

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

Рахимжанов Ерназар Ерболович

«Бұйымдарды дайындау кезінде 3D Printing аддитивті 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 3D Printing аддитивті технологиясын қолдануды зерттеу»

5B071200 – Машина жасау

Орындаған

Рахимжанов Ерназар Ерболович

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 Рахимжанов Ерназар Ерболович

Тақырыбы «Бұйымдарды дайындау кезінде 3D Printing аддитивті технологиясын қолдануды зерттеу»

Университет ректорының «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ ж. №\_\_\_\_\_ бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ ж.

Дипломдық жобаның бастапқы берістері бұйым жасау кезінде 3D Printing технологиясын қолдануды зерттеу

Дипломдық жобада қарастырылатын мәселелер тізімі

- a) 3DP технологиясындағы принтірлер
- б) 3D басып шығару және баспадан кейінгі өңдеу
- в) ZCast процесіне негізделген зерттеу
- г) Эталондық таңдау

Ұсынылған негізгі әдебиет: 7 атау

Дипломдық жобаны дайындау  
**КЕСТЕСІ**

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәліметтер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Кіріспе. Аддитивті технологиясына жалпы шолу		
3DP технологиясын зерттеу		
Медицина, сәулет және металл құю саласындағы 3DP қолдануды зерттеу		
Қалпақшаның қалыптарды жобалау		

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 \_\_\_\_\_ Рахимжанов Е. Е.

Күні «\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 ж.

## АНДАТПА

Берілген дипломдық жобада аддитивті технологиялардың ішіндегі 3DP технологиясы процесінің жұмыс жасауын толық зерттелді қарастырылды. Алынған мәліметтерге сай аддитивті технологиясына жалпы шолу жасалынды, және 3DP технологиясын толық зерттедік.

ZCast процесін зерттедік. ZCast металды тікелей құю процесін пайдалану арқылы алынған RCS қаттылығын зерттедік. Эталондық таңдау жасалынды. Параметрлерді таңдап және қалпақшаның қалыптарды жобаланды.

3DP жүйелерінің қосымша қосалқы материалдарды пайдаланбай түрлі-түсті компоненттерді өндіру қабілеті, одан кейін өңдеу операцияларының аз саны бар және ең бастысы, басқа АМ коммерциялық жүйелерімен салыстырғанда салыстырмалы түрде төмен шығындар мен жоғары жылдамдық кезінде 3DP технологиясы дизайнды талдау және визуализация мақсатында жаңа өнімдер әзірлеушілер мен сәулетшілер үшін бірінші таңдау жасайды.

## АННОТАЦИЯ

В данном дипломном проекте рассмотрена полная работа процесса технологии 3DP из аддитивных технологий. Согласно полученным данным был проведен общий обзор аддитивной технологии, и мы полностью изучили технологию 3DP.

Исследовали процесс ZCast. ZCast изучила жесткость RCS, полученная с использованием процесса прямого литья металла. Создан эталонный выбор. Выбирали параметры и спроектировали формы колпачков.

Система 3DP обладает способностью производить цветные компоненты без использования дополнительных вспомогательных материалов, а затем небольшим количеством операций по обработке и, самое главное, при относительно низких затратах и высокой скорости по сравнению с другими коммерческими системами АМ, технология 3DP делает первый выбор для разработчиков и архитекторов новых продуктов с целью анализа дизайна и визуализации.

## ANNOTATION

This diploma project covers the full operation of the 3DP technology process from additive technologies. According to the data obtained, a General review of the additive technology was conducted, and we fully studied the 3DP technology. We studied the ZCast process.

ZCast studied the stiffness of RCS obtained using a direct metal casting process. A reference selection was created. We selected parameters and designed the shape of the caps.

The 3DP system has the ability to produce color components without the use of additional auxiliary materials, and then a small number of processing operations and, most importantly, at a relatively low cost and high speed compared to other commercial AM systems, 3DP technology makes the first choice for developers and architects of new products for the purpose of design analysis and visualization.

## МАЗМҰНЫ

Кіріспе	8
1 Аддитивті технологиясына жалпы шолу	10
1.1 3DP технологиясы	11
1.2 3DP технологиясындағы принтірлер	13
2 Медицина, сәулет және металл құю саласындағы 3DP қолдану	15
2.1 Медицинада 3DP қолдану.	15
2.2 Архитектурада 3DP технологиясын қолдану	16
2.3 Металл құюдағы 3DP технологиясын қолдану: RC.	17
2.4 ZCast процесіне негізделген зерттеу	20
3 Тақырыптық Зерттеу.	24
3.1 ZCast металды тікелей құю процесін пайдалану арқылы алынған RCS қаттылығын зерттеу	24
3.2 Эталондық таңдау	25
3.3 Параметрлерді Таңдау	25
3.4 Қалпақшаның қалыптарды жобалау	25
3.5 Қабық пішіндерін басып шығару	27
Қорытынды	33
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	34

## КІРІСПЕ

АМ әдістерінің ішінде 3DP технологиясы салыстырмалы түрде жаңа әдіс болып табылады, ол әр түрлі материалдарды қолдана отырып, геометрияның әр түрлі бөлігін алудың жеңілдігін ұсынады және компьютерлік жобалаудың (CAD) мәліметтерін тікелей қолдану арқылы күрделі бөліктердің салыстырмалы түрде тез өндірілуін қамтамасыз етеді. 3DP процесі 1994 жылы АҚШ-тың 005340656 патентімен патенттелген (Sachs et al., 1994). Үш өлшемді басып шығару (3DP) - бұл технологияны Массачусетс технологиялық институтының (MIT) екі студенті Тим Андерсон мен Джим Бредт 1993 жылы жасаған. 1995 жылы Тим Андерсон мен Джим Бредт нарыққа осы технологияны жетілдіріп, оны жетілдірген Z Corporation компаниясын құрды. Ол Массачусетс Технологиялар Институтында (MIT) 1993 жылы сия-реактивті технология негізінде жасалған (Чуа, 1994) және Soligen Corporation, Extrude None, Берлингтонның Z Corporation лицензиясына ие (Димитров соавт., 2008). Ол типтік «тұжырымдамалық модельер» және ең жылдам RP процесін көрсететін төменгі деңгейлі жүйе ретінде жіктеледі (Димитров соавт., 2006). Тағы бір компания - ExOne (АҚШ) бірдей технологияны қолданатын 3D принтерлер шығарады. Бұл компания 2005 жылы Extrude None корпорациясының еншілес ұйымы ретінде құрылған. Андерсон мен Бедт алған патенттерді қолдана отырып, олар басып шығару үшін әртүрлі материалдарды: пластмассадан, құм қоспаларынан және металдардан тұратын принтерлер өндірісін бастады.

3DP технологиясы қазіргі уақытта сәулетшілердің қолөнер туындыларын дәстүрлі тәсілмен салыстырғанда, аз уақытта қолданушыларға өз шығармашылықтарын жеткізудің және белгілі бір жобаның әр түрлі дизайнын ұсынудың маңызды құралы болып табылады. Түрлі-түсті басып шығару сәулетшілердің дизайнының барлық бөлшектерін неғұрлым тиімді ұсыну қабілетін арттырды. Sweet Onion Creations компаниясы 3DP технологиясының принтерлерін қолдана отырып, 3D-сәулет үлгілерінің көп түрін ұсынады. 3DP жүйелерінің қосымша қосалқы материалдарды пайдаланбай түрлі-түсті компоненттерді өндіру қабілеті, одан кейін өңдеу операцияларының аз саны бар және ең бастысы, басқа АМ коммерциялық жүйелерімен салыстырғанда салыстырмалы түрде төмен шығындар мен жоғары жылдамдық кезінде 3DP технологиясы дизайнды талдау және визуализация мақсатында жаңа өнімдер әзірлеушілер мен сәулетшілер үшін бірінші таңдау жасайды.

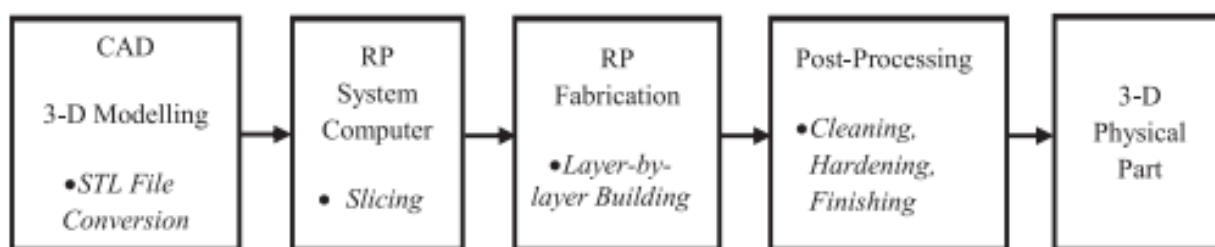


Қазіргі уақытта 3DP жүйесі прототиптерді жасау, металл құю және қысыммен құю үшін, сондай-ақ тікелей бұйымдарды өндіру үшін, әсіресе ойыншықтар өндірісінде кеңінен қолданылады.

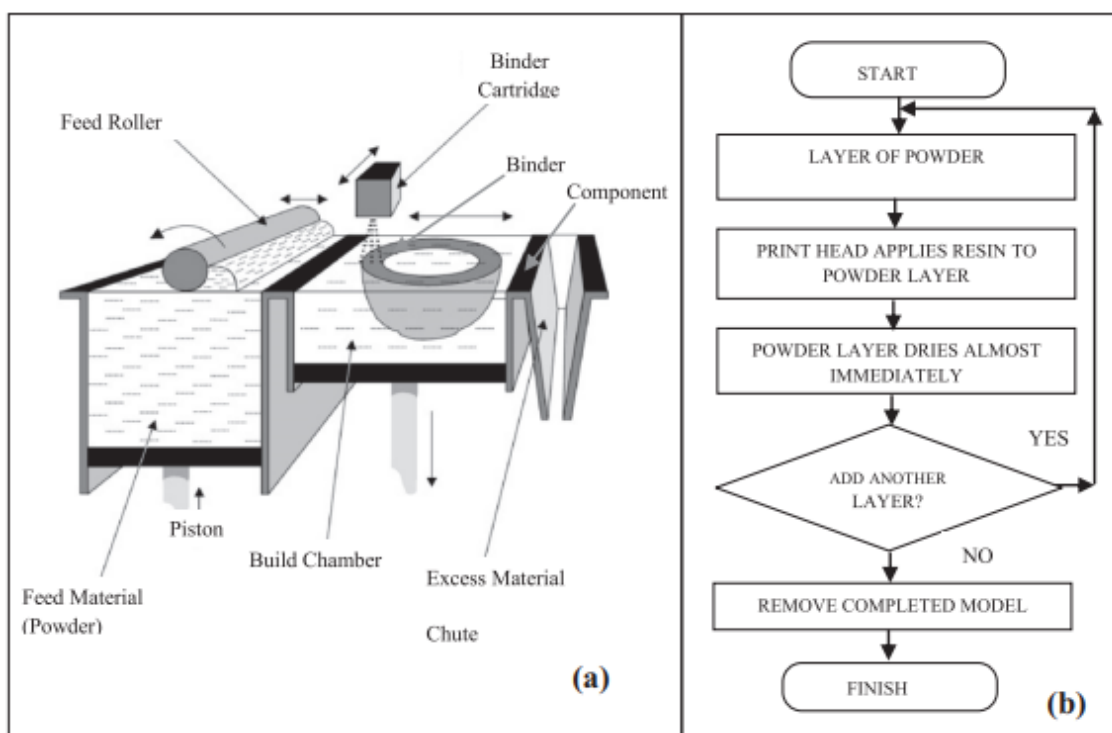
## 1 Аддитивті технологиясына жалпы шолу

Аддитивті өндіріс (АМ) технологиясы өнімді шығару циклін қысқартуға, шағын мөлшерде өндіруге икемділікке қол жеткізуге және арзан бағамен күрделі құрастырылған бұйымдарды шығаруға шешім ретінде пайдаланады. ASTM F2792-10 (2010) АМ-ді 3D -модельдерден объектілерді жасау үшін, материалдарды біріктіру процесі ретінде анықтады, 20 жыл зерттеулер, әзірлемелер және пайдаланудан кейін, АМ индустриясы жаңа технологияларды, әдістер мен қосымшалармен бірге өсуді жалғастыруда (Wohlers, 2007). Аддитивті өндіріс технологиясының, көп саны стереолитография (SLA), Селективті лазерлік жентектеу (SLS), Ламинатталған нысандар өндірісі (LOM), Балқытылған шөгуді модельдеу (FDM), Көп ағынды модельдеу (MJM) және Үш өлшемді баспа (3DP) (Singh, 2010) сияқты салаларда коммерциялық мақсатта қолданылды. АМ-технологиялардың ерте даму кезеңдерінде дизайнды қолдау үшін "сенсорлық" модельдерді құруға (Chua et al., 1998) және, осы қолдану арқасында, "жылдам прототиптеу" (RP) термині АМ орнына бүкіл әлемде қолданылған. Бұл RP әдістері жаңа өнімдерді әзірлеу үшін прототиптерді (визуалды, функционалдық және өндірістік) тез дайындау үшін, медициналық ғылымда пайдаланылатын имплантаттар мен сүйектердің прототиптерін өндіру үшін, қолданды. (Dutta et al., 2001).

Соңғы жиырма жыл ішінде коммерцияланған кейбір АМ техникалары RP, RT, RC және тікелей өндірісті (RM) тікелей өндіру үшін әртүрлі әдістерді, материалдарды және кірістерді қолданады. АМ әдістерінің барлығында бірдей негізгі бес саты қолданылады (1-суретте көрсетілген). Мұнда АМ негізгі әдістерінің қысқаша енгізілімі келтірілген (Чуа, 1994; Аппарат және Флетчер, 2003).



1-сурет - Өндірістің қосымша технологиялық тізбегі (Cheah 2005)



2-сурет - (a) Үшөлшемді басып шығару 3DP процесі (Urcraft and Fletcher, 2003) және (b) 3DP технологиялық цикл.

### 1.1 3DP технологиясы

АМ әдістерінің ішінде 3DP технологиясы салыстырмалы түрде жана әдіс болып табылады, ол әр түрлі материалдарды қолдана отырып, геометрияның әр түрлі бөлігін алудың жеңілдігін ұсынады және компьютерлік жобалаудың (CAD) мәліметтерін тікелей қолдану арқылы күрделі бөліктердің салыстырмалы түрде тез өндірілуін қамтамасыз етеді. 3DP процесі 1994 жылы АҚШ-тың 005340656 патентімен патенттелген (Sachs et al., 1994). Үш өлшемді басып шығару (3DP) - бұл технологияны Массачусетс технологиялық институтының (MIT) екі студенті Тим Андерсон мен Джим Бредт 1993 жылы жасаған. 1995 жылы Тим Андерсон мен Джим Бредт нарыққа осы технологияны жетілдіріп, оны жетілдірген Z Corporation компаниясын құрды. Ол Массачусетс Технологиялар Институтында (MIT) 1993 жылы сия-реактивті технология негізінде жасалған (Чуа, 1994) және Soligen Corporation, Extrude None, Берлингтонның Z Corporation лицензиясына ие (Димитров соавт., 2008). Ол типтік «тұжырымдамалық модельер» және ең жылдам RP процесін көрсететін төменгі деңгейлі жүйе ретінде жіктеледі (Димитров соавт., 2006). Тағы бір компания - ExOne (АҚШ) бірдей технологияны қолданатын 3D принтерлер шығарады. Бұл компания 2005 жылы Extrude None

корпорациясының еншілес ұйымы ретінде құрылған. Андерсон мен Бедт алған патенттерді қолдана отырып, олар басып шығару үшін әртүрлі материалдарды: пластмассадан, құм қоспаларынан және металдардан тұратын принтерлер өндірісін бастады.

3DP технологиясы ұқсас технологиялардың көпшілігімен ерекшеленеді, бұл процесс қарапайым принтер қағидасы бойынша - басып шығару механизмдерінің саңылаулары арқылы жүзеге асырылады. Үш өлшемді сиямен басып шығару әдеттегі 2D басып шығару технологиясын дамытудың табиғи жалғасы болып табылады. Бүгінгі күні ол жақсы нәтижелерге қол жеткізді, мысалы, түсті басып шығару.

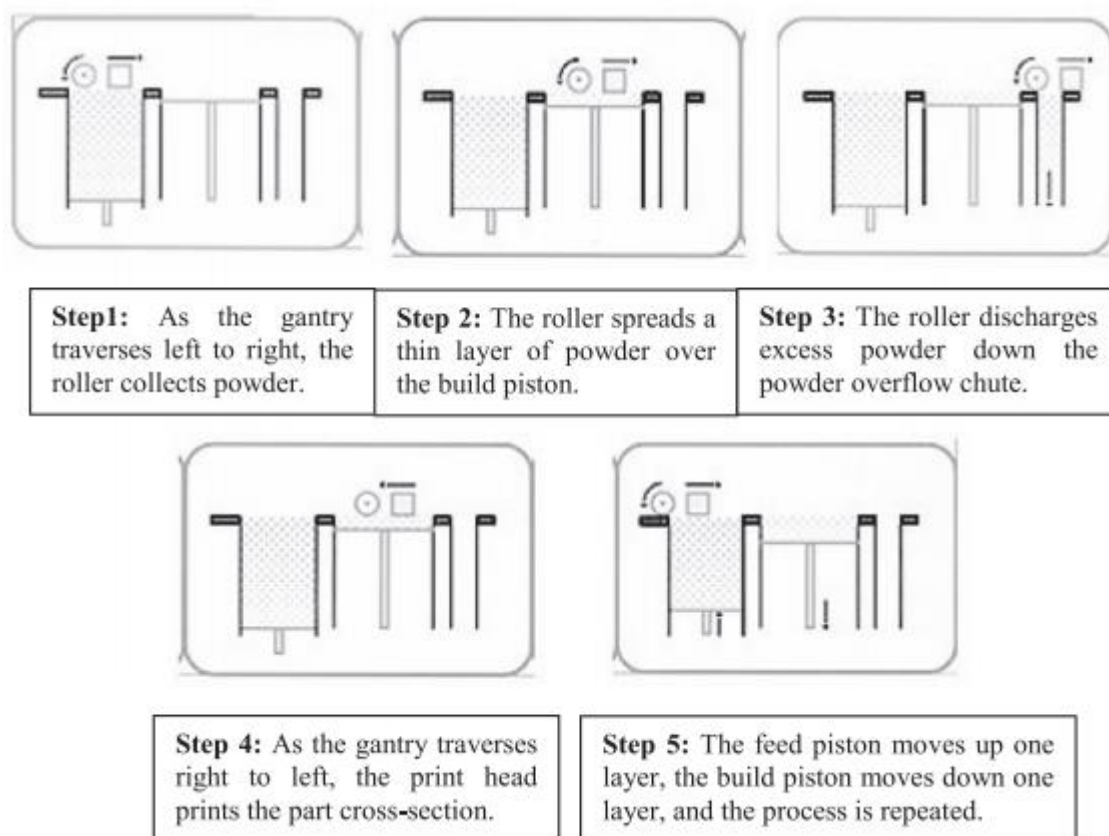
Басқа қоспа жасау технологиялары сияқты, үш өлшемді сиялы басып шығару цифрлық үш өлшемді модель негізінде физикалық нысандардың қабатты құрылысын қамтиды. Бірізді жұқа қабаттарға қолданылатын ұнтақтардың барлық түрлері шығын материалдары ретінде қолданылады. Модельдің контурын байланыстырушы материалды қолдана отырып, басып шығару механизмі салады. Осылайша, әр жаңа қабаттың бөлшектері бір-бірімен және алдыңғы қабаттармен бірге дайын үш өлшемді модель қалыптасқанға дейін желімделеді.

Бұл 3DP процесі сиялы реактивті басып шығару технологиясының төсеншеге тамшылату режиміне негізделген, оның көмегімен басып шығару механизмі ұнтақты материалға (құрылыс материалына) байланыстырушы тамшыларды түсіру үшін қолданылады.

2012 жылы S Corporation корпорациясын 3D Systems сатып алды; олар ZCorp 3DP технологиясын ColorJet Printing (CJP) ретінде жасады. 2(a)-суретте көрсетілгендей, бөлшектер ұнтақ материалдарымен толтырылған платформада салынған. Ұнтақты материал бір қабатқа біркелкі таратылады және іріктелген түрде қатайтылады және сия ағынды басып шығару үшін қолданылатын механизмге ұқсас байланыстырғыш тамшыларды қосып біріктіріледі. Содан кейін екінші платформа ұнтақтың келесі қабатын жағуға болатындай бөлшекті түсіреді. Әрбір қабат үшін ұнтақ бункер және роликті жүйелер ұнтақтың жұқа қабатын жұмыс платформасының жоғарғы бөлігіне бөледі. Үздіксіз ағынды басу үшін бейімделген шүмектер жұмыс аймағын растрлік сканерлеу кезінде байланыстырушы затты, бөлшектің көлденең қимасын бұйымның көлеміне қарай іріктеп нығыздайды. Қатты қатпайтын борпылдақ ұнтақ қалады және келесі қабаттар үшін бұйымның тіректер рөлін атқарады. Бұйымды аяқтау үшін процесс қайталанады. Аяқтағаннан кейін қолданылмаған ұнтақты бөлек сорып алады, бұл ұнтақты қайта қолдануға болады. Аяқталған бөлшектерге беріктік пен бетті жақсарту үшін балауызбен, СА желімімен немесе басқа герметикпен

инфильтрациялауға болады. 2 (b) суретте 3DP технологиясында толық технологиялық цикл көрсетілген. 3DP технологиясында кез-келген ұнтақ материалынан, оның ішінде полимер негізіндегі, металдан және керамикадан жасалған бөлшектерді шығарудың артықшылығы бар (Вахаб және басқалар, 2009).

3DP пайдалану шығындары, сондай-ақ, RP басқа әдістеріне қарағанда, әсіресе SLS, SLA және FDM (Grimm, 2004) процестерімен салыстырғанда айтарлықтай аз.



3-сурет - Басып шығару процесінің принципті схемасы (3D принтерді Пайдаланушы нұсқаулығы, Z Corp, 2002)

## 1.2 3DP технологиясындағы принтірлер

Бұл дипломдық жұмыста 3DP принтерлерінің қалай жұмыс істейтінін түсіндіру үшін Z510 spectrum 3D принтері қарастырдық. Бағдарламалық жасақтама алдымен 3D дизайнын (3D CAD көмегімен жасалған) қалыңдығы 0,0875-ден 0,1 мм-ге дейінгі қималарға немесе кесектерге түрлендіреді. Осы көлденең қималарды бірінен соң бірін, бөліктің түбінен жоғарыға дейін басып шығаратын принтер болып табылады. Принтердің ішінде екі платформа бар (3-суретте көрсетілген). Беру платформасының диаграммасы көрсетілген. Сол

жақтан бастап платформа ұнтақпен толтырылған, және бұйымды басып шығаратын платформа оң жақтағы платформа болып табылады. Сондай-ақ, диаграммаларда ролик (шеңбер түрінде салынған) және баспа торабы (шаршы түрінде салынған) көрсетілген. Принтерде ролик пен баспа торабы бірге құрастырылады, ол барлық құрастыру аймағы бойынша көлденең қозғалады. 3DP процесін бастау үшін принтер алдымен көлденең қимасымен бірдей қалыңдығы бар ұнтақты қабатын жайады. Содан кейін басып шығару механизмдері ұнтаққа байланыстырғыш ерітіндіні қолданып, ұнтақ бөлшектері бір-біріне және төмендегі бір көлденең қимаға жабысады.

Ұнтақ беретін платформа бір қабатқа көтеріледі, ал бұйым басылып жатқан платформа бір қабатқа түсіріледі. Содан кейін принтер ұнтақтың жаңа қабатын, басылып жатқан платформаға төсейді, және процес осылай қайталанатын. Қысқа уақыт ішінде барлық бөлшекті басып шығарады. Принтер бөлшектерді жылдам құру үшін бірнеше әдістерді қолданады. Біріншіден, байланыстырушының ерітіндісі бөлшектің сыртқы бетінің айналасында берік "қабықшаны" жасай отырып, бөлшектің шеттері бойынша неғұрлым жоғары концентрацияда жағылады. Бөлшектер ішінде принтер байланыстырушы ерітінділердің концентрациясы жоғары бөліктің қабырғаларында қатты тіректерді басып шығару арқылы құрады. Қалған ішкі бөліктер қанықтылықтың төменгі деңгейімен басып шығарылады, бұл олардың тұрақтылығын қамтамасыз етеді, бірақ бөліктің бұрмалануына әкелуі мүмкін артық қанықтылықтың алдын алады. Басып шығарғаннан кейін бұйымды ұнтақ қабатынан алады, және кептіреді. Содан кейін бөлік беріктік пен төзімділікті арттыру үшін балауызбен, эпоксидпен немесе басқа материалдармен инфильтрациялануы мүмкін. Ұнтақты қабаттар басып шығарылатын құрылымды қолдайтындықтан, принтер бөлшектерді тірек конструкцияларсыз жасайды және басқа жүйелер үшін мүмкін емес күрделі геометриямен бөлшектерді басып шығарады.

## 2 Медицина, сәулет және металл құю саласындағы 3DP қолдану

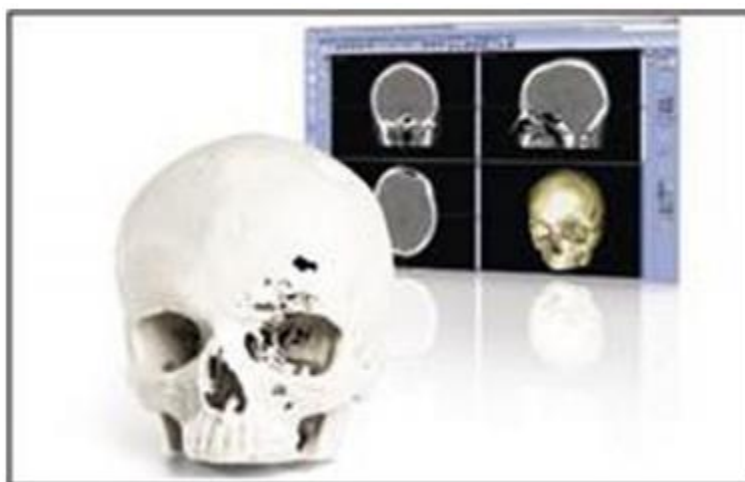
### 2.1 Медицинада 3DP қолдану.

3DP технологиясы дәрігерлерге компьютерлік томография (КТ) немесе камера кескіндерін қолдана отырып, көп түсті физикалық бұйымдар шығару арқылы нәзік және күрделі хирургияға дамуына көмектеседі. Соның әсерінен хирургтар операция алдында барлық проблеманың аспектілерін зерттеуге мүмкіндік береді. 2014 жылы медициналық білім беру сапасын арттыру және хирургиялық операцияларды тиімді жоспарлауды жеңілдету үшін педагогикалық тиімділікті бағалау және оңтайландырылған түрін, пациентке тән және түсті кодтар болып табылатын жүректің физикалық ақауларының (PHDMs) үлгілерін әзірледі (сурет. 4).

Феникс балалар ауруханасы жанындағы балалар кардиологиялық орталығында зерттеушілер іс жүзіндегі операция алдында кішкентай анатомиялық құрылымдарды жақсы түсінуге көмектесетін компьютерлік томография деректерінің негізінде zprinter 650 принтерін пайдалана отырып жүректің түрлі-түсті моделін басып шығарады. Финляндиядағы Planmeca Оу компаниясы жақ және тістердің түрлі-түсті баспа үлгілерін ұсынады (сурет. 5) хирургтерге өз операцияларын жоспарлауға көмектеседі, Zprinter 450 пайдаланды.



4-сурет - Z Printer 650 принтердің көмегімен басып шығарылған жүректің әртүрлі модельдері



5-сурет - Z Printer 450принтерімен басылған бас сүйегінің 3D моделі

3DP сығымдалған ұнтаққа қосылу үшін сұйықтық байланыстырғыш арқылы 3D құрылымын жасайды. Биоматериалдардың көпшілігі қатты немесе сұйық күйде болғандықтан, биоматериалдардың кең спектрі тікелей 3DP-де қолданылған.

Кез келген қаңқаны басып шығару үшін сұйық еріткіш байланыстырғышты порогендер мен полимер бөлшектерінің ұнтақты қабатына басып шығаруға болады (Ли және басқалар, 2005). Chia және Wu 2015 жылы күрделі биомедициналық құрылғыларды жасау үшін қол жетімді 3DP технологиясының биоматериалдар мен әдістерін сипаттады.

## 2.2 Архитектурада 3DP технологиясын қолдану

3DP технологиясы қазіргі уақытта сәулетшілердің қолөнер туындыларын дәстүрлі тәсілмен салыстырғанда, аз уақытта қолданушыларға өз шығармашылықтарын жеткізудің және белгілі бір жобаның әр түрлі дизайнын ұсынудың маңызды құралы болып табылады. Түрлі-түсті басып шығару сәулетшілердің дизайнының барлық бөлшектерін неғұрлым тиімді ұсыну қабілетін арттырды. Sweet Onion Creations компаниясы 3DP технологиясының принтерлерін қолдана отырып, 3D-сәулет үлгілерінің көп түрін ұсынады (6-сурет).





6-сурет- Zprinter 310 көмегімен басылған сәулеттік үлгі



7-сурет - Project 660 принтерінде басылған сәулеттік үлгі

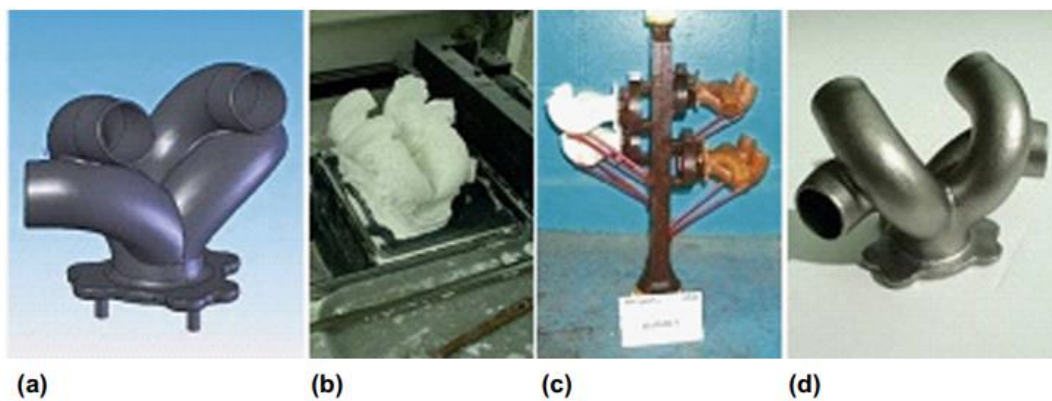
Ақ бұлттар, 3DP қызмет көрсету бюросы, нақты сәулет үлгілерін шығару үшін ColorJet Printing (Project 660) жаңа технологиясын қолданады (7-сурет).

### **3.3 Металл құюдағы 3DP технологиясын қолдану: RC.**

Металл құю процесінде АМ-ны металл құю бөлшектерін шығару үшін қолдану RC ретінде қарастырылады. Кез келген құю процесінің ең маңызды бөлігі металл құйылатын пресс-қалыптарды жасау үшін үлгілерді әзірлеу және жасау болып табылады. Сонымен қатар, құюдың кейбір процестері үшін (құмды құю сияқты) негізгі қораптар мен қақпақтарды жобалау және дайындау, бұл құюдың жалпы сапасы тәуелді болады, әсіресе күрделі дизайн құю жағдайында көп уақытты талап етеді. Құю қалыптарын жасауда АМ технологияларын қолдану құю өндірісіне аз мөлшерде құралдарды қолданбай, металл бөлігін жасауға мүмкіндік береді (Росовски және Матусзак, 2000). Балқытылатын үлгілер мен құм бойынша құю технологиясында 3DP әдістерін қолдану келесі бөлімдерде көрсетілген.

Негізіндегі Zp14 материалы ZCorp компаниясы балауызбен инфильтрациядан кейін қалыптарды қолданбай инвестициялау үшін үлгіні

кеңінен қолданатын бөлшектерді шығару үшін енгізілді. (Chhabra and Singh, 2011). Бұл Zr14 материалды ІС үшін үлгіні жасау үшін қолданылады және ZCorp 3DP технологиясындағы принтерде басылады. 8-суретте Мичиган университетінде осы RC ерітіндісін қолдана отырып, 316L-ді шығару машинасының шығыс көп коллекторын өндіру кезеңдері көрсетілген. Бассоли және т.б. (2007) жұқа қабырғалы бөлшектерді шығарудың орындылығын дәлелдеді және осы RC ерітіндісін қолдану арқылы алынған үлгіні және бөліктердің өлшемдік дәлдігін бағалады. Soligen Technology Inc. (Northridge, CA) - MIT (Кембридж, МА) компаниясында әзірленген AMD технологиясына арналған 3DP лицензия иелерінің бірі және 1993 жылы тікелей қабық өндірісінің құю жүйесін (DSPC) шығарды (Chhabra and Singh, 2011). АМ техникасы үшін 3DP қолдана отырып, бұл жүйе металлдардың ІС үшін интегралды өзектері бар керамикалық қалыптарды (теріс) тікелей дайындайды. Бұл металл бөлшектерін құюға арналған балауыз үлгілері мен құралдарды қажет етуді жояды (Воглерс, 1992). DSPC процесі байланыстырушы әдісті қолданады және кейінгі өңдеуді қажет етеді (Carrion, 1997). Бұл процессте глиноземді (отқа төзімді) ұнтақтар коллоидты кремний байланыстырғышымен бірнеше реактивті басып шығару механизмімен бүрку арқылы өткізіледі. Ұнтақталған ұнтақ алынып, алынған қабық кез-келген құйылатын қорытпадан балқытылған металлды құймас бұрын қатаң керамикалық қалып жасау үшін жағылады. DSPC кез-келген түрдегі кез-келген бөліктерді шығаруға болады. Мыс, қола, алюминий, кобальт хром, баспайтын болат және металл болаттан тұратын әр түрлі металлдар осы процессте өндірілген керамикалық қабықтарға сәтті құйылды. Металл бөлшектерін әдетте 2-3 күнде шығаруға болады (МакМайнс, 1995). Сакс және т.б. (1992) никельдің супер легіріленген құймаларын өндіру үшін DSPC-мен жасалған керамикалық қабықтарды қолданғаны туралы хабарлады. DSPC прототиптер мен аз мөлшерде толық функционалды құймаларды жасау үшін қолданылады. 9 суретте DSPC процесін қолдану арқылы өндірілген автомобиль компонентінің металл құюы көрсетілген. 10 суретте 3DP жасаған керамикалық қалыптың көмегімен жасалған ортопедиялық тізе құю көрсетілген.



8-сурет- Zr14 IC үлгілерін қолдана отырып, 316L жарыс машинасының шығыс коллекторының инвестициялық құюы: (a) автоматтандырылған дизайн моделі; (b) үлгі; (c) қабықтың қалыптары; және (d) автоматтандырылған дизайн қорытындысы



9-сурет - Енгізу коллекторын құю қабықшаларды өндіру бойынша тікелей құюды пайдалану арқылы жүргізіледі



## 10-сурет-Үш өлшемді басып шығарумен жасалған керамикалық қалыптың көмегімен медициналық кобальт қоспасынан жасалған тізедегі ортопедия

ExOne (бұрынғы Extrude Hone Corporation) екі процесті орындау үшін 2005 жылы жасалған 3DP технологиясына негізделген үш коммерциялық 3DP принтерлерін, R10, SR-2 және жылдам құю технологиясын (RCT) S15 ұсынды: ProMetal Direct, Metal Printing және ProMetal.

3DP технологиясын қолдана отырып, RCT S15 және RCT S-Max физикалық өрнектер мен өзек қораптарын пайдаланбай, тікелей CAD моделінен күрделі ұнтақты құю қалыптары мен өзектерін шығарады. RCT геометриялық тұрғыдан күрделі фигураларды шығаруға тырысады, оларды әдеттегідей жасау мүмкін емес. Сығымдайтын араластырылған ұнтақ қабаты (фуран шайырымен байланысқан) машина құрастыру платформасына біркелкі таралады, содан кейін CAD деректерімен анықталған көрсетілген жерлерде басып шығару механизмдерін қолданып байланыстырғыш зат қолданылады. Ұнтақтың құрамындағы беріктендіргіш байланыстырғышты қатайтады және заттарды жоғарыдан төменге қарай бір уақытта бір қабат жасайды. Осы процесте дайындалған ұнтақ қалыптары мен өзектер екінші реттік жұмысты қолданбай дереу құйылады. Бұл шешімнің басты артықшылығы - күрделі және қалыпсыз құйма өндіруге икемділік береді. Өндірістік шығындар мен нарыққа кететін уақытты азайта отырып, бірнеше және ерекше қалыптарды шығаруға болады. Белгілі бір қолданбаларда оны қораптарды жою немесе ерекше күрделі өзектерді шығару үшін пайдалануға болады. RCT S15 - бұл құйылған қалыптар мен өзектерді тікелей CAD файлдарынан шығару үшін барлық қажетті заттарды шығаратын зауыттық шешім. Бұл жүйеге технологиялық станция, түсіру станциясы және ұнтақты дайындау кезінде дайындап, дайындайтын араластыру блогы кіреді. S15 жүйесі максималды мөлшері 1500x750x700 мм құйма ұсынады және құюға арналған материалдарды қолданатын жалғыз жүйе болып табылады (Воглерс, 2003). ProMetal RCT S-Max принтері 1800x1000x700 мм үлкен өлшемдері бар күрделі өзектерді шығару үшін қолданады.

### 2.4 ZCast процесіне негізделген зерттеу

2003 жылы Бак жоғары жылдамдықпен және аз көлемдегі өндірісте арзан шығындармен алюминий және түсті металл құймаларын шығару үшін 3DP технологиясының негізіндегі ZCast тікелей металл құю ерітіндісін қолданғаны туралы хабарлады. Басылған қалыптардың толеранттылықты тексеруі және

беттік көлемдері сәйкесінше 70,38 мм және 200–300 мм болды. ZCast процесінде тікелей басу үшін кем дегенде 3мм қалыптың қабырғасының қалыңдығы қажет деп табылды.

ZCast-тің үш әдісі қысқаша баяндалды. Әр түрлі RC ерітінділерінің эксперименттік зерттеулерінен алынған нәтижелер (ZCast және барлық үш әдісі) соңғы материалдар прототиптерін ұнтақ құю үшін қолданылатын баспа жабдықтарының конструкциясы мен өндірісін жетілдіруге арналған 3DP технологиясына негізделген. ZCast501 және дәстүрлі формалар үшін баспа ұнтақтары өзекшелері бар тікелей 3D-баспа қабық формаларын тағы бір бағалау Димитров және т.б. (2007) орындалды.

ZCast өзекшелерін және ZCast501 тікелей басылған 10 керамикалық қабықшаларды пайдалана отырып дәстүрлі құю әдістерінің қоспасынан жасалған. Екі әдіспен алынған құймалар бетінің кедір-бұдырлығы өлшеніп, нәтижелері (Ra) беттің кедір-бұдырлығының мәні дәстүрлі дайындалған құймалар үшін 13,6 мм және ZCast керамикалық қабықшаларында жасалған Құймалар үшін 14,9 мм құрағанын көрсетті. ZCast өндіретін құйма бетінің жоғары кедір-бұдырлығының негізгі себебі 3D принтер арқылы басып шығару кезінде, сақтау фарматтарында жасалатын қадамдар болып табылады. Алайда, беттің кедір-бұдырлығына рұқсат құмнан құйылған бөлшектер үшін қолайлы деп танылды.

3DP технологиясына негізделген екі RC-шешімдердің өлшемдік дәлдігін бағалау және жүзеге асырылуын тексеру үшін эксперименттер қолданылды. Бірінші шешім 3D-баспа өрнектерінен бастап, ал екінші шешім жеңіл қорытпалардан құймаларға арналған қуыстарды өндіру үшін ZCast процесі болды. Екінші шешім үшін SOLIDCast бағдарламалық қамтамасыз ету арқылы таңдалған бұйым үшін өндірістік талдау жүргізілді. CAD-корпус моделінен бастап, жиынтықтар мен тіреуіштер, және қабырғасының қалыңдығы 12-ден 25 мм-ге дейін үлгіленді, бұл ZCast материалын өндірістің уақыты мен құнын шектеу үшін азайтқан. Зерттеушілер ZCast әдісі қазіргі уақытта Жеңіл қорытпалар облысымен шектелетін қанағаттанарлық нәтижелер береді деп хабарлады. Геометриялық еркіндік ZCast процесінде ұлғайып, беттің кедір-бұдырлығы жалғыз шектеу ретінде белгіленді.

Бассоли мен Атцени өзінің соңғы зерттеуінде (bassoli and Atzeni, 2009) термиялық өңдеу параметрлерін өзгерту арқылы ZCast процесінде Алынған бөлшектердің механикалық сипаттамаларын оңтайландырды (температура мен уақытты өзгерту жолымен термиялық өңдеу) және ZCast бөлшектерін термиялық өңдеу кезінде қысу кезінде беріктікке шамалы әсер ететінін дәлелдеген. Цилиндрлік үлгілер әр түрлі уақыт пен температурамен басылып,

қатырылды. Содан кейін күйдірілген бөлшектер қысуға сыналды, ал жарылу беттері Сэм көмегімен бағаланды. Уақыт пен температура тиісінше 160-тан 250°C-қа дейін және 4-тен 8 сағатқа дейін өзгерді. Өлшем бойынша рұқсатнамаларды одан әрі бағалау үшін эталондық үлгі жасалды. Халықаралық рұқсат класы (IT) жасыл және күйдірілген бөлшектер үшін кеңістіктегі барлық үш бағытта бөлек есептелген. Төзімділік барлық бағыттарда бірдей және термиялық өңдеуге байланысты емес екендігі дәлелденді. Бұл құю өндірісінің өтінімдеріне сәйкес келді.

Каплас пен Сингх (2008) RC ерітіндісімен өндірілген мырыш қорытпасы құймаларының өлшемдік дәлдігі мен механикалық қасиеттерін бағалау үшін ZCast процесін қолдана отырып, қалыптың қабырға қалыңдығын 12-ден 2 мм-ге дейін төмендетудің орындылығын зерттеу үшін тәжірибелік зерттеу жүргізді. Құюдың жарамдылығын тексеру үшін өлшемдік төзімділік пен механикалық қасиеттер салыстырылды және одан кейінгі нәтижелер рентгенологиялық талдаумен қамтамасыз етілді.

Маккенна (2010) ZCast 501 материалының қысылу беріктігі мен өткізгіштігін зерттеді және үлгілері 8 см<sup>2</sup>/с оңтайлы өткізгіштікті және 1 МПа қысылу беріктігін қамтамасыз ететінін хабарлады. Өткізгіштігі төмен болды; бұл ZCast 501 материалының (100 мм) мөлшері бойынша дәндердің үлкен таралуымен түсіндіріледі. Қысу беріктігі қолайлы деп танылды. Сингамнени және т.б. (2009) сондай-ақ сызықтық регрессияны қолдану арқылы ZCast процесін пайдалана отырып, 3D-баспа формаларын қысуға өткізгіштігі мен беріктігінің математикалық моделін әзірледі. Бұл қатынастар қатаю уақыты мен температура, zcast пресс-формаларының сығылуына өткізгіштігі мен беріктігіне әсер ететін түрлі факторлардың әсерін анықтау үшін эксперименттерді статистикалық жобалау әдістерін пайдалана отырып (DOE), эксперименттік зерттеулер жүргізу жолымен анықталған.

Сингх және Верма (2009) алюминий құймаларының өлшемдерінің дәлдігін бағалау үшін ZCast процесінің көмегімен қабырғаларының қалыңдығын 12-ден 2 мм-ге дейін азайту мүмкіндігін тексерді. Бұдан басқа, құймалардың сыныптарына сәйкес рұқсат беру сыныптарымен келісілуі, сондай-ақ алюминий құймаларының механикалық қасиеттері тексерілді. Сингх және Сингх (2009а) жезден және қорғасын қорытпалардан құймалар үшін ZCast RC шешімінің көмегімен қабық пішінді қабырға қалыңдығын азайту мүмкіндігін зерттеді. Зерттеу барысында қабырғаның ең аз қалыңдығы құю температурасына және массаның тығыздығына байланысты құюды алу туралы болжам айтылды. Алынған нәтижелер салмағы 10 г аз шағын құймалар үшін қабықтың қалыңдығы қорғасын қорытпасы үшін 12-ден 0,5 мм-ге дейін және

жез қорытпасынан құймалар үшін 12-ден 2 мм-ге дейін азайтылуы мүмкін екендігін куәландырады.

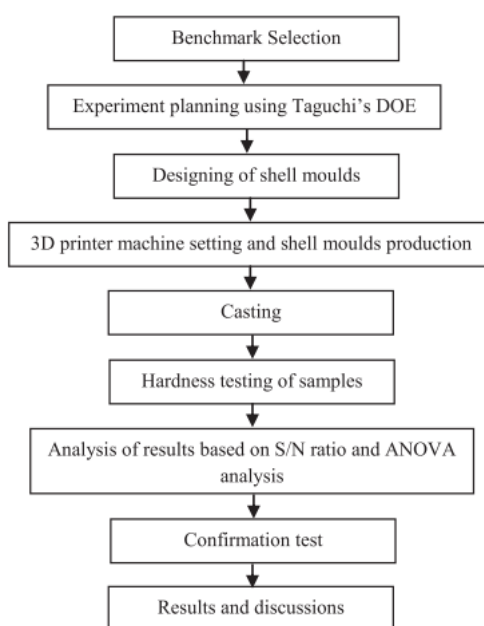
Сингх және Сингх (2009b, c) төмен жез (2 мм) және қорғасын (0,5 мм) жағдайында қабық қабырғасының ең жақсы қалыңдығы үшін статистикалық бақылауды пайдалана отырып, осы процесті зерттеді.

### 3 Тақырыптық Зерттеу.

#### 3.1 ZCast металды тікелей құю процесін пайдалану арқылы алынған RCS қаттылығын зерттеу

Әдебиетте балку температурасы төмен түрлі түсті материалдардан құймаларды алу үшін ZCast процесін қолдануға қатысты елеулі зерттеулер ұсынылған.

Zcast әдісімен алынған құймалардың механикалық қасиеттерін тәжірибелік тексеру әдебиетте жоқ. Қаттылық кез келген құйма компоненттің маңызды механикалық қасиеттерінің бірі болып табылады және осы зерттеуде алюминий, сары жез және мыс сияқты әртүрлі материалдар үшін ZCast әдісімен алынған құймалардың қаттылығы бағаланды. Зерттеудің мақсаты-ZCast баспа қабықшалары қабықшалары қабырғаларының қалыңдығының түрлі түсті материалдармен құю кезінде құймалардың қаттылығына (құюдың әр түрлі температурасымен және қысу коэффициентімен) өзгеруінің әсерін зерттеу. Сондай-ақ құймалардың қаттылығына құюдың түрлі көлемін (өлшемдерді) пайдаланудың әсері зерттелді. Алынған нәтижелер ZCast процесін пайдалана отырып, әр түрлі материалдардан жасалған құймалардың қаттылық мәндері бойынша деректер базасын әзірлеуге ықпал етуі мүмкін, бұл сондай-ақ осы зерттелетін тәсілдің құю өндірісіне қолданылуының артуына ықпал етеді. Зерттеу мақсатына келетін болсақ, эксперименттер Доу Тагути әдісі негізінде әзірленген. Эксперимент жүргізу үшін келесі қадамдар қолданылды (сурет. 11).



11-сурет-Зерттеуде қолданылатын 11 әдіснамалық қадамдар.



### **3.2 Эталондық таңдау**

Осы зерттеу үшін CHALMERS 800 сериялы келтеқұбырларды қосу қақпағы таңдалды. Үш түрлі көлемге арналған келтеқұбырлардың қосылыс қалпақшасының геометриялық сызбалары (осы зерттеу үшін таңдалған) 12 суретте көрсетілген. Келтеқұбырлардың қосылыстары геометриялық сызбалары өте күрделі болып есептеледі және аз көлемді өндірісте басу үшін ZCast процесін қолдану дәстүрлі ұнтақты құю процесіне қарағанда үнемді болады.

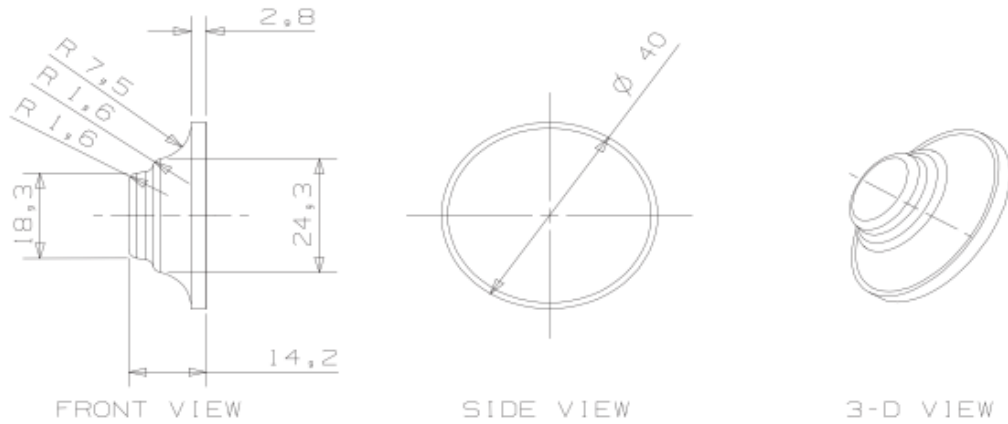
### **3.3 Параметрлерді Таңдау**

ZCorp ұсынған әдебиеттер мен техникалық мәліметтер негізінде, ZCast процесінде ұсынылған ZDP баспалардың параметрлер Taguchi DOE көмегімен барлық эксперименттерге бекітілген сигнал факторлары ретінде таңдалды (кесте 1). Осы зерттеудің мақсаттарына жету үшін алдын-ала эксперименттер жүргізу арқылы, бұйым көлемі, басу материалдарды, анықтап таңдалынды. Қаттылықты талдау үшін, белгіленген температурада басу үшін, үш түрлі және маңызды өнеркәсіптік түсті материалдар (мысалы, алюминий, сары жез, мыс) таңдалды.

### **3.4 Қалпақшаның қалыптарды жобалау**

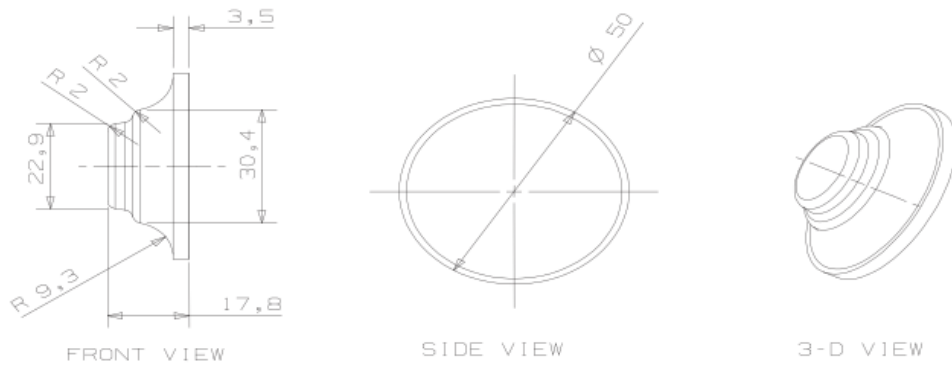
Бұл зерттеудің алғашқы қадамы CAD бағдарламалық қамтамасыз етуді қолдану арқылы қалпақшалардың қалыптарының геометриялық формасын жасау болды. Қалпақшалардың сызбалар негізінде (12-суретте көрсетілген), CAD модельдері суретте көрсетілгендей, UNIGRAPHICS (NX 5) CAD бағдарламалық жасақтамасының көмегімен жасалды. Үш көлемді құймаларды алу үшін қабырғаның қалыңдығы 12, 8 және 4 мм мәндерімен жасалды. Үш түрлі материалдардан (мысалы, Алюминий, жез және мыс) құйылған құймаларды шығару үшін, құймалардың шөгуін азайту үшін қабықтың қалыптарына коэффициенттері қолданылды. Үлгіні кішірейту ережесіне сәйкес алюминий, жез және мыс құймаларын өндіруге арналған әртүрлі қабықтарды жобалауға әртүрлі жиырылу коэффициенттері (Al үшін 13 мм/м, жез үшін 16 мм/м, Cu үшін 21 мм/м) енгізілді.

**(a)** Volume of Component = 7734.69 mm<sup>3</sup>  
 Component Diameter = 40 mm

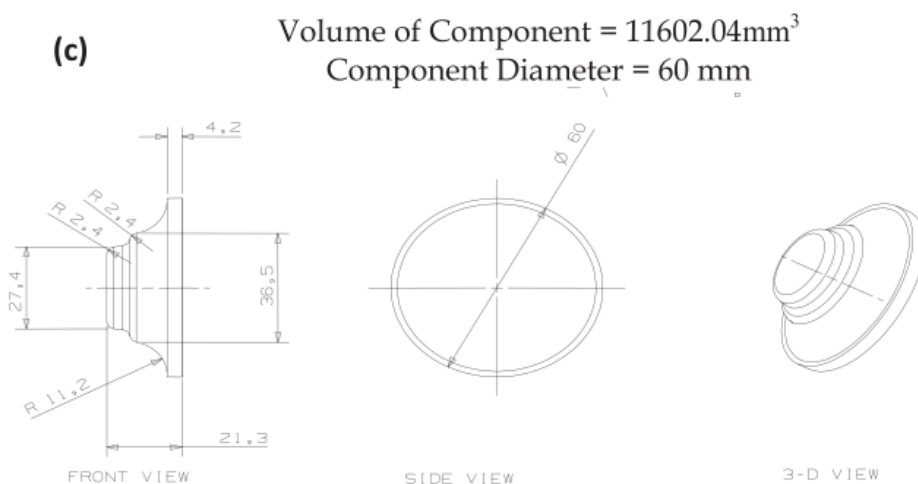


12-сурет- Әр түрлі көлемдегі таңдалған эталондардың суреттері:  
 (a) 7734,69 мм<sup>3</sup>;

**(b)** Volume of Component = 9668.37 mm<sup>3</sup>  
 Component Diameter = 50 mm



13-сурет- Әр түрлі көлемдегі таңдалған эталондардың суреттері:  
 (b) 9668,37 мм<sup>3</sup>;



14-сурет- Әр түрлі көлемдегі таңдалған эталондардың суреттері:  
(c) 11602.04 мм<sup>3</sup>.

Құю кезінде газдарды шығару үшін саңылаулар қабық қалыптарына қосылды. Қалпақша қалыптардың CAD файлдары StereoLithography (STL) файлдарына сақталды.

Кесте 2 Таңдалған материалдардың химиялық құрамы

Қорытпа	Химиялық құрамы (%)
Алюминий	Si 5.5%, Cu 1%, Fe 0.5%, Zn 0.3%, Ni 0.04%, Mn 0.06%, Mg 0.06%, and Al balance
Жез	Cu 58.25%, Zn 37.75%, Sn 0.5%, Ni.0.5%, Fe 0.3%, Al 1%
Мыс	Cu 99.15%, Ni 0.25%, Zno0.1%, Be 0.5%

### 3.5 Қабық пішіндерін басып шығару

Эксперименттер бірдей параметрлер жиынтығы үшін, үш рет жасалды,  $9 \times 3 = 27$ . 3D баспа машинасы (Zprinter, Model Қабырғалардың жоғарғы және төменгі бөліктерін басып шығару үшін ZCast501 ұнтағы мен Zb56 байланыстырғыш бар Z510 спектрі қолданылды (15-сурет). Бөлшектенген ұнтақты бөлек ұнтақтағыш камерада басып шығарылған бұйымнан шығару үшін тазарту жүргізілді. Осы процестен кейін жоғарғы және төменгі бұйымдарды электр пешінде (16-сурет) 4 сағат 180°C температурада қыздырды.



15-сурет- Бұйымдарды басып шығару үшін қолданылатын z510 принтері



16-сурет- Баспа формаларын дәнекерлеуден кейінгі термоөңдеу



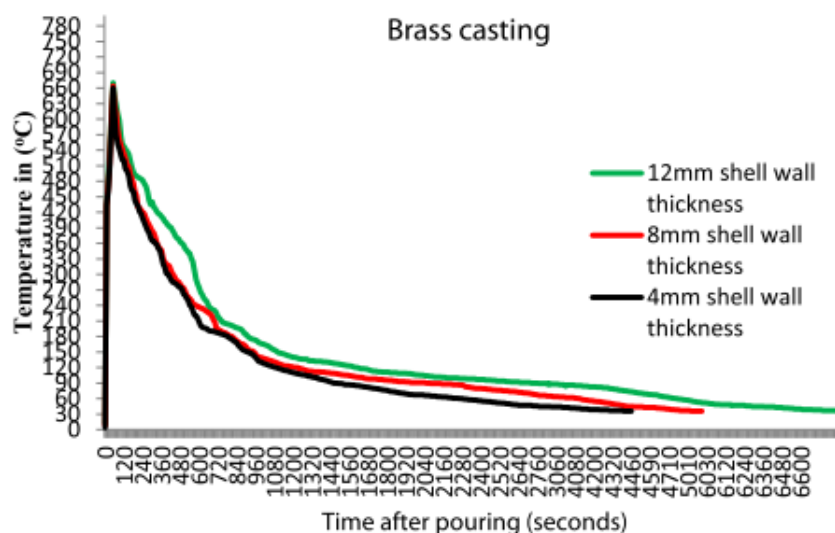
17-сурет- Баспадан кейінгі дайын 3D бұйымдар

Жеке деңгейді бағалау кезінде жез материалын құю S/N арақатынасының нәтижелері бойынша максималды қаттылыққа жеткендігі анықталды. Бұл латунь құрамында Ni, Fe, Sn және Al сияқты легірлеуші элементтердің әсерімен байланысты болуы мүмкін. Темір және никель-ең көп таралған қоспалар; олар жоғары қаттылықты беру үшін біріктіріледі. Al созылу кезінде қаттылық пен беріктіктің жоғарылауына үлкен әсер етеді. Осы зерттеуде Zn жоғары пайызы

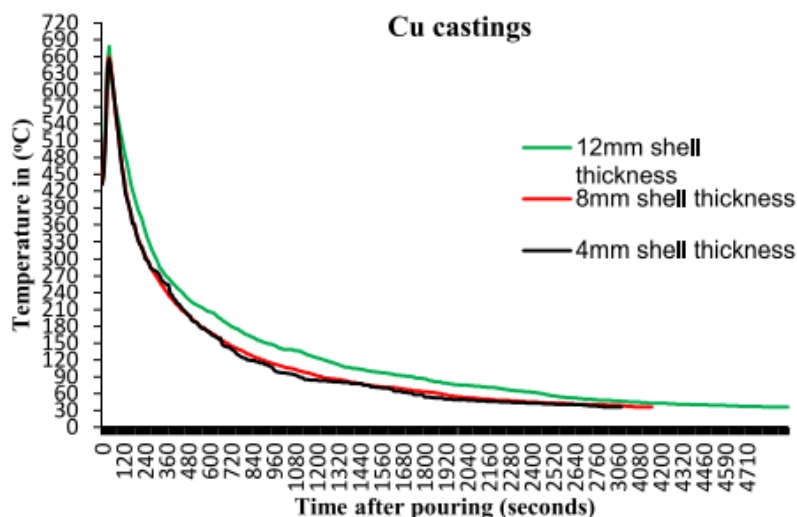
композицияда (37,75%) бар, бұл сондай-ақ жезді берік және қатты етеді. Мыспен басу үшін алынған ең аз қаттылық қатаю жылдамдығы, басу үшін қолданылатын басудың жоғары температурасынан азаяды; демек, температура градиентінің артуы орын алады, бұл өз кезегінде алынған құймалардың қаттылығын төмендетеді.

ANOVA талдауындағы екінші фактор (F қатынасына сәйкес) қабық пішінді қабырғасының қалыңдығы болды. Эксперименталды нәтижелер көрсеткендей, қаттылық қабық қабырғасының қалыңдығын азайту есебінен шамалы жоғарылаған. Осы зерттеуде пайдаланылатын барлық материалдар қабық формасы қабырғаларының қалыңдығын азайтумен ұқсас схемаға сәйкес келеді. Жалпы жағдайда қаттылық қатаю жылдамдығына байланысты; бұйымды тез салқындатқанда құрылымда ұсақ дәндер пайда болады, осылайша құймалардың қаттылығын арттырады. Дән мөлшері металл беріктігіне айтарлықтай әсер етеді (Haque and Khan, 2008). Қабық формасы қабырғасының қалыңдығының азаюы температуралық градиенттің азаю үрдісіне ие, бұл құймаларды салқындату жылдамдығына тікелей әсер етеді. Қабық қабырғасының қалыңдығы әртүрлі алынған құймаларды суыту қисықтары фигура келтірілген. Салқындату жылдамдығын арттыру материалдың қаттылығын арттырады (Dobrzanski et al., 2009). Осы зерттеуде қабықшаның қалыңдығы 4 мм, және 12мм. Салыстырғанда құймалардың салқындауының жылдамдығы байқалды. Демек, құймалардың қаттылығының ең жақсы мәндері қазіргі уақытта (12 мм) ұсынылғаннан аз қабықтың қалыңдығы кезінде алынады.

Құйма көлемі ең жоғары қаттылыққа жетудің болмашы факторы болып табылатыны анықталды; ол F (0,821) коэффициентінің ең аз мәні бар. Нәтижелер ZCast параметрлерінің оңтайлы жиынтығын пайдаланған кезде құю сапасы компонент өлшемінің өзгеруімен бұзылмайды. Алынған нәтижелер ZCast процесінің геометриялық еркіндігін негіздейді.



18-сурет. Әр түрлі қабық қалыңдығынан алынған жезден құйылатын салқындату қисықтары.



19-сурет. Әр түрлі қабық қалыңдығынан алынған Cu құюдың салқындату қисықтары.

ANOVA көмегімен алынған нәтижелердің негізінде, қаттылықтың ең үлкен мәнін алу үшін ең маңызды фактор құю материалы болып табылады, ал келесі маңызды фактор қабық пішінді қабырғасының қалыңдығы болып табылады ( $F_{0.05}$ ; 95% сенімді деңгей). Материалдың пайыздық үлесі және қабық пресс-формалар қабырғаларының қалыңдығының мәні тиісінше 98,19 және 1,56% құрады. Үш материалдың ішінде жезден жасалған құйма барынша қаттылықты береді, одан кейін алюминий мен мыс жүреді. Эксперименттердің нәтижелері болжанған (160,3 НВ) және алынған (159,6 НВ) қаттылық мәндерінің бір-біріне жақын екенін көрсетеді, бұл тәжірибелік нәтижелерді растайды.

Эксперименталды нәтижелер құймалардың қаттылығы барлық үш материал үшін қабық пішінді қабырға қалыңдығының азаюымен ұлғаюын көрсетеді. Қабық қабырғасының қалыңдығының азаюы құймалардың тез суытылуына әкеледі, бұл құймалардың қаттылығына тікелей әсер етеді. Алынған нәтижелерді растау үшін қатаю уақытын және алынған құймалардың температурасын жинау жолымен суыту қисықтары салынды.

## ҚОРЫТЫНДЫ

3DP жүйелерінің қосымша қосалқы материалдарды пайдаланбай түрлі-түсті компоненттерді өндіру қабілеті, одан кейін өңдеу операцияларының аз саны бар және ең бастысы, басқа АМ коммерциялық жүйелерімен салыстырғанда салыстырмалы түрде төмен шығындар мен жоғары жылдамдық кезінде 3DP технологиясы дизайнды талдау және визуализация мақсатында жаңа өнімдер әзірлеушілер мен сәулетшілер үшін бірінші таңдау жасайды.

Қазіргі уақытта 3DP жүйесі прототиптерді жасау, металл құю және қысыммен құю үшін, сондай-ақ тікелей бұйымдарды өндіру үшін, әсіресе ойыншықтар өндірісінде кеңінен қолданылады.

Диплом жазу барысында барлық қойылған мақсаттарға толық қол жеткізілді. ZCast процесін зерттедік. ZCast металды тікелей құю процесін пайдалану арқылы алынған RCS қаттылығын зерттедік. Эталондық таңдау жасалынды. Параметрлерді таңдап және қалпақшаның қалыптарды жобаланды.



## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 References ASTM F2792-10, 2010. Standard terminology for additive manufacturing technologies. Published in July 2010. Available at: <http://compass.astm.org/Standards/HISTORICAL/>
- 2 Direct metal rapid casting: Mechanical optimization and tolerance calculation. *Rapid Prototyping Journal* 15 (4), 238–243.
- 3 Bernard, A., Deplace, J., Perry, N., Gabriel, S., 2003. Integration of CAD and rapid manufacturing for sand casting optimization. *Rapid Prototyping Journal* 9, 327–333.
- 4 Carrion, A., 1997. *Rapid Prototyping Journal* 3 (3), 99–115. Cheah, C.M., Chua, C.K., Lee, C.W., Feng, C., Totong, K., 2005. Rapid prototyping and tooling techniques: A review of applications for rapid investment casting. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 25, 308–320.
- 5 Chhabra, M., Singh, R., 2011. Rapid casting solutions: A review. *Rapid Prototyping Journal* 17 (5), 328–350. Chia, H.N., Wu, B.M., 2015. Recent advances in 3D printing of biomaterials. *Journal of Biological Engineering* 9 (4), doi:10.1186/s13036-015-0001-4
- 6 . *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 29, 79–88. Chua, C.K., 1994. Three-dimensional rapid prototyping technologies and key development areas.
7. Rapid investment casting: Direct and indirect approaches via model maker II. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 25, 26–32. Chua, C.K., Hong, K.H., Ho, S.L., 1999.