

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты

Өндірістік инженерия  
кафедрасы

Спендиярова Ақнұр Ерланқызы

«Ыстық көлемді штамптау және парақтарды қалыптастыру процестерін  
модельдеу үшін 3D басып шығару арқылы жасалған пластмассадан жасалған  
бұйымдарды қолдану»

**ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС**

5B071200 – Машина жасау

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты

Өндірістік инженерия

кафедрасы

**ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ**

Кафедра меңгерушісі

PhD д-ф, қауым. профессоры

\_\_\_\_\_ Арымбеков Б.С.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 ж.

Дипломдық жобаға

**ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА**

Тақырыбы: «Ыстық көлемді штамптау және парақтарды қалыптастыру процестерін модельдеу үшін 3D басып шығару арқылы жасалған пластмассадан жасалған бұйымдарды қолдану»

5B071200 – Машинажасау

Орындаған

Спендиярова А. Е.

Ғылыми жетекші,

\_\_\_\_\_ Базарбай Б.Б.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 ж.

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты

«Өндірістік инженерия»  
кафедрасы

5B071200 – Машинажасау

**БЕКІТЕМІН**

Кафедра меңгерушісі

PhD д-ф, қауым. профессоры

\_\_\_\_\_ Арымбеков Б.С.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 ж.

**Дипломдық жоба орындауға  
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Спендиярова Ақнұр Ерланқызы

Тақырыбы *«Бістық көлемді штамптау және парақтарды қалыптастыру процесстерін модельдеу үшін 3D басып шығару арқылы жасалған пластмассадан жасалған бұйымдарды қолдану»*

Университет ректорының « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 ж. № \_\_\_\_ -б бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 ж.

Дипломдық жобаның бастапқы берістері бұйым жасау кезінде Z Corp Binder Jetting аддитивті технологиясын қолдануды зерттеу, және салыстыру

Дипломдық жобада қарастырылатын мәселелер тізімі

а) аддитивті технологияға шолу

б) 3D принтерлер туралы талдау және Z Corp Binder технологиясындағы принтермен салыстыру

в) Z Corp Binder технологиясындағы принтерлерге зерттеу

Ұсынылған негізгі әдебиет: 9 атау

Дипломдық жобаны дайындау

**КЕСТЕСІ**

| Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәліметтер тізімі         | Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері | Ескерту |
|--|--|---------|
| Кіріспе. Аддитивті технологияға шолу                     |  |         |
| Аддитивті технологиялардың түрлерін талдау               |  |         |
| Z Corp Binder Jetting технологиясын зерттеу              |  |         |
| Binder Jetting технологиясы бойынша бұйым жасау принципі |  |         |

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 \_\_\_\_\_ Базарбай Б.Б.

Тапсырманы орындауға алған білім алушы \_\_\_\_\_ Спендиярова А.Е.

Күні «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 ж.

## АҢДАТПА

Түйінді сөздер: 3D-басып шығып, ыстық көлемді штамптау, пластикалық штамптар, физикалық модельдеу, компьютерлік модельдеу, жұқа қабатты қалыптау, ansi 3003 алюминий.

Магистрлік диссертацияның мақсаты ыстық көлемді штамптау және жұқа табақты қалыптау процестерін модельдеу үшін 3D мөрмен дайындалған пластикалық штамптарды қолдануды зерттеу болып табылады.

Жұмыстың авторы ыстық көлемді қалыптау процесін физикалық модельдеу үшін және жұқа қабатты алюминийді суық қалыптау үшін 3D мөрмен дайындалған пластикалық штамптарды жасаудың экономикалық тиімді технологиялық процесін әзірледі және эксперименталды негіздеді.

Металдарды қысыммен өңдеу үшін 3D-принтерді қолдану арқылы жасалған технологиялық пластикалық жабдықтарды пайдалану мүмкіндіктері көрсетілген. Пластикалық штамптар мен пластилинді пайдалана отырып, ыстық штамптау физикалық үлгілеу жүргізілді. ANSI 3003 алюминийді жұқа табақты қалыптау процесін зерттеу нәтижесінде пластикалық құралдың бұзылуы мен пластикалық деформациясы осы процесте орын алмайтындығы анықталды. Бұл процесті компьютерлік модельдеу "Simufact.forming". Жұмыста салыстырмалы талдау және парақты қалыптаудың қолайлы нұсқасын таңдау келтірілген. Қауіпсіздік техникасы мәселелері бойынша ұсыныстар берілді.

## АННОТАЦИЯ

Ключевые слова: 3D-печать, горячая объемная штамповка, пластиковые штампы, физическое моделирование, компьютерное моделирование, тонкая формовка, ansi 3003 алюминий.

Целью магистерской диссертации является исследование применения пластиковых штампов, изготовленных 3D печатью для моделирования процессов горячей объемной штамповки и тонколистного формования.

Автор работ разработал и экспериментально основал экономически эффективный технологический процесс изготовления пластиковых штампов, изготовленных 3D печатью, для физического моделирования процесса горячего объемного формования и холодного формования тонкослойного алюминия.

Представлены возможности использования технологического пластикового оборудования, разработанного с использованием 3D-принтера для обработки металлов давлением. Было проведено физическое моделирование горячей штамповки с использованием пластиковых штампов и пластилина. В результате исследования процесса тонколистового формования алюминия ANSI 3003 выяснилось, что разрушение и пластическая деформация пластического инструмента не произойдет в этом процессе. Компьютерное моделирование этого процесса " Simufact.forming". В работе приведены сравнительный анализ и выбор оптимального варианта формования листа. Даны рекомендации по вопросам техники безопасности.

## **ABSTRACT**

3D-printing, hot die forging, plastic stamps, physical modeling, computer simulation, thin-sheet forming, ansi aluminium 3003.

The purpose of the master's thesis is a study of the use of plastic dies made 3D printing, for the simulation of hot die forging and sheet forming. The author of the work developed and experimentally proved cost-effective process of manufacturing plastic dies made 3D printing for physical modeling of hot die forging process and for cold formed sheet aluminum.

The possibilities of the use of technological equipment plastic manufactured using of 3D-printers for metal forming. A physical simulation of hot forming with plastic dies and plasticine. The study sheet forming process of aluminum ANSI 3003 found that in this process the plastic tool is not collapsed and not plastically deformed. A computer simulation of the process in the software package «Simufact.forming». The paper presents a comparative analysis and selection of a preferred embodiment of the sheet forming. Provided recommendations on Safety Instructions.

## МАЗМҰНЫ

|   |    |
|---|----|
| КІРІСПЕ   | 7  |
| 1 Дипломдық жоба бойынша ғылыми-техникалық және патенттік әдебиеттерді шолу және талдау   | 8  |
| 1.1.1. Парақты штамптаудың қалыптаудың әртүрлі әдістерінің негізгі айырмашылықтары  | 8  |
| 1.1.2. Парақты қалыптаудың негізгі операциялары   | 11 |
| 1.1.3. 3D басып шығару ерекшеліктері  | 13 |
| 1.2. Зерттеу міндеттерін толық қою  | 15 |
| 1.3. Пластикалық штамптарды 3D басып шығаруға арналған жабдықтарды әзірлеу және жасау мөртабандарды                                   | 15 |
| 2 Ыстық көлемді штамптау процестерін модельдеу үшін 3d мөрмен дайындалған пластикалық штамптарды қолдану.                             | 17 |
| 2.1. Зерттеу объектісін таңдау.   | 17 |
| 2.2. Зерттелетін процесті компьютерлік модельдеу  | 18 |
| 3 Пластикалық қалыптарда жұқа қабатты алюминийді қалыптау процесін зерттеу  | 22 |
| 3.1. Зерттеу объектісін таңдау  | 22 |
| 3.2. Эксперименттік жабдықтарды жобалау   | 23 |
| 3.3. Зерттелетін процесті компьютерлік модельдеу  | 24 |
| 4 Салыстырмалы талдау және парақты қалыптаудың қолайлы әдісін таңдау  | 25 |
| 4.1. Зерттеудің мақсаты мен нәтижесі  | 25 |
| 4.2. Жабдықтың негізгі өндірушілері   | 25 |
| 4.3. Зерттелетін объектінің құрылымдық сұлбасын құру  | 25 |
| 5 "Микротеплобнител" бөлшектерін жасау кезінде пластикалық штамптарда парақты қалыптау процесін автоматтандыру                        | 26 |
| 5.2.1. Штампталатын бөлшектердің техникалық тапсырмасы және сипаттамасы   | 27 |
| 5.2.2. Бөлшектер конструкциясының технологиялығын талдауларын анықтау   | 28 |
| 5.3. Технологиялық процестің құрылымы   | 30 |
| 5.4 3D басып шығаруды пайдалана отырып, еңбекті қорғау және штамптау өндірісінің экологиялық қауіпсіздігі жөніндегі шараларды әзірлеу | 30 |
| Қорытынды   | 32 |
| Әдебиеттер тізімі   | 32 |



## Кіріспе

Қазіргі уақытта өндірісті жылдам өзгерту және қайта жөндеу қажеттілігі бар. Мысалы, SMED - жабдықты қайта баптау уақытын қысқартуға мүмкіндік беретін пресс-формаларды жылдам ауыстыру. Алайда штампалық жарақты өндіру және дайындау саласында өндірістің дәстүрлі әдістері басым түрде сақталуда. Сандық бағдарламалық басқару (ЧПУ) станоктарын пайдалану 50 жылдан астам уақыт бойы жалғасуда. Осыған байланысты соңғы жылдары пайда болған қазіргі заманғы технологияларды ескере отырып, өндірісті өзгерту қажеттілігі туындап отыр.

Қазіргі уақытта 3D-басып шығару кең таралған технология болып табылады және 3D-принтерлер қолдайтын материалдардан жасалған дайын бөлшектерді немесе олардың прототиптерін тез жасау үшін қолданылады. Медицина, тұрмыстық құралдар, жиһаз, киім өндіру, ғимараттар мен құрылыстар салу кезінде түрлі салаларда оң тәжірибе алынды. [1] 3D баспасы технологиясы жоғары тиімді, жоғары жылдамдықты және шағын сериялы және бірлі-жарым өндіріс үшін экономикалық тиімді болып табылады. 3D-басып шығару әдісімен жасалған бұйымдарды пайдаланудың негізгі мақсаттары-өндірілетін бұйымдардың өзіндік құнын төмендету, бұйымды прототиптеу мен әзірлеуді жеделдету, бұйымды нақты Тапсырыс беруші ретінде дербестендіру.

Металл өңдеу саласында жетістіктер соншалықты кең емес, бірақ құралды дайындаудағы алғашқы оң қолданулардың бірі 20 жылдан астам. [2] 3D-принтерлердің рөлі қалыптау процестерін жобалау мен іске асырудың маңызды және перспективалық бөлігі болып табылады. [3] парақты қалыптауға қатысты 3D – басып шығару әдістерімен жасалған қалыптау жабдығы кейбір жағдайларда дәстүрлі әдістермен жасалған металл қалыптау жабдығын ауыстыруға қабілетті. 3D басып шығаруды қолдану уақытты 80% - ға қысқартуға қабілетті екендігі туралы ақпарат бар осындай жарақтарды әзірлеу және дайындау шығындары және жарақтарды дайындау құнын 70% - ға төмендету. [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 құралды қолдану мүмкіндігі мүмкіндігінше экономикалық жағынан тиімді болып табылады. Ең алдымен ұсақ сериялы және бірлі-жарым өндіріс салалары игерілуде. [7] бұл процеске қосалқы бөлшектер өндірісі мен автомобильдердің жеке әрлеуін көріп, автомобиль өнеркәсібі үлкен көңіл бөледі. [8,9] авиациялық өнеркәсіп бөлшектерін парақты гидроқалыптастыру үшін пластикалық құралды қолдану қызықты деп атауға болады. [10] Алайда штампылау өндірісінде пластикалық құралды ықтимал қолдану аймағы тек қана анықтала бастайды.

Магистрлік диссертацияда ыстық көлемді штамптау процесін физикалық модельдеу үшін және жұқа қабатты алюминийді суықтай қалыптау үшін 3D мөрмен дайындалған пластикалық штамптарды қолдану мүмкіндігі қарастырылады.

## **1 Дипломдық жоба бойынша ғылыми-техникалық және патенттік әдебиеттерді шолу және талдау**

Бұған әмбебап сығымдағыштардың пайда болуы, қолмен және бағдарламалық басқарумен координаттық - револьверлік сығымдағыштардың енгізілуі ықпал етеді.

Шебердің қолөнер ретінде ғасырлар бойы есептелген тарихы бар, ұста қолөнері ежелгі қолөнер ретінде белгілі, көптеген жылнамалар мен құжаттарда көрсетілген. Кілем құралдары ежелгі әлемде пайда болды, археологтар әлі күнге дейін ерте балғаларды, табалар, кенелерді, сондай – ақ қиын құралдарды-тауықтар мен т. б. табады. Алғашқы су диірмендері пайда болған кезде соғудың процесі XVI ғасырда механикаландырылған, бұл рычагты механизмдерді іске қосу үшін өзендердің ағысы мен судың құлауының күшін пайдалануға мүмкіндік берді, мұндай агрегаттар әдетте су әсер етуші деп аталды және балға болды. Жақын жердегі өзендер немесе басқа да су көздері болмаған кезде құлайтын (копровые) балға қолданылған.

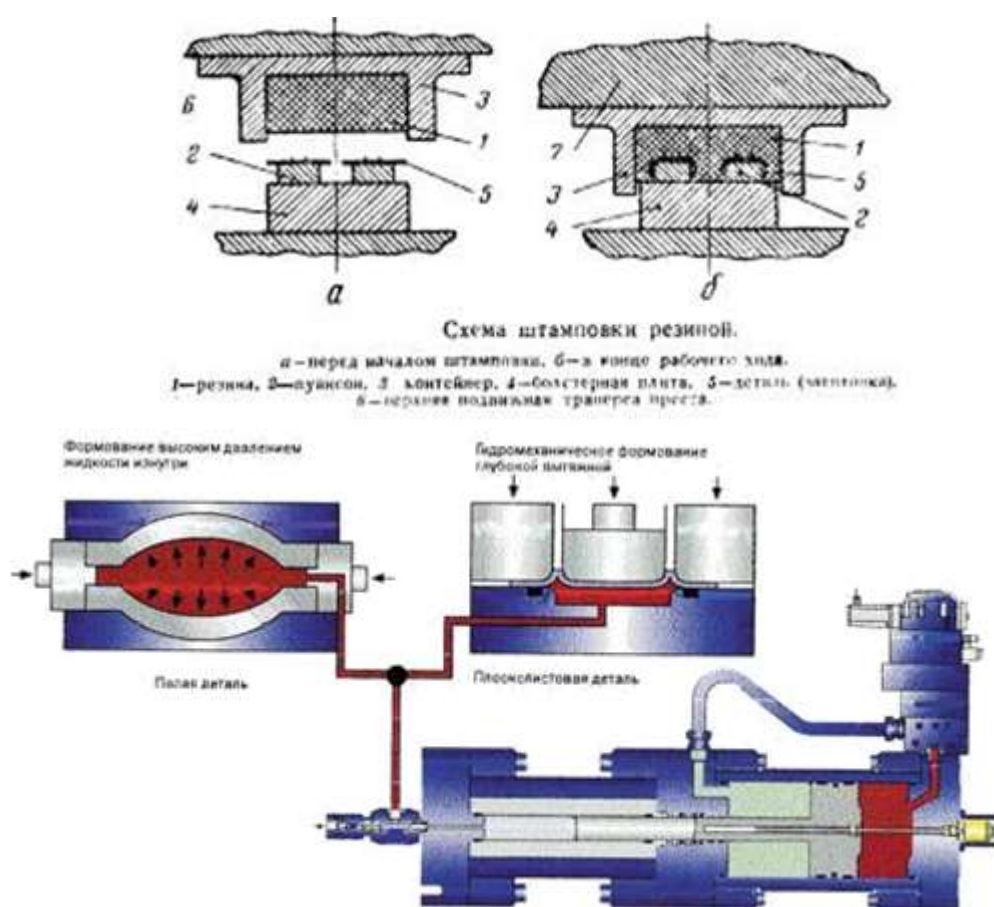
Бірінші бу балға 1842 жылы Джем Несмиттің арқасында жарық көрді, ал бірінші бу гидропресс Армстронгтың 1846 жылы пайда болуына міндетті. Жалпы және тұтастай алғанда, металдарды қысыммен өңдеу машиналары конструкцияларының жарықтары механикалық және пневматикалық балғалардың пайда болуының арқасында XIX ғасырға келді, қисық тиекті престер және басқа да қисық тиекті ұста-қалыптау машиналары пайда болды.

Суық парақты қалыптау қысыммен өңдеудің ең прогрессивті әдістерінің бірі болып табылады және одан әрі өңдеуді талап етпей, қалыптау операциясынан кейін бірден Дайын бөлшектерді алуға мүмкіндік береді. Суық парақты қалыптау автомобиль өнеркәсібінде, авиақұрылыста, Кеме жасауда, сағат өндірісінде және т. б. қолданылады. Металлдан жасалған бұйымды табақшалы бөлшектер жоқ кезде табу қиын. Парақты қалыптау процесі пайдаланылатын материал тұрғысынан да, жоғары өнімділік тұрғысынан да үнемді. Парақты штамптаудың ең оңтайлы қолданылуы, алайда жаппай және ірі сериялы өндіріс болып табылады.

Табақты Қалыптауда қолданылатын материалдар металдармен шектелмейді, бірақ негізінен қалыптау Түсті металдарды, көміртекті және қоспаланған болаттарды өңдеу үшін қолданылады. Тоғыздан бірі суық парақты штамптылаудың айқын емес қолданылуы картон, былғары, резеңке, пластмасса штамптылау болып табылады. Штампталатын дайындамалардың негізгі форматы: бланк, Парақ және жолақ.

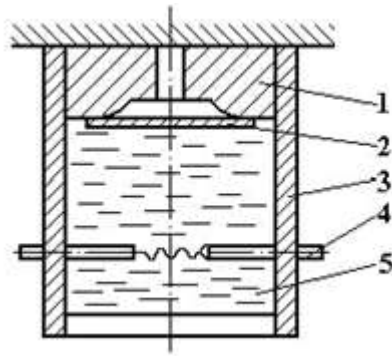
## 1.1 Паракты штамптаудың қалыптаудың әртүрлі әдістерінің негізгі айырмашылықтары

Резинамен штамптау - осы Технологиялық процесте пуансон немесе матрица резеңке болып табылады. Көбінесе резеңкені серпімді орта ретінде қалыптау қалыңдығы 2 мм дейінгі жұқа табақты металдан жасалған бұйымдарды дайындау үшін қолданылады, әдетте қалыпталатын материал ретінде аз көміртекті болат мыс алюминий қорытпалары болады.



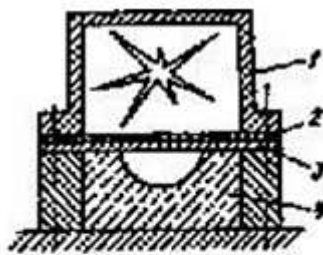
1.1-сурет-Резинамен штамптау сызбасы сұйықтықпен штамптау

Бұл әдістің негізгі мақсаты толық бөлшектерді әр түрлі қалыптарға деформациялау операциясы болып табылады, сонымен қатар ол табақ дайындамаларды қалыптау және бөлшектердің басқа да түрлерін жасау үшін қолданылады. Әдістің мәні-сұйық қысымның әсерінен металдың деформациясы, бұл жағдайда металл матрица пішінін қабылдайды.



1.2-сурет-Сұйықтықпен штамптау сызбасы

Жарумен штамптау-бұл газдардың жарылғыш заттарын, олардың қоспаларын және т.б. қолдана отырып, бөлшектерді штамптау тәсілі. Мұндай штамптау жабдықтың құны тұрғысынан өте үнемді, бірақ кемшілігі бар - жабдық бір реттік.



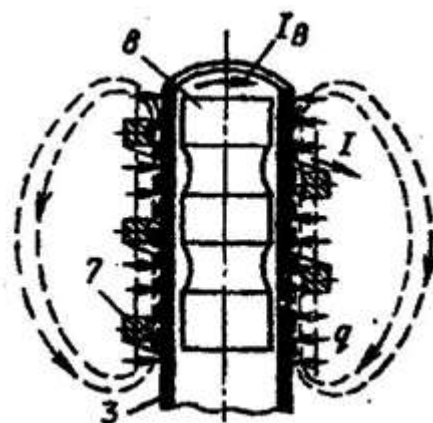
1 - камера сгорания;  
2 - резиновая диафрагма;  
3 - заготовка; 4 - матрица

1.3-сурет-Штампттың жарылу сызбасы

Электрогидравликалық штамптау-жабық кеңістікте сұйықтықты буландыратын және матрицада жатқан дайындамаға сұйықтықтың артық қысымын жасайтын жоғары вольтті электр разряды энергияны тасымалдаушы ретінде пайдаланылатын бөлшектерді штамптау тәсілі. Жарықпен штамптауға қарағанда бұл әдісдегі жабдық бір реттік емес және магнитті-импульсті қалыптау кезінде бірдей артықшылығы бар: тек бір қалыптаушы профиль қажет.

1 – матрица, 2 – дайындау, 3 – корпус, 4 – электродтар, 5 – сұйықтық. Электрогидравликалық штамптау суық Парақ штамптау операцияларының нұсқаларына шектеулер жоқ, жоғары дәлдікпен ерекшеленеді.

Қалыптау әдісі ретінде магнитті-импульсті қалыптау айтарлықтай артықшылығы бар: тек бір қалыптау беті ғана қажет, демек, қалыптау блогының тек бір жартысы ғана. Әдістің мәні орамада өтетін токтардың арқасында дайындаманың айналасында магнит өрісін құру болып табылады. Нәтижесінде құйынды токтар пайда болады, бұл дайындаманың айналасына электромагниттік өрістің пайда болуына және оның дайындаманың айналасына электромагниттік орама жасаған магнит өрісімен өзара әрекеттесуіне әкеледі.



1.5-сурет-Схема магнитно-импульсной формовки

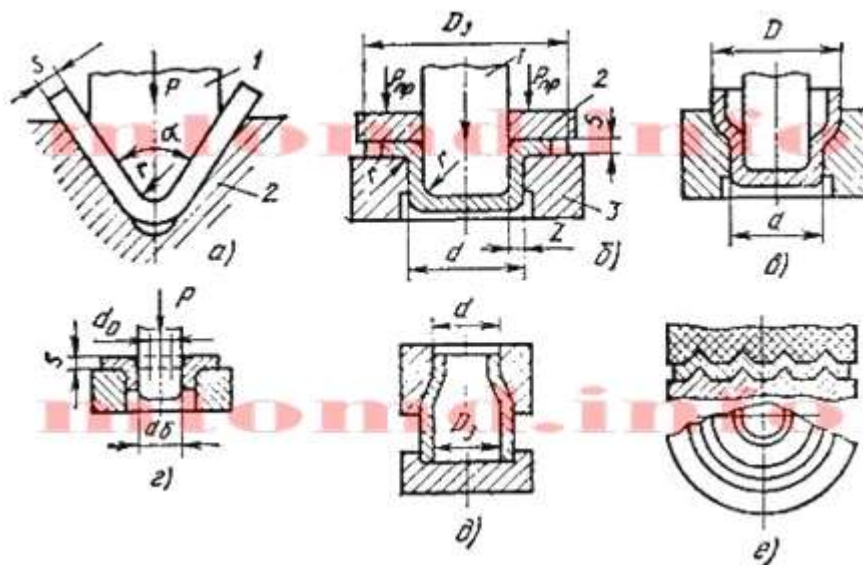
Бұйымдарды пластикалық штамптарда қалыптау-жабдықтың тез дайындалуымен және оның салыстырмалы арзандауымен ерекшеленеді. Пластикалық штамптар 3D-басып шығару әдістерімен жасалады, бұл кез келген қажетті пішін құрайтын бетті жасауға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, бұл нақты 3D-басып шығару әдісіне байланысты өлшемдердің дәлдігіне кейбір шектеулер қояды.



1.6-сурет-Формовка пластиковых штампах.

## 1.2 Парақты қалыптаудың негізгі операциялары

Бұл зерттеуде тек табақты қалыптау формаларын өзгертетін операциялар ғана қарастырылады, өйткені бұл жағдайда штампалық жабдықтың беріктігі мен дәлдігіне қойылатын талаптар бөлу операцияларына қарағанда біршама төмен, осылайша қаралатын бөлшектер класы таңдалған. Парақты қалыптаудың негізгі формо өзгеруші операциялары суретте көрсетілген. 1.7 мұнда, а — ию; Б, в — сору; г — сұрыптау; д — қысу; е-рельефті қалыптау.



1.7-сурет– Парақты штамптау пластиктен жасалған штамптарды

Парақты штамптау пластиктен жасалған штамптарды қолдануды зерттеу үшін парақты штамптаудың негізгі формо өзгергіш операциялары рельефті қалыптау операциясын таңдаймыз, өйткені жүргізілген әдеби іздеу қысым датчиктері үшін аспап жасауда "мембрана" типті бөлшектерді дайындау үшін жұқа парақты қалыптауды қолдану мүмкіндігін көрсетті, 1.8 –суретте көрсетілген.



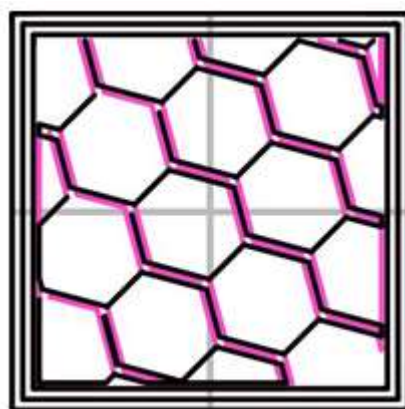
1.8 -сурет– «мембрана»

"Мембрана" түріндегі бөлшектерді дайындау үшін "мембрана" бөлшегі құрамында мыс немесе алюминийдің негізгі компоненті ретінде бар түрлі-түсті қорытпалар қолданылады. Біздің зерттеу ең қолжетімді тоқталамыз жұқа қабатты материал-AISI 3003 Алюминий (амц алюминий аналогы, ГОСТ 4784).

Оның қасиеттері 1.1 кестеде көрсетілген.

### 1.3. 3D басып шығару ерекшеліктері

Осы зерттеуде ШТАМП жабдығын жасау үшін 3D басып шығару әдісі қолданылады, бұл әдістің негізгі ерекшеліктері мен артықшылықтарын көрсету мағынасы бар. Бұған дайындалатын бөлшектердің конфигурациясы мен күрделілігі бойынша шектеулердің практикалық болмауы, алынатын бөлшектердің анизотропностьылығын басқару мүмкіндігі, сондай-ақ белгілі бір пайыздық толтырумен тән ішкі құрылымды алумен дайындалатын бөлшектердің ішкі бөлігін толық толтыру үшін арнайы суреттерді (паттерндерді) пайдалану жатады. [13] "Honeycomb" (аралар ұясы) –аралар ұясы күрішіне ұқсас алты қырлы құрылымды толтыру. 1.10- сурет



1.10 сурет - "Honeycomb" құрылымы.

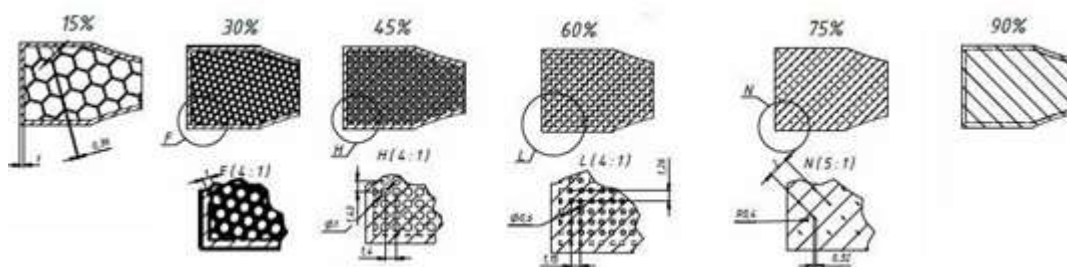
Эксперимент үшін "Honeycomb" құрылымын пайдаланып 6 түрлі пайыздық толтыру қолданылды": 15%, 30%, 45%, 60%, 75%, 90%.



1.11-сурет-Құрылым үлгілері

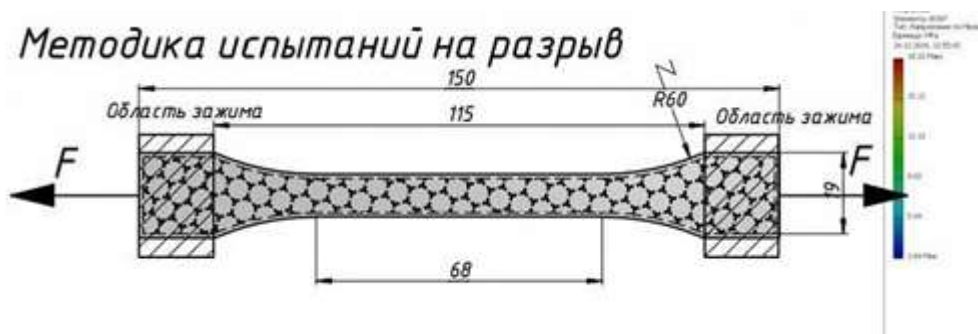
Үлгілердің 3D үлгілерін құру үшін алынған суреттегі құрылымдар үлгілері қолданылды. 1.11. Алынған құрылымдардың эскизі суретте көрсетілген. 1.12-сурет





1.12-сурет- Эскиз структур

15-30% толтыру кезінде құрылымдардың эскизі 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-сынауға арналған үлгі

Сынақ нәтижелері бойынша негізгі қорытындылар:

- Құйма үлгіні 15-20% толтыру кезінде үзуге беріктігі.
- нақты тәжірибе мен виртуалды тәжірибедегі 30% және 75% құрылымы бұл нашар құрылым екенін көрсетті - онда өнім төзімділіктің сызықтық өсуі орын алған деп есептесе, онда беріктігі аз болуы тиіс; осылайша, материал мен басып шығару уақытына шығындарды үнемдеуге мүмкіндік беретін, егер бұл болжамды жүктеме бойынша мүмкін болса,



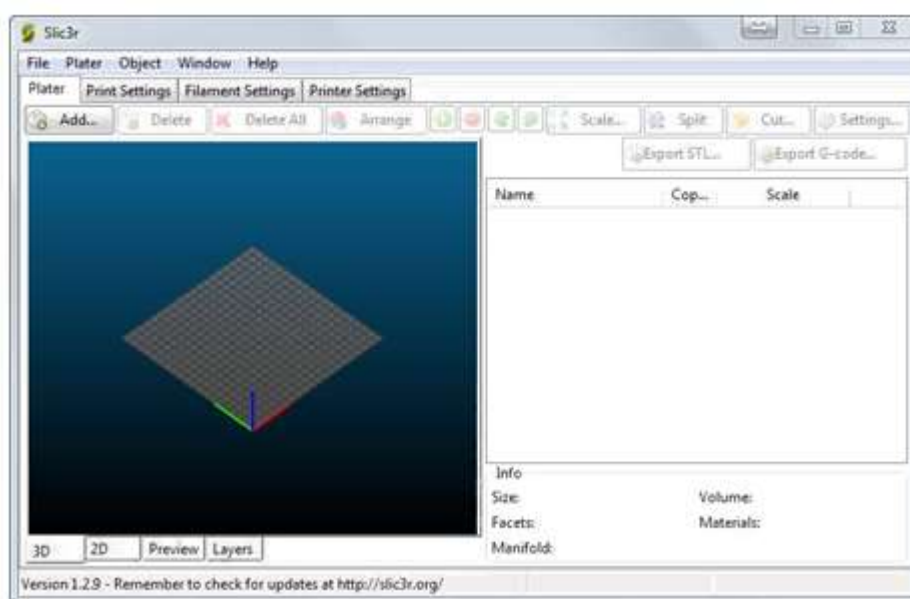
толық емес 15% толтыру пайдалану мағынасы бар.

### 1.3.1 Зерттеу міндеттерін толық қою.

Жұмыстың міндетіне "шкив" бөлшектерінің 0,15 ұқсас коэффициентімен быстық көлемді штампылау процесін физикалық модельдеу үшін 3D мөрмен дайындалған пластикалық штамптарды қолдану кіреді. Жұқа қабатты алюминийді суықтай қалыптау үшін пластикалық штамптарды қолдану, эксперименталды жарақтарды әзірлеу, ШТАМП блоктарын әзірлеу, дайындамалар мен штампалық жарақтардың кернеулі - деформацияланған жай-күйін компьютерлік үлгілеу, штампалық жарақтың төзімділігі бойынша қорытынды, пластикалық штамптарда жұқа табақты қалыптау процесін салыстырмалы талдау, шағын өндірістік учаскені әзірлеу, жұқа табақты қалыптау процесін автоматтандыру, 3D-баспаға арналған жабдықпен жұмыс істеу кезінде қауіпсіздік шараларын әзірлеу.

### 1.3.2 Пластикалық штамптарды 3D басып шығаруға арналған жабдықтарды әзірлеу және жасау .

Ашық көздерден алынған ақпарат негізінде пластикалық қалыптау жабдықтарын жасау үшін [14,15] арнайы 3D-принтер әзірленіп, жинақталды. 1.15, қабаттап балку принтерлері тобына жататын (FDM). [16]



1.15-сурет- 3D-принтер үшін үлгілерді жасау штамповой жарақты

Пайдаланылған келесі параметрлер баспа принтер:

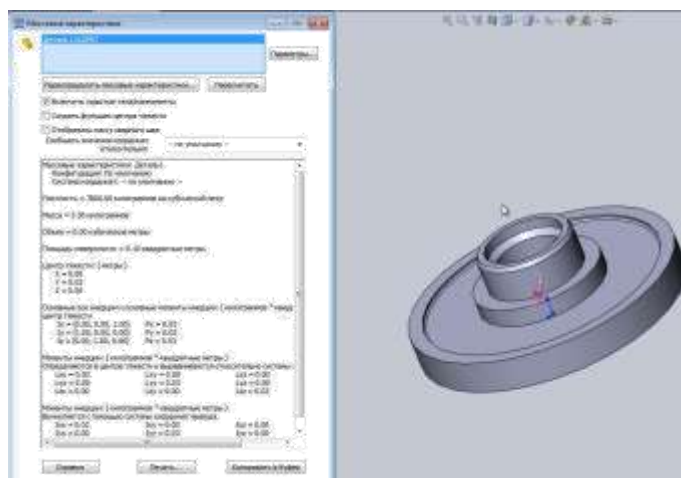
- мөрі пластикпен: акрилонитрилбутадиенстирол;
- рұқсат баспа осьтер бойынша X және Y тәуелді диаметрін шүмектер экструдер – 0.4 мм;
- рұқсат мөр тік осі Z (қабатының қалыңдығы) – 0,2 мм;
- басып шығару жылдамдығы мм/с – 30 мм/с;
- температурасы экструдер – 245 °C;
- температурасы подогревающего үстел – 110 °C. Жалпы саны параметрлерді 100-ден асқан жағдайда, есепке алу кезінде бастапқы бағдарламалық конфигурация принтер.

Принтерде жұмыс істеу үшін қосымша "Slic3r" ашық бастапқы коды бар бағдарламалық өнім пайдаланылды. 1.16 принтерде жұмыс істеу үшін үйлесімді G-Code генерациялауға мүмкіндік береді.

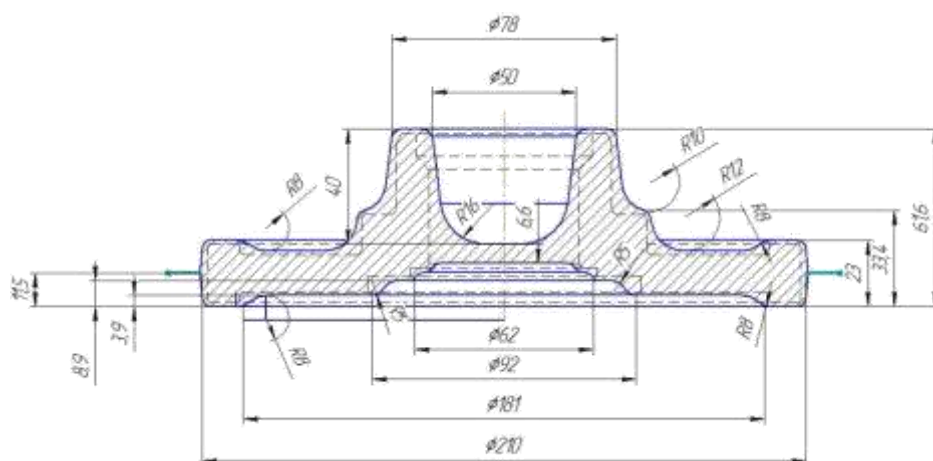
## 2 Ыстық көлемді штамптау процестерін модельдеу үшін 3d мөрмен дайындалған пластикалық штамптарды қолдану

### 2.1. Зерттеу объектісін таңдау

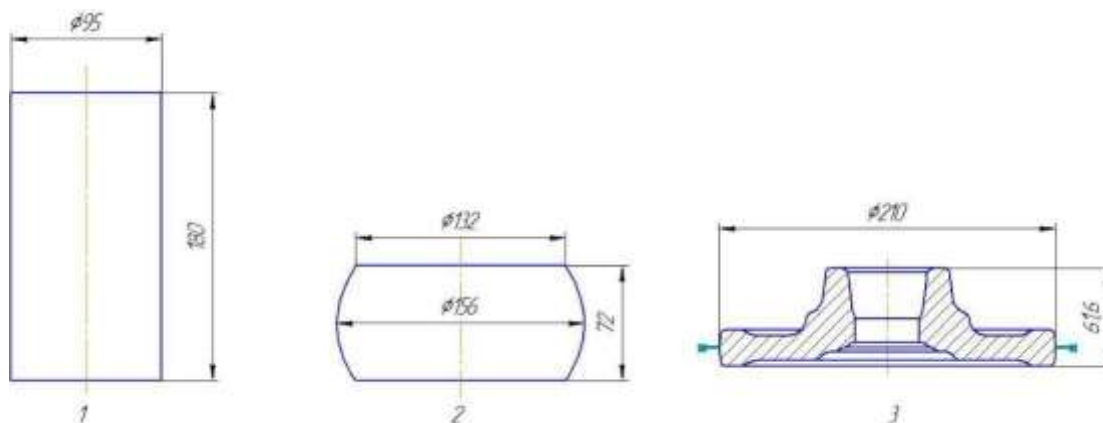
Зерттеу объектісі "Шкив" түріндегі бөлшекті таңдаймыз. 2.1. Зерттелетін технологиялық процесс цилиндрлік дайындамадан соғуды алудың екі операциясынан тұрады: шөгінді және соңғы қалыптау. 2.2. Цилиндрлік дайындаманың нақты диаметрі 95 мм, шөгуден кейінгі ең үлкен диаметрі 156 мм, шыңдау диаметрі 210 мм.



1.16 сурет-үйлесімді G-code генерациялауға мүмкіндік беретін Slic3r бағдарламасының басты терезесі.



Сурет 2.1-ажыратқыш жазықтығы бар соғылудың эскизі.



2.3 сурет - "Шкив" бөлшегінің моделі.

1-Бастапқы дайындау, 2-шөгуден кейінгі дайындау, 3-соғу. Сурет 2.2-3D принтерде жабдықтау модельдерін жасау және процесті модельдеу үшін қалыптау өткелдері SolidWorks бағдарламалық кешенінде бөлшектер моделі құрылды.2.3.

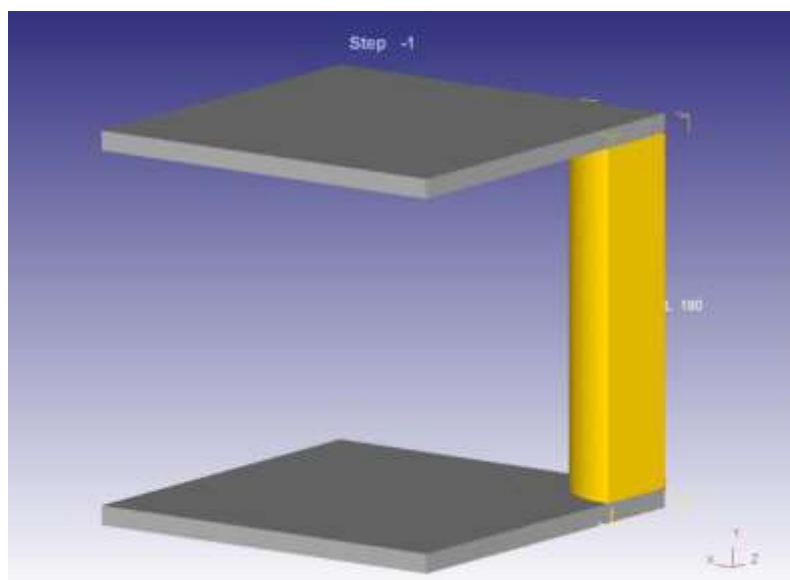
## 2.2. Зерттелетін процесті компьютерлік модельдеу.

Модельдеу DEFORM v10.2 бағдарламасында жүзеге асырылады.

Шөгінді алаңның моделі, дайындау және ШТАМП SolidWorks бағдарламасында үлгіленеді.

Дайындаманың өлшемдері: радиусы 95 мм, биіктігі 180 мм.

Сурет 2.9 шөгінді процесінің алдында отырғызу алаңы мен дайындау көрсетілген.

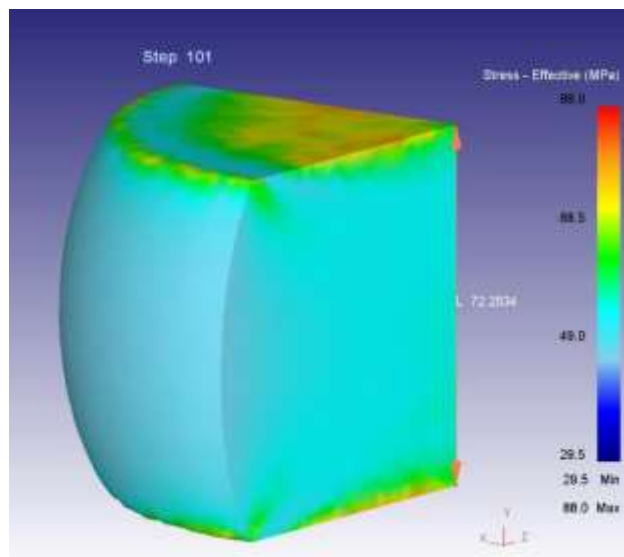
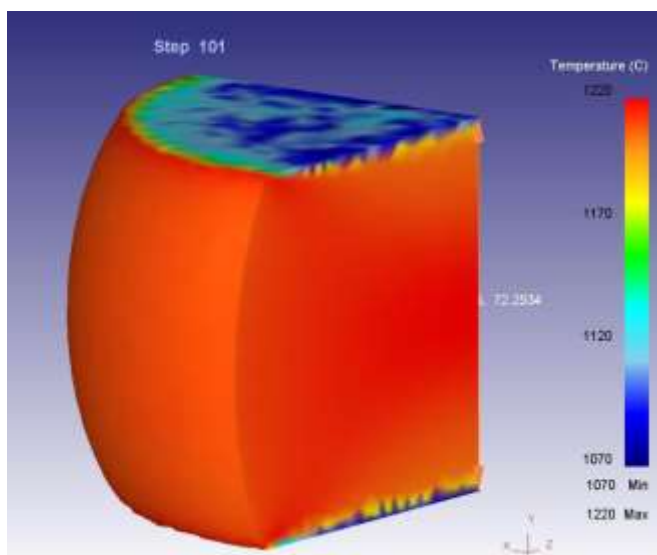


Деректер:

- дайындаманың Материалы: AISI 5140, 45x (800° – 1200°) Болат материалына сәйкес келеді;
- тунба кезінде дайындаманың температурасы 1200°;
- жоғарғы және төменгі пуансон температурасы 250°;
- сығымдағыштың номиналды күші 16000 кН.

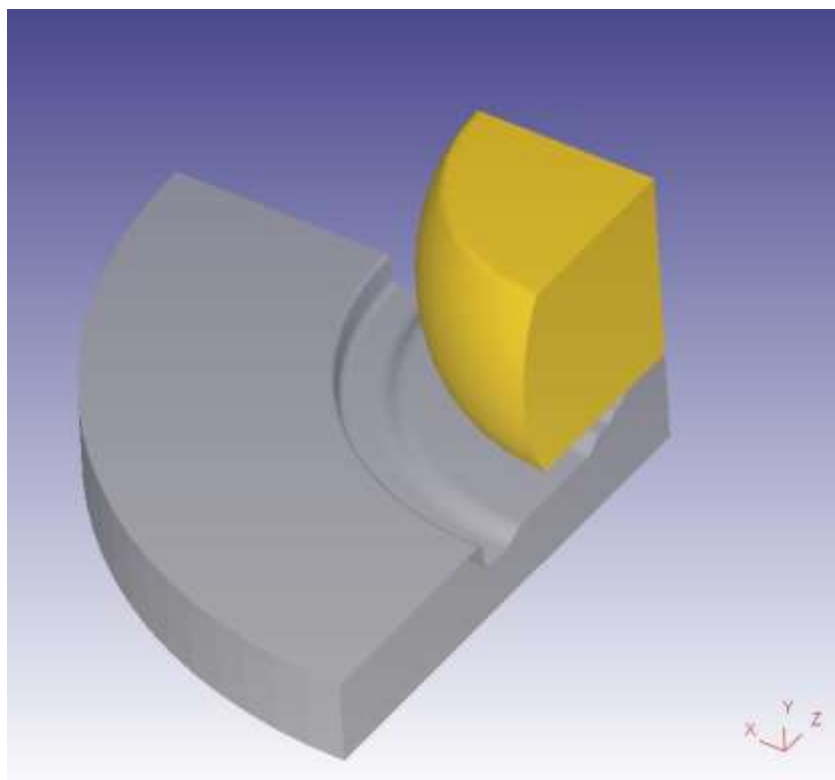
Сурет 2.11 шөгуден кейін дайындамадағы температураны бөлу ұсынылған. Бірақ штамптармен түйісудің жазықтығында температура 1070 °C дейін төмендеді. бұл штамптардың температурасы 250 °C құрайды.

Жалпы температура 800 °C-ден төмен болған жоқ.

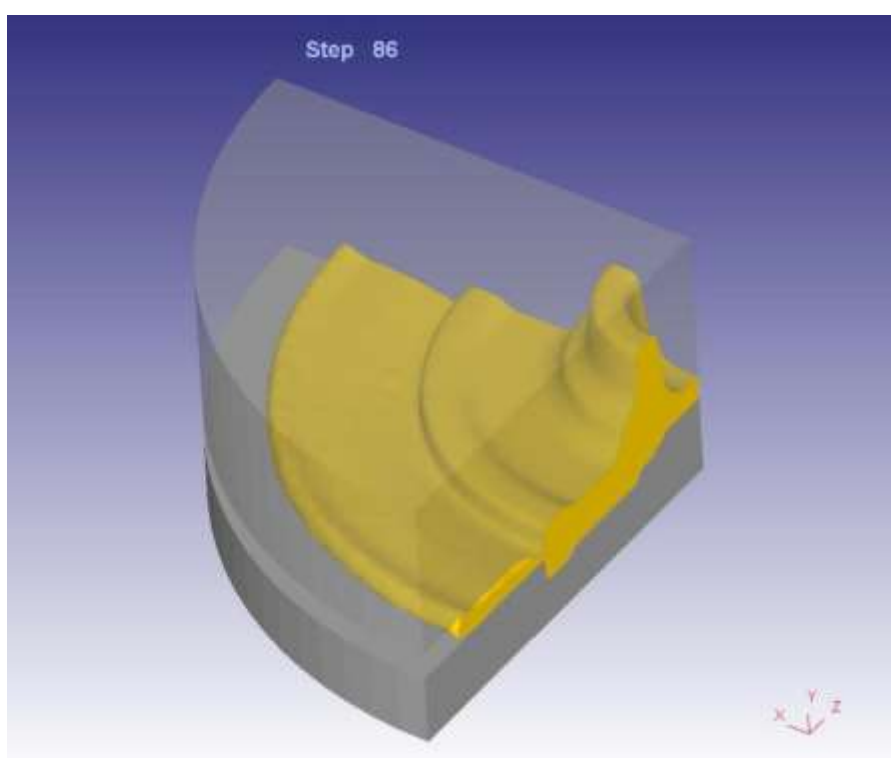


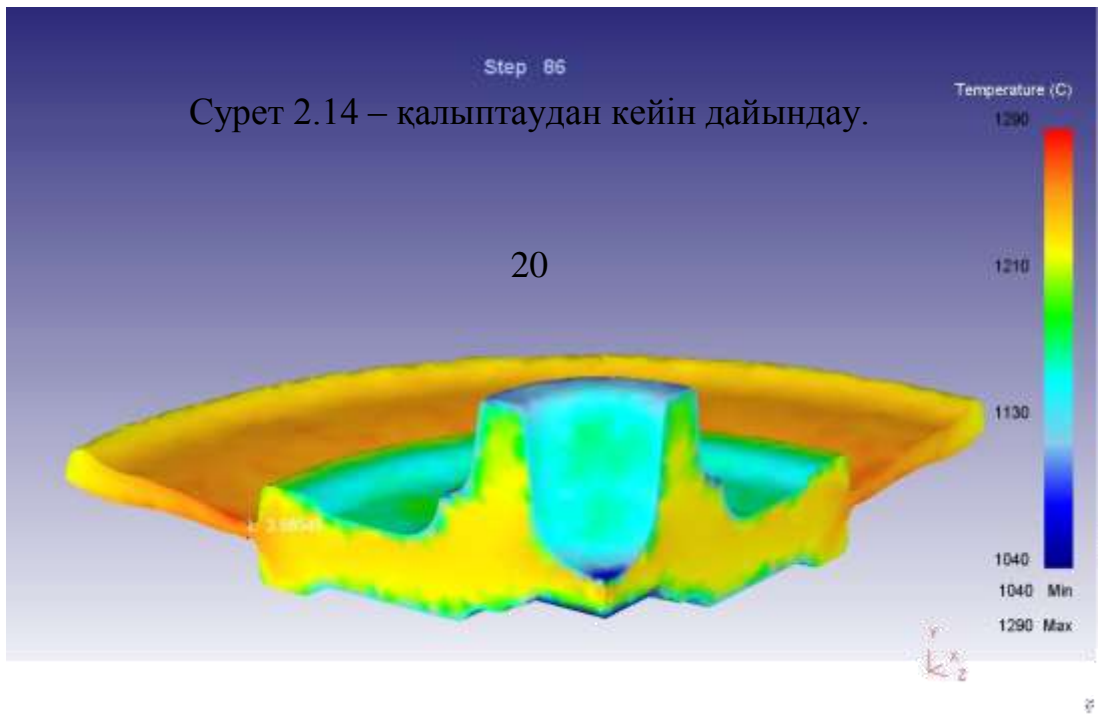
2.10 сурет-температураның таралуы      Сурет 2.11 кернеудің қарқындылығын бөлу ұсынылған. Біздің дайындамалар үшін 88 Мпа артық емес.

Сурет 2.12 төменгі штамптың эскизі бар штамптаудың басы көрсетілген.

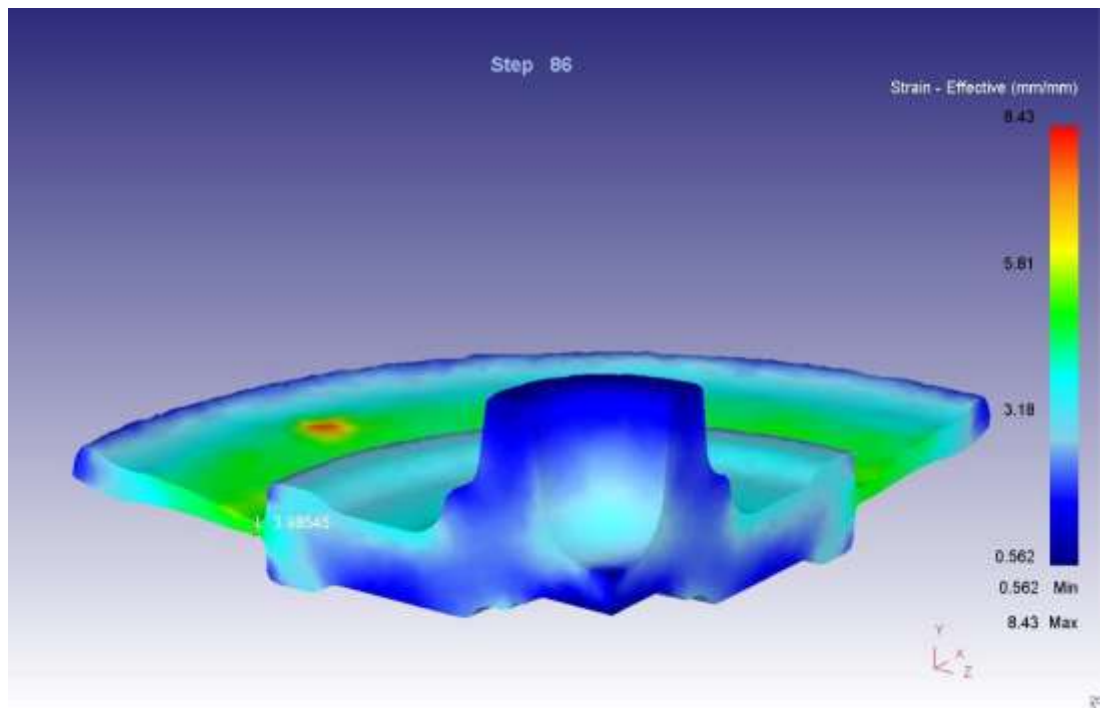


2.13 сурет-қалыптау алдында дайындау.

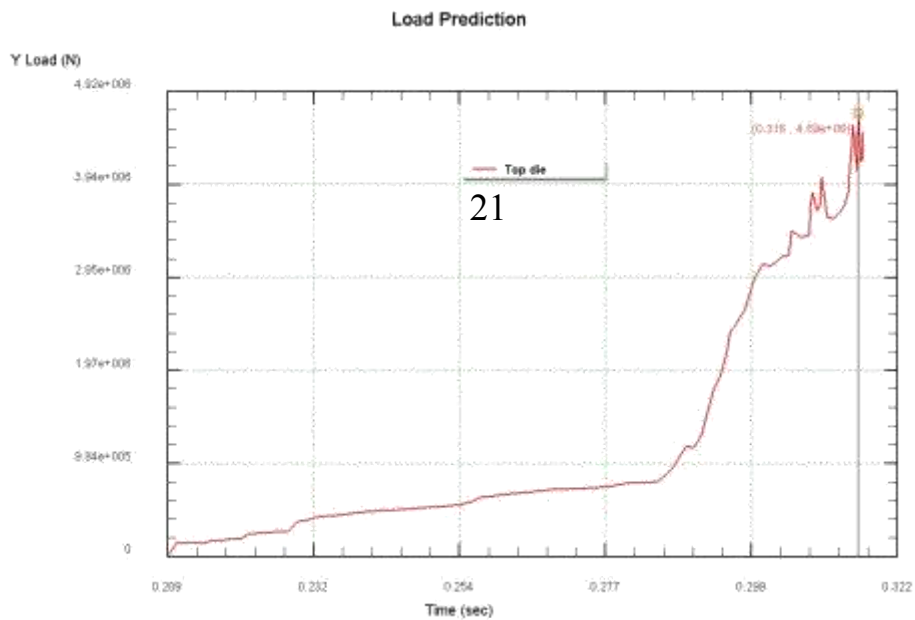




Сурет 2.15-температураның таралуы.



Сурет 2.16 – штамптаудан кейін дайындаманың қимасы бойынша кернеудің қарқындылығын бөлу.



Сурет 2.17-штамптау операцияларына штамптың күш салу кестесі.

Дайындаманың 1 ІВ 4 бөлігі үлгіленетіндіктен, соңғы бұлғада штамптау кезінде максималды күш  $4690 \times 4 = 18760$  (кН) болады.

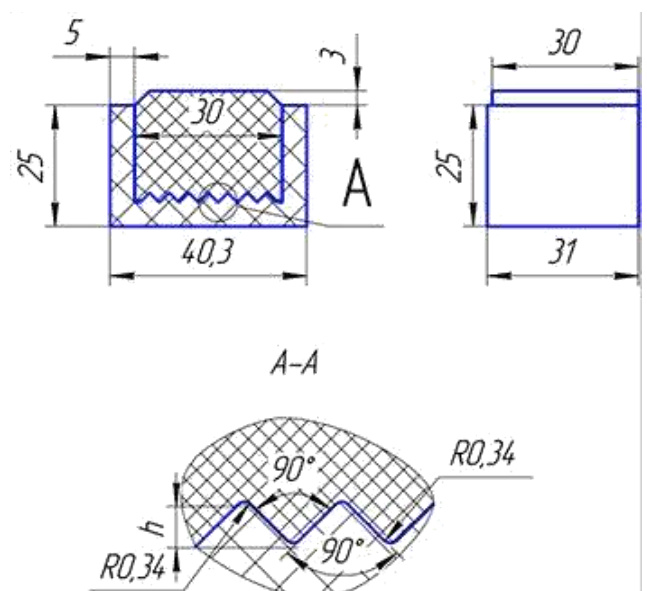
### 3 Пластикалық қалыптарда жұқа қабатты алюминийді қалыптау процесін зерттеу.

#### 3.1. Зерттеу объектісін таңдау.

Зерттеу объектісі – AISI 3003 алюминийі (АМц алюминий аналогы, ГОСТ 4784).

- Беттің қалыңдығы-0.1 мм;
- Дайындаманың ені: 30 мм;

Бөлшектердің үлгісі сурет 3.1.

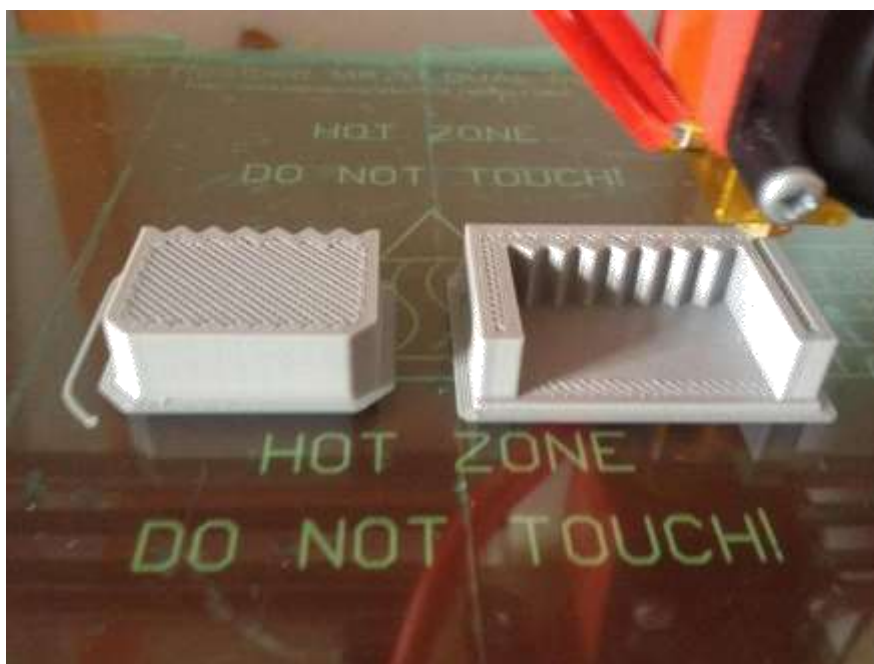




### 3.2. Эксперименттік жабдықтарды жобалау.

Эксперименталды жарақтарды жобалау SolidWorks бағдарламалық кешенінде жүргізілді, жарақтың алдын ала нобайы 3.2-суретте көрсетілген. Штампалық жабдықтың үлгілері Slic3r бағдарламасына экспортталды. 3.3 g-code файлы жасау үшін, оны 3D принтерге жүктеу үшін. Толтырылған қабаттың графикалық көрінісі суретте көрсетілген. 3.4.

3D принтеріндегі 3D штамптық ендірмелерді басып шығару процесі 3.5 суретте көрсетілген, бұл жағдайда басып шығару толық толтырылмай өтетінін атап өткен жөн.

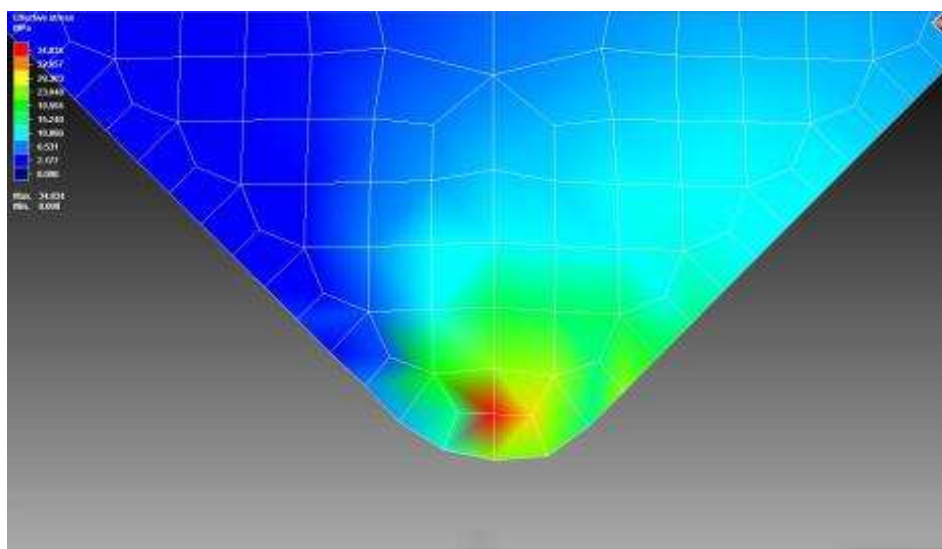


3.2 сурет-ШТАМП блоктарының эскизі

### 3.3. Зерттелетін процесті компьютерлік модельдеу.

Зерттелетін жұқа табақты қалыптау процесін компьютерлік модельдеу Simufact бағдарламалық кешенінде жүргізілді. forming. Есептеу үшін: дайындау материалының сипаттамасы; штамптар мен дайындамалардың геометриясы; процесс түрі-суық табақты қалыптау; қалыптың соңғы сәтінде штамптар арасындағы штамптыланатын материалдың қалыңдығына тең саңылауды қамтамасыз ететін пуансонның орнын ауыстыру. Есептеулерде дайындамалар материалының серпімді пластикалық моделі қолданылды DB.A1 Simufact деректер базасынан Mn.materials ANSI 3003 алюминийіне сәйкес металл беріктігін ескере отырып. [22] Үлгілеу кезінде дайындаманы суреттегі тік бұрышты соңғы элементтерге бөлу қолданылды. 3.7. Дайындаманың қалыңдығы бойынша 9 элемент орналасқан. Дайындау үлгісінде барлығы 30 мыңға жуық элемент пайдаланылды. Бір есептің уақыты 60-90 минутты құрады.

Дайындаманы қалыптау кезінде кернеу қарқындылығы мәндерінің бөлінуі кернеу қарқындылығының ең үлкен мәндері иілетін дайындаманың сыртқы қабаттарында байқалатынын көрсетеді, онда дайындаманың иілу және созылуынан бір белгінің кернеулері күріш-ке жинақталады. Зерттеу барысында деформациялаудың максималды күші 1350 Н жетті. Бұл ретте пластикалық Құралдың жұмыс бетінде пластикалық деформация немесе задирлердің бұзылу қысымы байқалмады. Матрицалар мен пуансондарды майлау жүргізілген жоқ, себебі олар антифрикциялық қасиеттерге ие.



## **4 Салыстырмалы талдау және парақты қалыптаудың қолайлы әдісін таңдау**

### **4.1. Зерттеудің мақсаты мен нәтижесі**

Зерттеудің мақсаты бұйымдардың шағын сериялы партиясының ең аз құны бар парақты штамптаудың ең оңтайлы әдісін анықтау болып табылады. Зерттеу нәтижесі-бұл әдісті қолдану.

### **4.2. Жабдықтың негізгі өндірушілері**

"Технопроект" ЖШҚ қалыптық жарақты дайындаудың толық циклін жүзеге асыру үшін барлық мүмкіндіктерге ие: конструкторлық құжаттаманы әзірлеуден бастап дайын бұйымның шығуына дейін. [25] ШТАМП қалдықтарын дайындау-процесс өте күрделі және көп еңбекті қажет етеді. Орташа және ұсақ штамптарды дайындау мерзімі күрделілігіне және бастапқы деректердің болуына қарай орташа 1 айдан 3 айға дейін құрайды (сызба-конструкторлық құжаттама, бұйымның математикалық моделі және басқа да деректер).

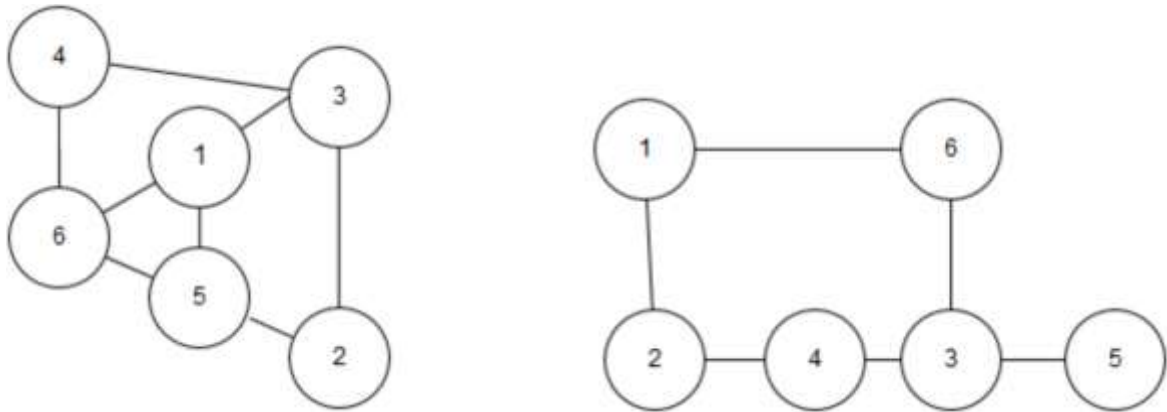
Қалыптау және бөлу операцияларына арналған ірі штамптар өндірісі ШТАМП дайындау тәсіліне байланысты орта есеппен екі-үш айға жуық уақытты алады:

- 1,5 айдан 3 айға дейін илемді қолдана отырып.
- 2-ден 4 айға дейін құюмен.

### **4.3. Өлшемдердің байланыс графы**

Өлшемдердің байланыс графы екі - үш сарапшы тартылады. Әрбір сарапшының пікірі бойынша байланыс графы құрылады. Сарапшылар олардың пікірінше, бір-бірін өзара өтей алатын өлшемдер жұбын таңдайды (тағайындайды). Екі сарапшымен суретке ұсынылған бағалау критерийлерінің байланыстылық бағандары жасалды. 4.3.

Сарапшылардың пікірлері негізінде жалпыланған байланыс бағанын құрадамыз. Жалпыланған бағана суретте көрсетілген.



4.3 сурет-бағалау критерийлерінің байланыстылығы бағандары: а) – бірінші сарапшы, Б) - екінші сарапшы

## **5 бөлшектерді дайындау кезінде пластикалық штамптарда парақты қалыптау процесін автоматтандыру " микротеплобнител»**

Парақты штамптылаудың технологиялық процестерін механикаландыру және автоматтандыру мәселелері Өнеркәсіптік өндіріс деңгейінің дамуына, қол еңбегі үлесінің тұрақты азаюына және өсіп келе жатқан әлеуметтік-экологиялық проблемаларды шешуге қарай бірінші кезектегі мәнге ие болады. Машина жасау бұйымдарының жалпы көлемінде штампталған бөлшектерді шығаруды ұлғайту табақты штамптау кезінде еңбек өнімділігін арттыруға әкеп соғады.

Дайындаманың деформациясы, әдетте, аспаптың, жабдықтың дірілімен, Шудың жоғары деңгейімен сүйемелденеді, бұл қызмет көрсетуші персоналдың шаршауын арттырады және жұмыс қауіпсіздігін төмендетеді. Осыған байланысты парақты штамптау процестерін механикаландыру және автоматтандыру екі мақсат бар: еңбек өнімділігін арттыру және жұмыстың толық қауіпсіздігін қамтамасыз ету.

Негізгі листоштампалау жабдығы-қисық типті престер өз конструкциясы бойынша жоғары өнімді машиналар болып табылады. Сондықтан осы жабдықты пайдалана отырып жүзеге асырылатын технологиялық үдерістердің жоғары өнімділігі мен автоматтандыру дәрежесі болуы тиіс.

Автоматтандыру дәрежесінің маңызды көрсеткіші Престің жұмыс жүрісін пайдалану коэффициенті болып табылады.

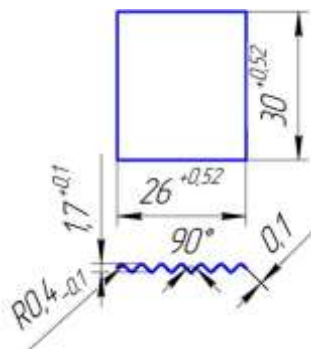
Процесті толық автоматтандыру қиын болған немесе экономикалық тиімсіз жағдайларда бастапқы дайындамаларды беруді және бөлшектер мен қалдықтарды пресс аймағынан шығаруды механикаландыру қажет.

Бөлшектерді штамптауға арналған Бастапқы материал ретінде жалпы термин — табақ материалмен біріктірілетін лента, жолақ, Парақ, сондай — ақ алдын ала алынған даналық дайындама (жартылай фабрикат) - жалпақ, кеңістіктік немесе көлемді болып табылады. Бастапқы материалдың түріне байланысты автоматтандырылған құрылғылардың жұмыс органдары ажыратылады.

Функционалдық мақсаты бойынша автоматтандырылған құрылғыларды үш негізгі топқа бөлуге болады: бағдарлаушы және қоректендіруші құрылғылар, беруші құрылғылар; бөлшектер мен қалдықтарды жоюға арналған құрылғылар.

### 5.2.1. Техникалық тапсырма және штампыланатын бөлшектің сипаттамасы

5.1 – суретте бөлшек-Микротеплән алмастырғыш көрсетілген.



Сурет 5.1-Микротеплообтарғыш, габариттік өлшемдері өндірістік бағдарлама-10 мың дана/жыл.

Материал – полоса АМцМ-0,1 .

ГОСТ 21631-76

Алюминий деформацияланған қорытпасы, онда негізгі легірлеуші элемент күйдірілген марганец болып табылады. Амц маркалы қорытпасы жоғары коррозиялық төзімділікке, иілгіштікке және жақсы дәнекерлеуге ие. Материал термиялық өңдеумен беріктенбейді, магниттік қасиеттері жоқ. АМцМ маркалы қорытпасы аз тиелген бөлшектер, Радиаторлар мен құрылыс конструкцияларын өндіру үшін қолданылады.

Химиялық құрамы:

- Алюминий –  $\approx 99\%$
- Марганец –  $\approx 1\%$ .

27

Механикалық қасиеттері:

- $\sigma_B = 90$  МПА-созылу кезіндегі беріктік шегі,
- $\delta_5 = 22\%$  - салыстырмалы ұзартылу.

ГОСТ 21631-76 осы қалыңдықтың жолағын шығару қарастырылған. Ұсынылған материал жұмыстың мақсаты мен шарттарына ғана емес, сонымен қатар өндірілетін деформацияның сипаты мен дәрежесінен туындайтын технологиялық талаптарға да сәйкес келеді.

Суық парақштампалау кезінде қолданылатын суықтай илектелген материалдардың механикалық және технологиялық қасиеттері металдың штампилануын анықтайды. Штапмылық деп материалдың жарықсыз, жарықсыз және басқа да ақауларсыз пластикалық деформацияға қабілеттілігін түсінеді. Металдың штампталуы интегралды түсінік болып табылады, өйткені металдың физикалық-механикалық қасиеттеріне, химиялық құрамы мен құрылымын қоса алғанда, кернеулі-деформацияланған жай-күйі мен қалыптаудың технологиялық жағдайларына байланысты.

Мысалы, технологиялық қасиеттердің сипаттамасы үшін ең үлкен қызығушылық икемділік көрсеткіштері болып табылады, олардың бірі салыстырмалы ұзарту болып табылады. Осылайша, механикалық және физикалық қасиеттердің жиынтығы бойынша осы материалдың штампилануы берілген бұйымды "Микротеплообннитель" дайындау үшін, барлық қойылатын талаптарды орындай отырып, жеткілікті болып табылады.

Бөлшектің құрылымын талдай отырып, суықтай штампалау әдісімен дайындау тұрғысынан, бөлшек Технологиялық болып табылады: геометрия және өлшемдердің дәлдігі қосымша механикалық өңдеусіз алынуы мүмкін.

### **5.2.2. Бөлшектер конструкциясының технологиялығын талдау**

Суық парақты штамптаудың технологиялық процестері неғұрлым қарапайым және экономикалық дайындауға жол беретін технологиялық құрылым немесе бөлшектің пішіні жасалған жағдайда ғана барынша ұтымды болуы мүмкін. Сондықтан суықтай қалыптау технологиялығы технологиялық әдістер прогрессивтілігінің және өндірістің үнемділігінің ең маңызды алғышарты болып табылады.

Технологиялық-оларға қойылатын техникалық және пайдалану талаптарын сақтай отырып, бөлшектерді (сериялық өндіріс жағдайында) неғұрлым қарапайым және үнемді дайындауды қамтамасыз ететін конструктивтік элементтердің үйлесімі.

Суық штампталған бөлшектерге пайдалану-техникалық талаптар:

1. Конструкцияның мақсаты мен пайдалану шарттарына толық сәйкестігі;
2. Ең аз салмақ кезінде талап етілетін беріктікті, қаттылықты, қаттылықты қамтамасыз ету;

3. Қажетті дәлдік пен өзара алмастыруды қамтамасыз ету;
4. Арнайы физикалық және химиялық шарттарға сәйкестігі.

Суықтай қалыпталған бөлшектердің технологиялылығының негізгі көрсеткіштері:

1. Материалдың ең аз шығыны;
2. Операциялардың ең аз саны және еңбек сыйымдылығы төмен;
3. Кейінгі механикалық өңдеудің болмауы;
4. Қажетті жабдықтар мен өндірістік алаңдардың ең аз саны;
5. Өндірісті дайындау шығындары мен мерзімдері қысқарған кезде жарақтың ең аз саны;
6. Жекелеген операциялар мен жалпы цехтың өнімділігін арттыру;
7. Штамптардың тұрақтылығын арттыру;
8. Қалыпталатын бөлшектердің ең аз өзіндік құны технологиялықтың жалпы нәтижелі көрсеткіші болып табылады;
9. Көп жағдайда конструкцияның технологиялылығының негізгі критерийі операциялардың ең аз саны мен еңбек сыйымдылығын төмендету кезінде материалды үнемді жұмсау болып табылады.

Өндірістік бағдарлама 10 мың дана/жыл. демек, өндіріс түрі-сериялық. Сериялық өндірісте қалыптау негізінен әмбебап механикалық немесе гидравликалық престерде жүргізіледі. Штамптар қарапайым немесе аралас қолданылады.

Қажетті форманы алу үшін жолақтан дайындамаларды кесу қажет. Содан кейін қалыптау

### **5.3. Технологиялық процестің құрылымы**

Осылайша, технологиялық процестің құрылымы осылай көрінеді:

2. Табақты дайындамаларға кесу.
3. Бір операция үшін қалыптау.

Әрбір операция алдында іріктеп бақылау жүргізу қажет. Операциялар әмбебап гидравликалық үстел престерінде жүргізілетін болады. Берілген шығарылым бағдарламасында автоматтандырылған технологиялық процесті пайдалану орынсыз. Алайда, автоматты түрде штамптық ендірімелерді ауыстыру кезінде бұл перспективаға ие.

## **5-3D басып шығару арқылы өндіріс**

3D-принтер қондырғысымен жұмыс істеуге алдын ала оқыту курсынан өткен, құрылғымен, жұмыс істеу принципімен, бағдарламалық жасақтамамен және қауіпсіздік шараларымен таныстырылған тұлғалар жіберіледі.

Күрделі механизмдер мен аспаптармен кез келген жұмыс сияқты 3D принтерде басып шығару қауіпсіздік техникасын сақтауды көздейді. Негізгі жарақаттарға қауіпті факторлар жатады:

- \* құрылғының қызатын элементтері,
- \* қозғалатын механизмдер,
- \* токпен зақымдану қаупі.

Сондықтан келесі тармақтарды сақтау міндетті:

1. Қондырғыны айнымалы токтың электр желісіне қосу үшін, кернеуі ~220В, тек жерге қосудың жалпы контурына қосылған жерге қосушы контактісі бар розеткалар қолданылуы тиіс.

а. жалғағыш сымдардың оқшаулағышының зақымдануы анықталған кезде қондырғыда жұмысты дереу тоқтату және орнатуды қоректендіруші желіден ажырату қажет.

б. кернеуі 220 в айнымалы ток желісіне қондырғыны қайта қосуға оқшаулаудың зақымдалуын жойғаннан кейін ғана рұқсат етіледі.

30

с. техникалық қызмет көрсетуді 220 В айнымалы токтың қоректендіруші желісінен қондырғыны толық ажыратқаннан кейін ғана жүргізуге болады.

д. зақымдалған кабельдерді, штекерлерді, розеткаларды пайдаланбаңыз. Қуат кабелін майыстырмаңыз, деформацияламаңыз. Дейін тартпаңыз қуат кабелін сулы қолмен, қуат көзін өшіру үшін кабельге бұрмаңыз. Өндіруші мақұлдамаған кабельдерді пайдаланбаңыз.

2.3Д принтерде жұмыс жоғары температурамен ұштасады, сонымен қатар принтерде жылжымалы бөлшектер қолданылады



жанасу кезіндегі жарақаттар. Жұмыс кезінде, принтер ішіндегі температура келесі мәндерге жетеді:

~ 150С-үстел температурасы

~250С-экструдер температурасы,

Принтер ішіндегі үстелге және бөлшектерге қол жеткізбеңіз және тимеңіз  
баспа кезінде экструдер;

3.Егер 3D принтер ашу қажет болса:

а.қосқыш "өшірулі" күйінде және қуат сымы электр желісіне қосылмағанын  
принтер толық өшірілгеніне көз жеткізіңіз.

В. егер ол жақында жұмыста болса, принтер салқындағанша күтіңіз.

с. қауіпсіздік мақсатында 3D принтер есігін жұмыс кезінде жабық ұстаңыз және  
принтер пайдаланылмаса

4.3D принтердің құлауына немесе қатты соққысына жол бермеңіз.

5.Шығыс материалдарын сақтықпен пайдаланыңыз және алып тастаңыз.

6.3D принтерді жарылу қаупі бар ортада немесе тез тұтанатын химиялық  
өнімдерге жақын жерде қоспаңыз. Қауіпсіздік туралы ескерту белгілерінің  
талаптары мен нұсқауларын әрдайым сақтаңыз.

7.3d және бөлшектерге басылған ұсақ нысандар екеніне көз жеткізіңіз

8.балаларға қауіп төндіретін принтер олардың қол жетімділігінен тыс.

31

9.Кәмелетке толмағандарды өз бетінше жұмысқа жібермеңіз.

принтерде.

10. Тез тұтанатын газдарды, жарылғыш заттарды сақтамаңыз және  
тасымалдамаңыз

3D принтермен, оның бөлшектерімен немесе аксессуарларымен бірге заттар.

11. Сіздің принтер жұмыста болғанда басып шығару процесін бақылаңыз.

## Қорытынды

1. Жылу алмастырғыш бөлшектер мен мембрана мысалында пластикалық аспаптарда жұқа табақты қалыптау мүмкіндігі көрсетілген;
  - a. орташа және ұсақ сериялы өндіріс үшін өзіндік құнды 70 - ке төмендету%;
  - b. жабдық өндірісін 80-ге жеделдету%;
2. Моделдеу 5-10% шегінде бөлшектердің күші мен соңғы пішіні бойынша экспериментпен ұқсастықты қамтамасыз етеді және бөлшектің нақты пішінін шығарады;
3. Зерттелген қалыптау процесінде құрал бұзылмайды және пластикалық деформацияланбайды;
4. Майлауды жүргізу қажет емес, себебі матрица және пуансон материалы антифрикциялық қасиеттерге ие;
5. Соңғы пішінге айтарлықтай әсер серпімді қасиеттер есептеу одан әрі зерттеуді талап ететін бөлшектерді серіппеу.

## ӘДӘБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Leacock, G. Cowan, M. Cosby, G. Volk, D. McCracken, D. Brown, "Structural and Frictional Performance of Fused Deposition Modelled Acrylonitrile Butadiene Styrene (P430) with a View to Use as Rapid Tooling Material in Sheet Metal Forming", Key Engineering Materials, Vol. 639, pp.325-332, 2015.
2. Интернет ресурс:<https://ru.wikipedia.org/wiki/3D-принтер/>
3. Henshaw S. What is 3D printing? <http://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>
4. Prusa J. Prusa i3 Documentation. [http://reprap.org/wiki/Prusa\\_i3/](http://reprap.org/wiki/Prusa_i3/)
5. Harold F. Massey, B. Sc. The flow of metal during forging. B. & S. Massey Ltd., 1921, 66 p.
6. Collins P.C., Haden C.V., Ghamarian I., Hayes B.J., Ales T., Penso G., Dixit V., Harlow G. Progress Toward an Integration of Process–Structure–Property–Performance Models for “Three-Dimensional (3-D) Printing” of Titanium Alloys // *JOM*. – 2014. – V. 66. – № 7. – P. 1299-1309.
7. ОО«Технопроект»[Электронный ресурс].-Режим доступа: <http://technoproekt.com/index.php/uslugi/izgotovlenie-osnastki>
8. Ковка и штамповка: Справочник: В 4т. Т4. Листовая штамповка/Под общ. Ред. С.С. Яковлева – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2010. - 732 с.
9. Автоматическая загрузка технологических маши: Справочник/И. С. Бляхеров, Г. М. Варьяш, А. А. Иванов и др.; Под общ. Ред. И. А. Клусова. - М.: Машиностроение, 1990. - 400 с.
10. Попов Е.А., Ковалев В.Г., Шубин И.Н. «Технология и автоматизация листовой штамповки» Учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 480с.
11. Справочник по холодной штамповке. Романовский В.П. Л., «Машиностроение». 1971 г. стр.782
12. Сосенушкин Е. Н., Васильев К. И., Смирнов А. М. «Автоматизация, робототехника и гибкие производственные системы кузнечно-штамповочного производства»: Учебник – 2-е изд., перераб. и доп. (ГРИФ), 2009. – 484с.

13. И.А. Норицын, В.И. Власов «Автоматизация и механизация технологических процессовковки и штамповки», 1967г.