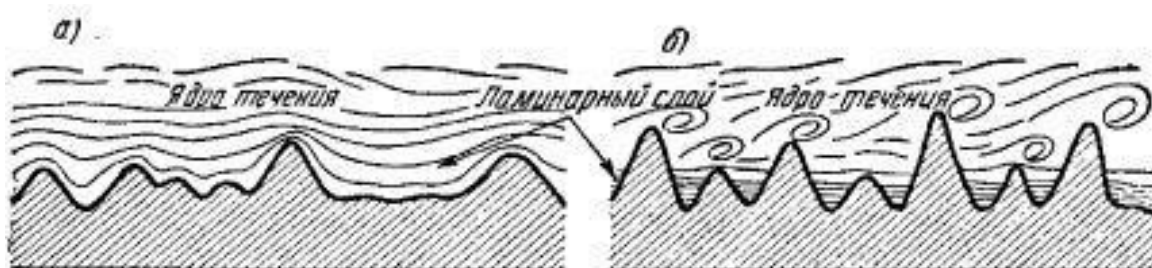
сипаты; тот, коррозия, қорғаныс жабындары, жауын-шашын шөгінділері және т. б.

Сұйықтық ағынының түріне байланысты гидравликалық кедергі λ коэффициенті үйкеліс салдарынан қысымның жоғалуына тікелей әсер етеді (Дарси-Вейсбах формуласы бойынша):

$$h_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}. \quad (8)$$

Жұмыс дөңгелектерінде батырмалы ортадан тепкіш ұңғымалық сорғыны пайдалану кезінде сұйықтықтың турбуленттік ағысы пайда болады. Дәл осы кезде үлкен мәндері санының Рейнольдс саны кедір алатын негізгі рөлі кедергі. Рейнольдс санының аз мәндерінде қабырғаның бетінде кедір-бұдырлықты құрайтын жекелеген ламинарлы қабатқа толығымен батырылған. Бұл қабаттағы сұйықтықтың қозғалысы баяу; қабырғаның тегіс емес қабырғалары ағынның және құйындарының түзілуінсіз ағады (19, а-сурет).

Ламинарлы қабат қабырға беті мен ағынның турбулентті "ядросы" арасындағы майлау сияқты рөл атқарады. Рейнольдс санының өсуіне қарай ламинарлық қабат жұқа болады, ал турбуленттік "ядроның" шекарасы құбыр қабырғаларына жақындайды. Рейнольдс санының үлкен мәндерінде негізі ғана ламинарлық қабатта болады; олардың ұштары турбулентті ағынмен ағады, сонымен бірге ағуы сұйықтықтың ағуымен алып жүретін құйынды жыртып жүреді (19, Б-сурет). [18]

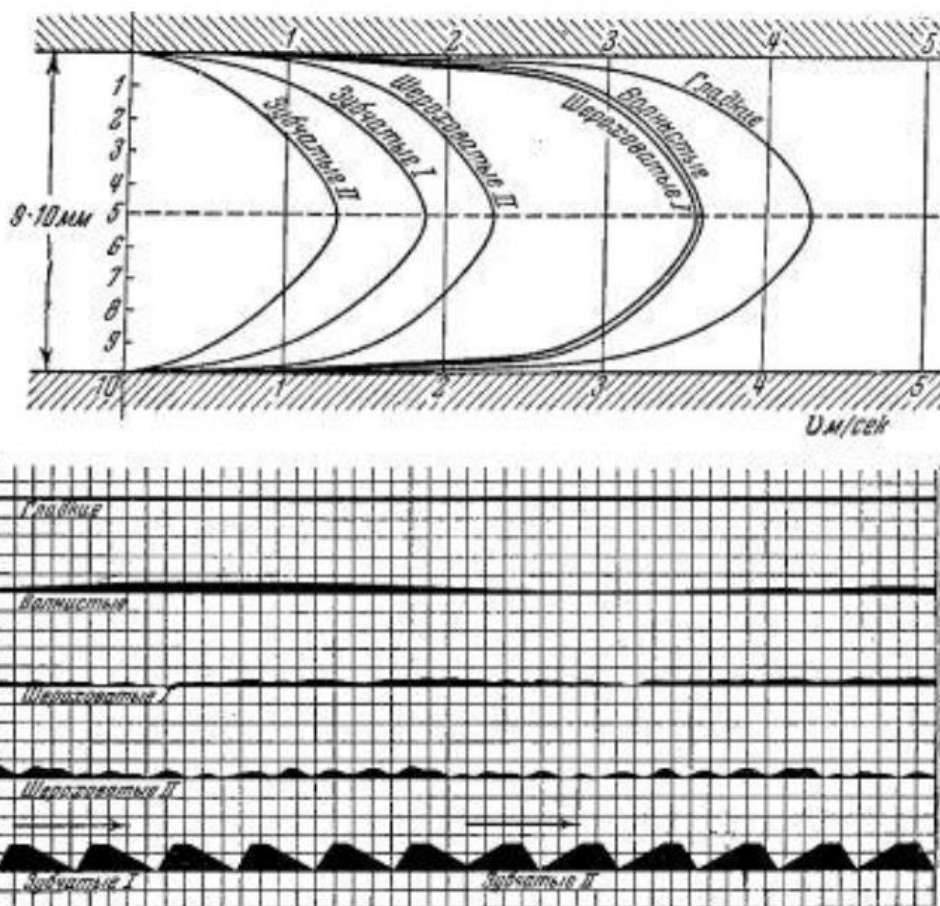


19-сурет-кедір-бұдырлы қабырғаға жақын сұйықтық ағысы: а) Рейнольдс санының аз мәндерінде (бугоркалар ламинарлы қабатқа батырылған), б) Рейнольдс санының үлкен мәндерінде (бугорктардың шыңдары ағымның турбулентті "ядросында" орналасқан)

Құйынды бугорктардың шыңдарынан үзілуі салдарынан құбырдың кедергісі артады. Бұл ретте ол негізінен салынған қысымның кедергісі болып табылады, квадраттық заң бойынша өзгереді және бугорканың ламинарлы қабаттан жоғары бөлігінің шамасымен, оның пішімімен және орналасу тығыздығымен анықталады. Олардың шыңдары ламинарлық қабаттың барлық шектері болады, яғни ағымның турбуленттік "ядросында". [18] Жылдамдықтарды үлестірудің логарифмдік заңы тегіс пластиналар мен кедір-бұдырлар арасындағы қысымның бірдей шығындарымен сұйықтық ағымында жылдамдықтың қисықтары бір-бірімен біріктірілуі мүмкін. Бұл 20 суретте

көрсетілген, онда эксперименталды деректері негізінде құрылған жылдамдықтар бөлу профилі көрсетілген.

Бұл профильдер тегіс қабырғаға арналған жылдамдық градиенті кедір-бұдырлыққа қарағанда едәуір көп қабырғаларға тікелей жанасатын облысты қоспағанда, қабырғалардың арасындағы барлық дерлік қашықтықта бірдей. Осылайша, дамыған турбуленттік қозғалыс саласында кедір-бұдырлықтың әсері құбыр осі бойымен жылдамдықтың таралу қисығының ығысуына ғана түседі.

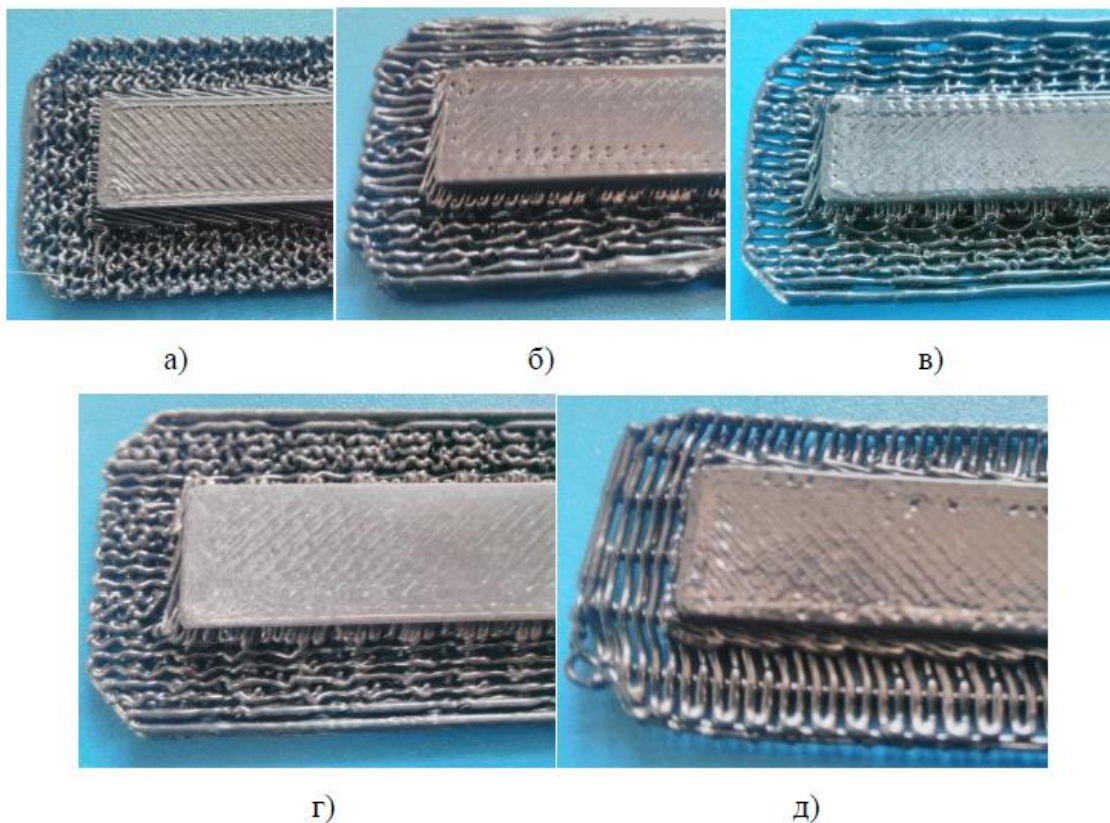


20-сурет-тегіс пластиналар мен кедір-бұдырлар арасындағы қысымның бірдей жоғалуымен сұйықтық ағысы кезінде жылдамдықтың таралуы әртүрлі кедір-бұдырлық дәрежесімен (Фрич тәжірибесі бойынша)

Осы қасиеттері профильдер жылдамдығы туралы қорытынды жасауға болады, оның кедір әсер етеді бөлу жылдамдығының ғана облысы, тікелей іргелес қабырғаға. Барлық қалған аймақта қозғалыс жылдамдығы қабырғаның жай-күйіне байланысты емес (қосылыстардың барлық қимасы үшін тұрақты дәлдікпен). Барлық кедір-бұдырлықтар үшін әмбебап жылдамдықтарды бөлудің логарифмдік заңы осы облыстың шекарасында әртүрлі, кедір-бұдырлықтың әртүрлі шамалары үшін, қабырғаға іргелес облыстағы жылдамдық профилдерімен бірқалыпты түйіседі. Жұмысты орындау барысында басылымнан кейінгі өңдеудің ең тиімді тәсілін анықтау бойынша тәжірибе

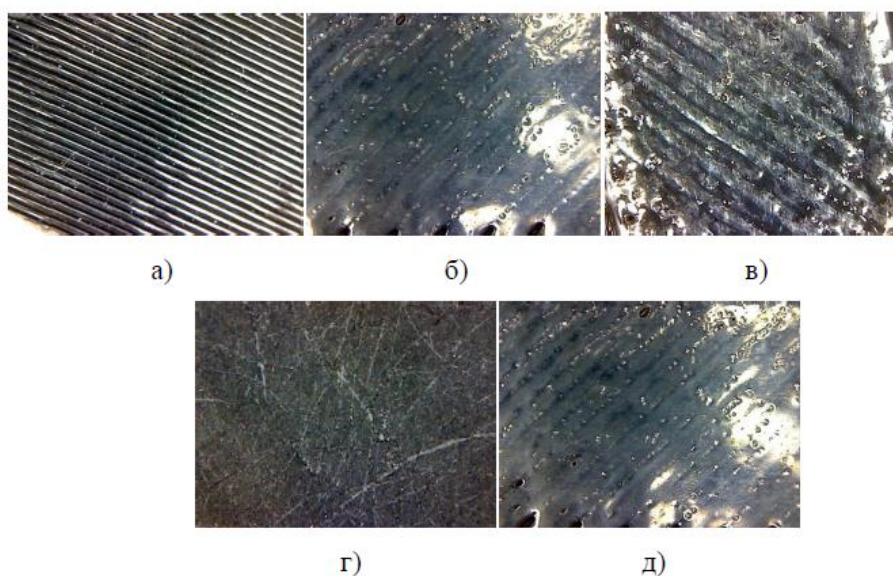
жүргізілді. Қабаттап балқытудың технологиясымен көлемі 10x50 мм ABS-пластиктен жасалған дайындамалар алынды.

Беттің сапасын салыстыру үшін дайындалған үлгілер ацетон буымен химиялық улануға, термиялық қыздыруға, ABS-пластик қабаттарын басу процесінде шпательмен тегістеуге және тегістеуге бейім болды. Өткізілген тәжірибенің нәтижелері 21-суретте көрсетілген.

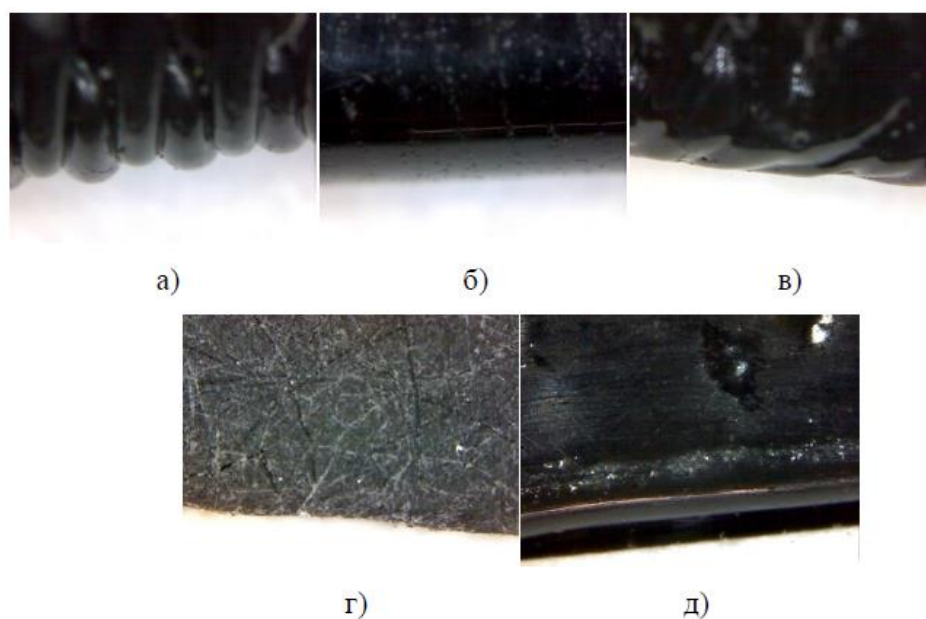


21-сурет- баспадан кейінгі өңдеу нәтижесінде алынған тәжірибелік үлгілердің беті: а) бастапқы үлгі; б) химиялық өңдеу; в) термоөңдеу; г) тегістеу; в) шпательмен тегістеу

Бұдан әрі 40 және 220 есе ұлғайған кезде 220x MicroView микроскоптың көмегімен өңделген басылған үлгілердің беті мен шеттерінің суреттері жасалды.



22-сурет- микроскоптың 40 есе ұлғаюымен тәжірибелік үлгілердің беті: а) бастапқы үлгі; б) химиялық өңдеу; в) термоөңдеу; г) тегістеу; в) шпательмен тегістеу



23-сурет- микроскоптың 220 есе ұлғаюымен тәжірибелік үлгілердің беттерінің шеттері: а) бастапқы үлгі; б) химиялық өңдеу; в) термоөңдеу; г) тегістеу; в) шпательмен тегістеу

ABS-пластиктен жасалған үлгілердің үстіңгі бетінің сапасына жүргізілген талдау нәтижесінде қатпарлы балқыту әдісімен 3D-басып шығару технологиясының көмегімен басып шығарудан кейінгі өңдеудің ең тиімді тәсілі тегістеу болып табылады деген қорытынды жасауға болады. Осыған

қарамастан, олардың күрделі геометриялық нысаны байланысты жұмыс дөңгелектерін өңдеу үшін осы әдісті пайдалану әрқашан мүмкін емес. Ацетон буымен химиялық әсер ету жұмыс дөңгелектерін өңдеу үшін қолданылуы мүмкін, сондай-ақ форманың жоғалуына әкелетін химиялық агрессивті ортаның әсерінен бақыланбайтын деформациялармен байланысты процестің технологиялық күрделілігінен тұратын белгілі бір кемшілігі бар. Осы факторлар аясында механикалық үтіктеу баспадан кейінгі өндеудің ең перспективалы тәсілі болып табылады. Шпательді қолдану бөлшектің бетінің сапасын, оны дайындау сатысында, тек балқытылған ABS-пластик жіптің жағылған қабаттарын тікелей тегістеу нәтижесінде арттыруға мүмкіндік береді

ҚОРЫТЫНДЫ

Диплом жазу барысында барлық қойылған мақсаттарға толық қол жеткізілді.

Бірінші кезеңде Fused Deposition Modeling технологиясының құрылымын және алғашқы патенттерді толық қанды зерттеді. 3D басып шығару технологиясы туралы және жұмыс жасау принципіні зерттедік. Fused Deposition Modeling технологиясымен басып шығарылған бұйымды баспадан кейінгі өңдеу әдістерімен талдау жүргіздік. Сонымен қатар бағдарламалық жабдықтарды да зерттедік. Бұйымның соңғы элементтер әдісімен жұмыс дөңгелегінің статикалық беріктігін талданды. Жұмыс дөңгелегінің беріктігіне аналитикалық есептер жүргізілді, сонымен қатар 3D баспа материалдарын созуға сыналды. Fused Deposition Modeling технологиясымен басып шыққан бұйымдардың кедір-бұдырлығының әсерін анықталды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Все о 3D-печати. URL: <http://www.itemprint.ru>.
- 2 3D-принтеры. URL: <http://www.3dnews.ru/peripheral/3d-print/print>.
- 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 Новости 3D-печати и 3D-сканирования. URL: <http://3ddaily.ru>
- 5 Лундстрем, Г. Захватывающие устройства промышленных роботов. Материалы симпозиума фирмы "Ретаб" (на русском языке), Швеция, изд. фирмы, 1976.
- 6 Технологии 3D-печати. Принципы, возможности, расходные материалы, цены // URL: http://www.ixbt.com/printer/3d/3d_tech.shtml.