НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Механіко-машинобудівний інститут

кафедра Технології виробництва літальних апаратів

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ В.А. Тітов
«___»_____2019 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 131 Прикладна механіка _____

на тему: Технологія виготовлення гільзи боєприпасу автоматичного гранатомета___

_____

_____

Виконав (-ла):
студент (-ка) VI курсу, групи _____МД-83мп_____
_____Шупіченко Анастасія Андріївна_____ _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник: доц.,к.т.н., Орлюк Михайло Володимирович___
(посада, науковий ступінь, вчене звання) _____
(прізвище, ініціали)

Рецензент: _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання) _____
(прізвище, ініціали)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент (-ка) _____

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут Механіко-машинобудівний
кафедра Технології виробництва літальних апаратів
Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою
Спеціальність (спеціалізація) – Прикладна механіка пластичності матеріалів

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Тітов В.А.
«___»_____2019 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Шупіченко Анастасія Андріївна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Технологія виготовлення гільзи боєприпасу автоматичного гранатомета _____
_____,
науковий керівник дисертації доц.,к.т.н., Орлюк Михайло Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання),
затверджені наказом по університету від «___»_____ 20__ р. №_____

2. Термін подання студентом дисертації _____
3. Об'єкт дослідження процес виготовлення напівфабрикату гільзи методами об'ємного штампування _____
_____
4. Вихідні дані _____
_____
_____
5. Перелік завдань, які потрібно розробити виконання чисельного моделювання процесу гарячого та холодного видавлювання в системі CAD/CAE DEFORM 2D і 3D,

проаналізувати особливості процесів та обрати оптимальну схему штампування; спроектувати штампове оснащення; розробити рекомендації для подальшої механічної обробки.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

_____

_____

_____

7. Орієнтовний перелік публікацій 1 теза

_____

_____

_____

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка

Студент _____

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації _____

(ініціали, прізвище)

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається зі 85 сторінок, в тексті зазначено 54 рисунки, 11 таблиць. В даній атестаційній роботі використано 67 найменування бібліографічних посилань.

В умовах сучасного виробництва велика увага приділяється процесам обробки металів тиском, які дозволяють інтенсифікувати процес отримання деталі та підвищити коефіцієнт використання матеріалу. Тому оптимізація технології отримання гільзи боєприпасу калібру 40 × 53 мм за рахунок застосування штампувальних операцій є актуальною.

Метою роботи є встановлення можливих варіантів штампування, вибір оптимальних схем процесу для виготовлення гільзи боєприпасу автоматичного гранатомета, а також проектування відповідного штампового оснащення.

В дисертаційній роботі були виконані наступні задачі:

- проведений аналітичний огляд науково – технічних публікацій про процеси видавлювання порожнистих напівфабрикатів;
- на основі проведеного аналізу визначені основі напрямки дослідження;
- виконано чисельне моделювання процесу гарячого та холодного видавлювання в системі CAD/CAE DEFORM 2D і 3D, встановлено оптимальну схему штампування;
- спроектовано відповідне штампове оснащення;
- розроблено рекомендації для подальшої механічної обробки деталі.

Об’єкт дослідження – процес виготовлення напівфабрикату гільзи методами об’ємного штампування.

Предмет дослідження – особливості зворотного видавлювання порожнистого напівфабрикату.

Методи дослідження – для вибору оптимальної схеми видавлювання були застосовані основні положення теорії обробки металів тиском та моделювання процесу штампування в програмному комплексі Deform 3D, для наступної механічної обробки було використано програмний пакет Creo Parametric.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- досліджено вплив кінцевих геометричних параметрів напівфабрикату на можливість його отримання холодним штампуванням;
- досліджено вплив швидкості деформуючого інструмента за заданих умов на градієнт температури в перерізі напівфабрикату за гарячого штампування.

Практичне значення одержаних результатів – на основі проведених досліджень обрана оптимальна схема штампування напівфабрикату, яка використана при проектуванні штампового оснащення. Розроблені рекомендації, щодо подальшої механічної обробки напівфабрикату.

Особистий внесок здобувача:

розглянуті основні способи отримання напівфабрикату методами об’ємного штампування; обрані оптимальні схеми штампування; виконане чисельне моделювання процесів об’ємного штампування та проведено аналіз отриманих результатів; запропонована технологія для подальшого отримання деталі.

Апробація. Результати роботи були представлені на X Міжнародній науково-технічній конференції «Теоретичні та практичні проблеми в обробці металів тиском і якості фахової освіти» 3 –7 червня 2019 р.

Ключові слова: *гільза, автоматичний гранатомет, видавлювання, порожнистий напівфабрикат, метод скінченних елементів, напружено-деформований стан, критерій руйнування, механічна обробка.*

ABSTRACT

The master's thesis consists of 85 pages, the text contains 54 drawings, 11 tables. In this appraisal work used 67 titles of bibliographic references.

In modern production, much attention is paid to metalworking processes that allow to intensify the process of obtaining the workpiece and increase the material utilization rate. Therefore, the optimization of the technology for producing an ammunition shell of a caliber of 40 × 53 mm through the use of stamping operations is relevant.

The purpose of the work is to determine the possible options for stamping, the choice of optimal process diagrams for the manufacture of ammunition shell automatic grenade launcher, as well as the design of the corresponding die equipment.

The following tasks were accomplished in the dissertation:

- analytical review of scientific and technical publications on the processes of extrusion of hollow semi - finished products;
- on the basis of the analysis the directions of the research are determined on the basis of the analysis;
- numerical modeling of the process of hot and cold extrusion in the CAD / CAE DEFORM 2D and 3D system is performed, the optimal stamping scheme is established;
- the corresponding die equipment is designed;
- recommendations for further machining of the part were developed.

The object of study - the process of manufacturing a semi-finished sleeve by methods of volumetric stamping.

The subject of the study is the features of back extrusion of a hollow semi-finished product.

Research Methods - To select the optimal extrusion scheme, the basic principles of the theory of metal processing and the modeling of the stamping process in the Deform 3D

software complex were applied, and the Creo Parametric software package was used for subsequent machining.

The scientific novelty of the obtained results is the following:

- influence of finite geometrical parameters of a semi-finished product on the possibility of its obtaining by cold forming is investigated;
- the influence of the speed of the deforming tool under given conditions on the temperature gradient in the section of the semi-finished product during hot stamping.

The practical significance of the obtained results - on the basis of the conducted researches the optimal scheme of stamping of the semi-finished product was selected, which was used in the design of die equipment. Recommendations for further machining of the semi-finished product have been developed.

Applicant's personal contribution:

the basic ways of receiving a semi-finished product by methods of three-dimensional punching are considered; the optimum stamping scheme is selected; numerical modeling of the processes of volumetric stamping was performed and the results obtained were analyzed; technology for further details acquisition.

Approbation. The results of the work were presented at the 10th International Scientific and Technical Conference "Theoretical and practical problems in the processing of metals by pressure and quality of professional education" June 3-7, 2019.

Keywords: shell, automatic grenade launcher, extrusion, hollow semi-finished product, finite element method, stress-strain state, fracture criterion, machining.

РЕФЕРАТ

В условиях современного производства большое внимание уделяется процессам обработки металлов давлением, которые позволяют интенсифицировать процесс получения детали и повысить коэффициент использования материала. Поэтому оптимизация технологии получения гильзы боеприпаса калибра 40 × 53 мм за счет применения штамповочных операций является актуальной.

Целью работы является установление возможных вариантов штамповки, выбор оптимальных схем процесса для изготовления гильзы боеприпаса автоматического гранатомета, а также проектирование соответствующего штамповой оснастки.

В диссертационной работе были выполнены следующие задачи:

- проведен аналитический обзор научно - технических публикаций о процессах выдавливания полых полуфабрикатов;
- на основе проведенного анализа определены основные направления исследования;
- выполнено численное моделирование процесса горячего и холодного выдавливания в системе CAD / CAE DEFORM 2D и 3D, установлена оптимальная схема штамповки;
- спроектирована соответствующая штамповая оснастка;
- разработаны рекомендации для дальнейшей механической обработки детали.

Объект исследования - процесс изготовления полуфабриката гильзы методами объемной штамповки.

Предмет исследования - особенности обратного выдавливания полого полуфабриката.

Методы исследования - для выбора оптимальной схемы выдавливания были применены основные положения теории обработки металлов давлением и моделирование процесса штамповки в программном комплексе Deform 3D, для

последующей механической обработки были использованы программный пакет Creo Parametric.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- исследовано влияние конечных геометрических параметров полуфабриката на возможность его получения холодной штамповкой;
- исследовано влияние скорости деформирующего инструмента при заданных условиях на градиент температуры в сечении полуфабриката при горячей штамповке.

Практическое значение полученных результатов - на основе проведенных исследований выбраны оптимальные схемы штамповки полуфабриката, которая использована при проектировании штамповой оснастки. Разработаны рекомендации о дальнейшей механической обработке полуфабриката.

Личный вклад соискателя:

рассмотрены основные способы получения полуфабриката методами объемной штамповки; выбрана оптимальная схема штамповки; выполнено численное моделирование процессов объемной штамповки и проведен анализ полученных результатов; предложена технология для дальнейшего получения детали.

Апробация. Результаты работы были представлены на X Международной научно-технической конференции «Теоретические и практические проблемы в обработке металлов давлением и качества профессионального образования» 3 -7 июня 2019 г.

Ключевые слова: гильза, автоматический гранатомет, выдавливание, полый полуфабрикат, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние, критерий разрушения, механическая обработка.

ЗМІСТ

ВСТУП

Актуальність. На сьогоднішній день Україна знаходиться в стані війни, тому гостро постала проблема у виготовленні великих партій боєприпасів і розширенні їх номенклатури. Технологія отримання експериментальних партії боєприпасів включає великий відсоток механічної обробки. Для скорочення часу на виготовлення великих партій боєприпасів та збільшення коефіцієнту використання матеріалу доцільне використання методів пластичного деформування.

Мета роботи – вибір оптимальної технології отримання гільзи та раціональних схем процесу штампування для виготовлення напівфабрикату, а також проектування відповідного штампового оснащення.

Задачі дослідження:

1) проаналізувати існуючі технології виготовлення порожнистих напівфабрикатів типу гільза;
2) проведення моделювання процесів штампування в програмному комплексі Deform та аналіз особливостей технологій виготовлення;
3) на основі отриманих результатів обрати оптимальну схему штампування;
4) спроектувати штампове оснащення для отримання напівфабрикату гільзи;
5) розробити рекомендації для наступної механічної обробки для виготовлення деталі.

Об’єкт дослідження – процес виготовлення напівфабрикату гільзи методами об’ємного штампування.

Предмет дослідження – особливості зворотного видавлювання порожнистого напівфабрикату.

Методи дослідження – для вибору оптимальної схеми видавлювання, були застосовані основні положення теорії обробки металів тиском та моделювання процесу штампування в програмному комплексі Deform 3D, для наступної механічної обробки було використано програмний пакет Creo Parametric.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- досліджено вплив кінцевих геометричних параметрів напівфабрикату на можливість його отримання холодним штампуванням;
- досліджено вплив швидкості деформуючого інструмента за заданих умов на градієнт температури в перерізі напівфабрикату за гарячого штампування.

Практичне значення одержаних результатів – на основі проведених досліджень обрані оптимальні схеми штампування напівфабрикату, яка використана при проектуванні штампового оснащення. Розроблені рекомендації, щодо подальшої механічної обробки напівфабрикату.

Особистий внесок здобувача:

розглянуті основні способи отримання напівфабрикату методами об'ємного штампування; обрана оптимальна схема штампування; виконане чисельне моделювання процесів об'ємного штампування та проведено аналіз отриманих результатів; запропонована технологія для подальшого отримання деталі.

Апробація. Результати роботи були представлені на X Міжнародній науково-технічній конференції «Теоретичні та практичні проблеми в обробці металів тиском і якості фахової освіти» 3 –7 червня 2019 р.

1. БОЄПРИПАС КАЛІБРУ 40х53 мм ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО ГРАНАТОМЕТУ: ПРИЗНАЧЕННЯ, КОНСТРУКЦІЯ, ПРОБЛЕМИ ВИГОТОВЛЕННЯ ГІЛЬЗИ

В даній роботі досліджується можливість виготовлення порожнистої деталі типу гільза, яка є складовою частиною боєприпасу за стандартом НАТО калібру 40 × 53 мм для автоматичного гранатомету.

На рис.1.1 представлена гільза боєприпасу уламково-фугасної дії калібру 40 × 53 мм. Гільза може застосовуватися як для боєприпасу американського автоматичного гранатомета Mark 19, так і для аналогів. Українським аналогом є автоматичний гранатомет УАГ 40. Матеріал гільзи – алюмінієвий сплав Д16Т.

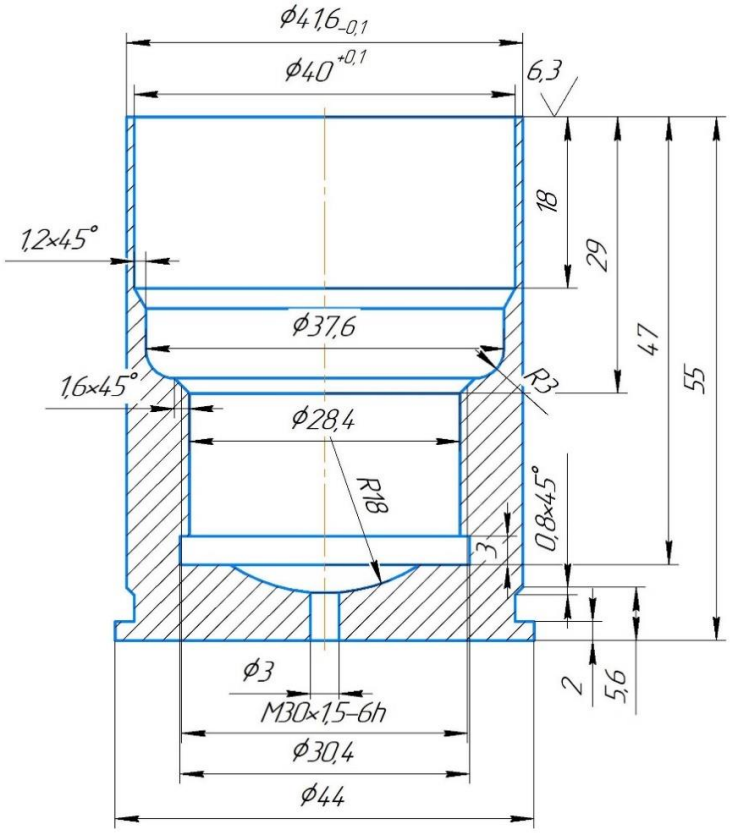


Рис.1.1. Гільза

Зазвичай гільзи виготовляють із маловуглецевих сталей, біметалів чи латуней [1]. В даному дипломному проекті розглядається отримання деталі гільза з

дуралюмину Д16, який забезпечує необхідні механічні властивості та дозволяє зменшити вагу боєприпасу.

Зазвичай подібні гільзи виготовляють із великим відсотком обробки різанням, але такий спосіб є недоцільним для серійного та масового виробництва. Як правило виготовлення боєприпасів здійснюється за допомогою складних багатоопераційних процесів (обробка металів тиском і різанням, хімічна, електрохімічна, термічна та ін.). Це необхідно для забезпечення відповідності заданим технічним вимогам геометричних, механічних, фізичних властивостей [2].

1.1. Конструкція і принцип дії автоматичного гранатомету Mark 19

Гранатомет - переносна вогнепальна зброя, призначена для ураження техніки, споруд або живої сили противника за допомогою гранатометного пострілу (гранати) [3]. Загальна класифікація гранатометів представлена на рис 1.2 [4].

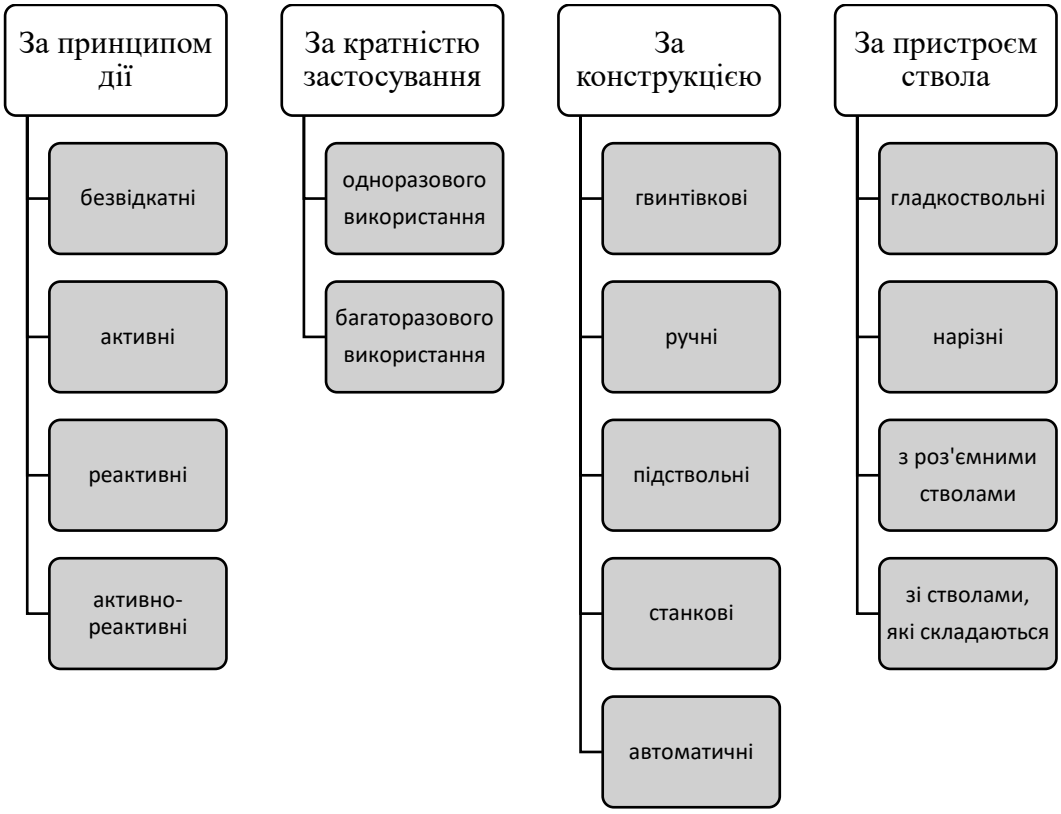


Рис.1.2. Класифікація гранатометів

Реактивний гранатомет - безвідкатний гранатомет, призначений для ведення вогню гранатою, що досягає максимальної швидкості на траєкторії за рахунок реактивної тяги двигуна [4].

Активно-реактивний гранатомет, призначений для ведення вогню, при якому стартова швидкість реактивної гранати повідомляється за рахунок початкового заряду [4].

Гвинтівкові – призначені для з'єднання із стволом гвинтівки або автомата, постріл реалізується за рахунок енергії бойового або холостого патрона. Ефективна дальність стрільби - 100 метрів [4].

Ручні - призначені для ведення вогню з плеча, складаються зі ствола, прицілу і ударно-спускового механізму. Ефективна дальність стрільби - 500 метрів [4].

Підствольні – портативні пристрої, що з'єднуються з автоматом або гвинтівкою. Ефективна дальність стрільби - 400 метрів [4].

Станкові - призначені для стрільби з верстата, складаються з ствола, ударно - спускового механізму і верстата. Ефективна дальність стрільби - 1000 метрів [4].

Автоматичні станкові - призначені для ведення вогню з верстата або із турельної установки на військовій техніці. Мають стрічкову подачу боєприпасів, стрільба ведеться унітарними пострілами. Ефективна дальність стрільби до 2000 метрів [4].

Автоматичні гранатомети займають особливе місце в ряду сучасної зброї ближнього бою. Застосування осколкових боєприпасів дозволяє значно збільшити вражаючу ефективність автоматичних гранатометів в порівнянні зі звичайним стрілецьким озброєнням. Гранатометне озброєння має маневреність, можливість перевезення транспортом, доволі ефективно в умовах бою. По відношенню до підствольних гранатометів забезпечується більша щільність вогню на значних площах, з високим темпом розривів боєприпасів, черги створюють на позиції

противника деморалізуючий ефект. В табл. 1.1 наведена порівняльна характеристика автоматичних гранатометів калібру 40 × 53 мм.

Таблиця 1.1. Автоматичні гранатомети калібру 40 × 53 мм.

Назва	Mk.19 Striker	HK GMG	SB LAG 40	УАГ-40
Країна виробник	США	Німеччина	Іспанія	Україна
Зовнішній вигляд				
Скорострільність, пострілів/хв	225-300	340	215	400
Початкова швидкість пострілу, м/с	240	245	242	240
Дальність стрільби, м	2200	2200	2200	2200

Mk 19 (Mark 19) - американський автоматичний гранатомет із стрічковим живленням (рис.1.3). Основні характеристики:

- калібр: 40х53мм;
- тип: автоматичний гранатомет із стрічковим живленням;
- довжина: 1095 мм;
- вага: 35,3 кг тіло гранатомета та 20 кг станок-тринога М3 або 9.1 кг полегшений верстат;
- ефективна дальність стрільби: до 1500 м по точковим цілям, 2200 м максимальна;
- темп стрільби: 300 - 400 пострілів в хвилину.

Рис.1.3. Автоматичний гранатомет Mk 19

Автоматичний гранатомет Mk.19 сконструйований за принципом автоматики з вільним затвором; вогонь ведеться з відкритого затвора. Наколювання капсуля запальника відбувається при накаті затвора. Живлення боєприпасами здійснюється зі спеціальної розсипної стрічки з металевою ланкою. Гранатомет допускає ведення вогню одиночними пострілами і чергами. Органи керування включають в себе здвоєні рукоятки управління вогнем в задній частині ствольної коробки, зі спусковою клавішею між ними. Рукоятки зведення затвора розташовані на обох сторонах зброї. Гранатомет встановлюється на піхотний верстат-триногу М3 або на різні турельні установки на бойовій техніці. Передбачена можливість установки електроспуску для дистанційного керування вогнем. Штатні прицільні пристрої відкриті, кулеметного типу. Можлива установка оптичних або нічних прицілів [5].

1.2. Гранатометний постріл калібру 40 × 53 мм

Загальна класифікація гранатометних пострілів наведена на рис.1.4.

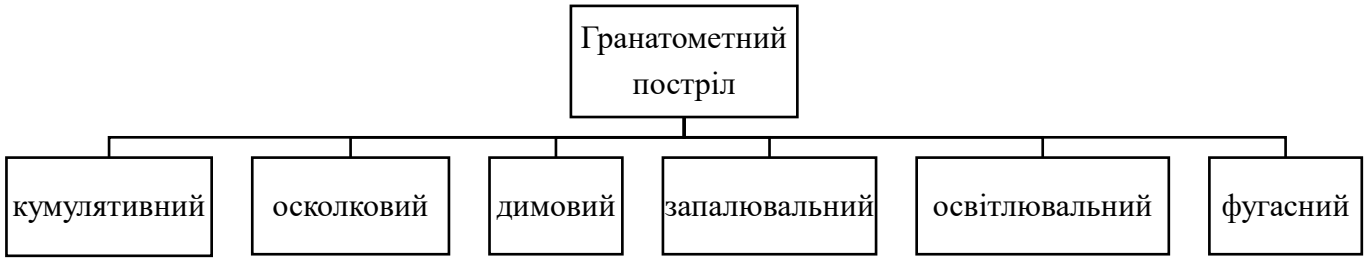


Рис.1.4. Класифікація гранатометних пострілів

У боєкомплект гранатометів можуть входити:

- кумулятивні боєприпаси - призначені для знищення бронетехніки і споруд шляхом створення вузько направленого струменя продуктів вибуху з високою пробивною здатністю: під час вибуху з матеріалу облицювання спеціальної виїмки у вибуховій речовині формується тонкий кумулятивний струмінь, що знаходиться в стані надпластичності, спрямований уздовж осі виїмки. При зустрічі з перешкодою струмінь створює великий тиск і пробиває броню [6];
- уламковий снаряд - снаряд уламкової дії, призначений для ураження живої сили і легкоброньованої техніки [7];
- димовий снаряд – снаряд спеціального призначення, перешкоджаючої дії, призначений для створення димових завіс, пристрілювання і сигналізації [7];
- запальний снаряд - снаряд запальної дії, призначений для створення вогнищ пожежі [7];
- освітлювальний снаряд - снаряд освітлювального дії, призначений для освітлення місцевості в районі цілі [7];
- фугасний снаряд - це боєприпас, який містить велику кількість вибухової речовини, яка при детонації вивільняє енергію і утворює вибухову хвилю, поєднану з високою температурою. Цей тип снаряда має металеву оболонку з тонкими стінками. У момент підриву вона перетворюється у безліч вражаючих елементів, що спричиняє додатковий вплив на об'єкти [8].

Калібр 40 × 53 мм - типорозмір американських унітарних пострілів до автоматичних гранатометних систем, в подальшому затверджений як стандарт боєприпасів до автоматичних гранатометів країн НАТО [9]. Початкова швидкість пострілів 40 × 53 мм понад 240 м/с. Дальність ефективної стрільби - 2000 м. Основними представниками гранатометних пострілів калібру 40 × 53 мм є [10]:

- уламково-фугасний постріл, що формує уламки за рахунок дроблення корпусу гранати або забезпечена готовими уламками, радіус ураження 5-10 м;
- кумулятивно-уламково-фугасний постріл, що забезпечує бронепроникність 40-76 мм при куті зустрічі з перешкодою 0° від нормалі, радіус ураження уламками до 5 м;
- постріл з димоутворювальним і запальним зарядом;
- постріл з освітлювальним складом (червоного, зеленого і білого кольору), висота підйому пострілу - 180 м;
- постріл з димоутворювальною сумішшю червоного, зеленого і жовтого кольорів.

Для стрільби застосовують унітарні боєприпаси стандарту НАТО (рис.1.5):

- осколкові з індексом M383 або M384;
- багатоцільові (фугасні або кумулятивні) M430 або M430 A1;
- навчальні M385, M385 E4 або M918;
- холості M922 або M922 A1.

Універсальний гранатометний постріл M384 HEDP уламково-фугасної дії зображений на рис.1.6. Бронебійність боєприпасу M384 досягає 50 мм сталевої броні, радіус зони суцільного ураження готовими осколковими елементами - 5 метрів.

Рис.1.5. Постріли для автоматичного гранатомету Mk.19

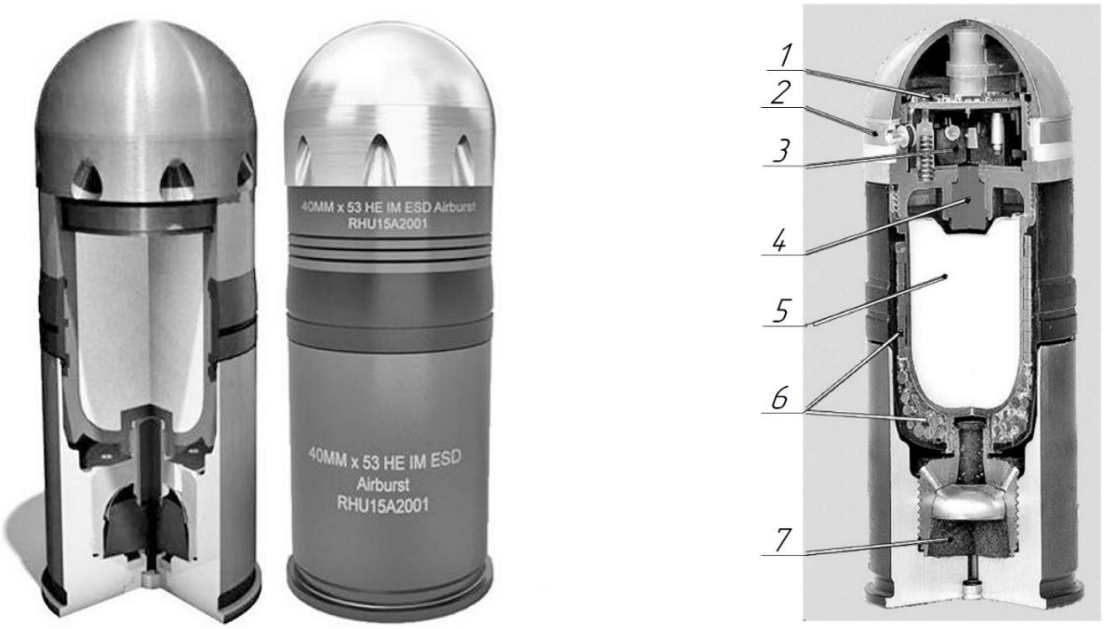


Рис.1.6.Постріл М484:
1 – електроніка, 2 – рамочна антена, 3 – запобіжно - виконавчий механізм з електродетонатором, 4 – детонатор, 5 – вибухова речовина, 6 – попередньо фрагментований корпус з готовими вражаючими елементами (уламковий заряд), 7 – вишибний заряд

Постріл являє собою боєприпас уламково-фугасної дії із внутрішнім рельєфним сталевим корпусом снаряда, який включає заряд вибухової речовини Comp A5. Запобіжник PBXN5 - невід'ємна частина детонації і включає заряд додаткового викидаючого детонатору, який вгвинчений в заряджене тіло і утворює повний снаряд. Гільза являє собою порожнистий дуралюмінієвий циліндр в якому

розміщується уламковий заряд. Капсюль-запальник вміщує вишибний заряд і вгвинчується в гільзу [11].

1.3. Особливості матеріалу Д16

До вихідних матеріалів при проектуванні гільз висовуються три групи вимог: економічні, технологічні та експлуатаційні. У зв'язку з економічними вимогами матеріал не повинен бути дорогим. Технологічні вимоги визначають здатність матеріалу до пластичної деформації, наявність достатньо високої міцності і пружності для попередження та уникнення появи тріщин, сколів, відривів матеріалу й інших дефектів, можливість простої термічної обробки, яка забезпечить необхідні механічні властивості та якість виробу [12]. Експлуатаційні вимоги, головним чином, відносяться до механічних властивостей матеріалу виробу, який повинен бути: міцним, що дозволить використовувати гільзи повторно; високо пластичним – при пострілі пластичний матеріал забезпечить достатню деформацію при русі по нарізах ствола, гільза буде щільно замикати камору ствола, що усуне потрапляння порохових газів у казенну частину. Також матеріал повинен бути пружнім для вилучення відпрацьованої гільзи та не повинен втрачати набутих механічних властивостей внаслідок тривалого зберігання, повинен протидіяти корозії та не вступати в хімічні реакції з бойовим зарядом. Разом з тим матеріал повинен забезпечувати якомога меншу вагу боєприпасу [2].

В табл. 1.2 наведений порівняльний аналіз густини та механічних властивостей різних матеріалів гільз [13]. Від густини матеріалу залежить загальна маса пострілу та сумарна маса стрічки боєприпасів. Боєприпас з дуралюміну Д16 має меншу масу при таких же показниках міцності, на відміну від сталевих і біметалевих гільз.

Таблиця 1.2. Порівняння густини та механічних властивостей матеріалів гільз.

Матеріал	Л70	18ЮА	Д16
Густина кг / м^3	8500	7860	2780
Межа міцності σ_B, МПа	430	490	450

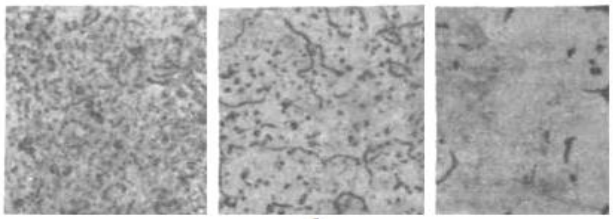
Густина алюмінієвих сплавів незначно відрізняється від густини чистого алюмінію, а легування мало впливає на величину модуля зсуву і модуля пружності. Однак, за рахунок того, що межа текучості сплавів в кілька разів перевищує межу текучості чистого алюмінію, дуралюміни можуть використовуватися в якості конструкційного матеріалу з різним рівнем навантажень (в залежності від марки сплаву і його стану). За рахунок невеликої густини питомі значення межі міцності, модуля пружності і межі текучості для міцних алюмінієвих сплавів можна порівняти з відповідними значеннями питомих величин для титанових сплавів і сталі [14].

Напівфабрикати зі сплаву Д16 зміцнюються шляхом спеціальної термообробки, яка полягає в загартовуванні з певною температурою і наступною витримкою протягом деякого часу при певній температурі (старіння). При цьому відбувається зміна структури сплаву, збільшується міцність та твердість. Існує кілька варіантів термообробки. Найбільш поширені такі стани поставки термозміцнених сплавів, що відображаються у маркуванні прокату [15]:

- не має позначення - після пресування або гарячої прокатки без термообробки;
- М – відпалений;
- Т - загартований і природно зістарений (на максимальну міцність);
- Т1 - загартований і штучно зістарений (на максимальну міцність)

З алюмінію і його сплавів виробляються всі види прокату - листи, стрічки, прутки, труби, дріт. Важливим фактором є те, що для багатьох алюмінієвих сплавів, які зміцнюються термічною обробкою присутній "прес-ефект"- механічні властивості пресованих виробів вище, ніж у гарячекатаних [16].

Як було зазначено раніше, сплав Д16 відноситься до матеріалів, які зміцнюються термічною обробкою - загартуванням і старінням при цьому обов'язковою умовою є контроль рівномірності температури у всьому об'ємі, що нагрівається. Час витримки при температурі загартування залежить від типу напівфабрикату, хімічного складу сплаву і товщини перетину. Зазвичай, для гартування сплав Д16 нагрівають до 490-503°С [17]. При нагріванні до більш високих температур виникає перепал, тобто метал по границях зерен окислюється і частково розплавляється, що різко знижує міцність і пластичність. Відомо, що чим вище температура нагріву під загартування, тим швидше протікає процес розчинення легуючих елементів, а також досягається їх рівномірний розподіл у сплаві, що сприяє підвищенню механічних властивостей напівфабрикатів [18]. Мікроструктура сплаву Д16 наведена на рис.1.7.



а) б) в)

Рис.1.7. Мікроструктура алюмінієвого сплаву Д16:
а – відпалений стан, б – загартований стан, в – перепалений стан при загартуванні

При загартуванні дюралюмінієвих сплавів важливо забезпечити високу швидкість охолодження, тому охолодження проводять в холодній воді, температуру води при загартуванні слід підтримувати в інтервалі 25-40°С для запобігання виникнення гартівних тріщин і зменшення викривлення. Тому на практиці доводиться брати до уваги реальність уповільненого охолодження внутрішніх шарів масивних виробів при інтенсивному охолодженні їх поверхні холодною водою, а також з необхідністю спеціального зниження швидкості охолодження для запобігання виникнення залишкових напружень та викривлення деталей [19].

Природне старіння найбільш інтенсивно протікає протягом 4-5 діб після гартування, при цьому змінюються геометричні параметри, внаслідок розчинення фаз, що містять мідь, яка зменшує параметр решітки алюмінію. При зниженні температури старіння гальмується, а при підвищенні, навпаки, збільшується швидкість процесу, але знижується опір корозії та пластичність. Сплави типу дуралюмину інтенсивно зміцнюються при природному старінні за рахунок утворення зон Гиньє – Престона [20]. На відміну від проміжних фаз, що характеризуються власною решіткою, зона Гиньє – Престона має ту ж саму кристалічну градку, що і матричний розчин, тільки вона деформована через відмінності в атомних діаметрах розчинної і розчинника.

В табл.1.3 наведені режими термічної обробки сплаву Д16 [21, 22]

Таблиця 1.3. Режими термічної обробки сплаву Д16.

Сплав	Температура нагрівання під загартування, ° С	Старіння	
		Температура, ° С	Час, год
Д16	495-505 (листи)	20	>96
		188-193	11-13
	485-503 (пресові вироби)	20	>96
		185-195	6-8

На рис. 1.8 наведені криві, які показують, як змінюється твердість сплавів Al - Cu в залежності від вмісту міді [23]. Хімічний склад Д16 представлений в табл.1.4 [15]. Ефект старіння, тобто різниця в твердості між загартованим і зістареними станами, поступово зростає зі збільшенням вмісту міді; сплав з 2% Cu і менше практично не старіє, так як пересичення ще недостатньо, щоб викликати істотну зміну властивостей. Максимальне зміцнення при старінні відзначається при вмісті 6% Cu. Оскільки корозійні властивості сплаву Д16 в природньо зістареному стані вище, ніж в штучно, рекомендується застосовувати режими різання при яких

нагрівання сплаву не перевищувало б 100°С [24]. Напівфабрикати піддають штучному старінню, якщо вони експлуатуються при підвищених температурах, в цьому випадку застосовують наступний режим термообробки: нагрів до 170-190° з витримкою при цих температурах протягом 6-12 годин [25].

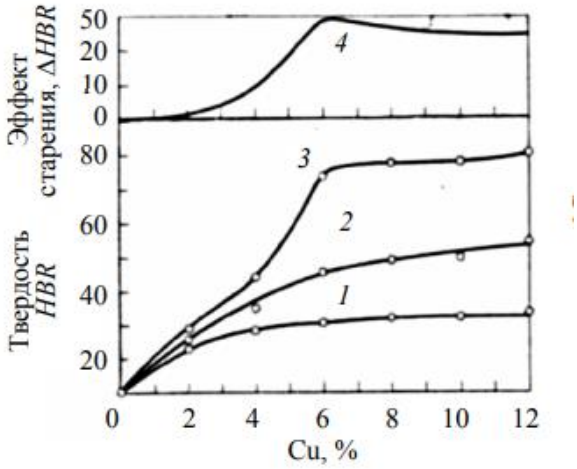


Рис.1.8. Вплив вмісту міді на твердість сплаву Д16 в трьох станах:
1 – відпалений, 2 – після загартування, 3 – після зістарення на максимальну міцність, 4 – різниця твердості в загартованому і зістареному станах

Таблиця 1.4. Хімічний склад дуралюмину Д16 у %.

Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Al	Cu	Mg	Zn	Домішки
До 0,5	До 0,5	0,3-0,9	До 0,1	До 0,15	90,9-94,7	3,8-4,9	1,2-1,8	До 0,25	0,15

Примітка: Al – основа, його відсотковий вміст даний приблизно

Для напівфабрикатів із сплаву Д16 приймають температуру відпалу 350-450°С, що забезпечить матеріалу достатню пластичність, при цьому охолодження рекомендується вести ступінчасто: спочатку зниження температури до 250-270°С зі швидкістю 10-30°С на год, після охолодження на повітрі. Підвищення рівня нагартовування сприяє зниженню пластичності [26]. Для зняття внутрішніх напружень, підвищення пластичності і зниження міцності сплав Д16 піддають відпалу по скороченому режиму: нагрів до 350-370° протягом 2-4 годин,

охолодження на повітрі, такий режим застосовується для холодної обробки тиском із середніми ступенями деформації.

Чим значніше ступінь деформації після загартування, тим менше вірогідність існування нездеформованих блоків або зерен, в яких процес зістарення може протікати без порушень [27]. В процесі штучного зістарення з великим ступенем деформації може відбуватися часткове зняття напружень (наклепу) внаслідок часткового розпаду твердого розчина, тому нагартовування сплаву Д16 при температурах 130-150°С протягом 10-20 годин, обумовлює достатньо високі механічні властивості, які дозволяють використовувати ці матеріали при температурах до 250°С. Вплив температури на границю міцності прутків зі сплаву Д16 наведений в табл. 1. 5.

Таблиця. 1.5. Вплив температури на границю міцності прутків зі сплаву Д16.

Марка сплаву	Витримка, год	Межа міцності, кг/мм^2, при температурах, °С						
		20	100	150	200	250	300	350
Д16	2	52	52	48	43	25	18	12
	100	52,5	53,5	45	27	21	13	9

Режими термічної обробки дюралюмінієвого сплаву Д16 зазначені в табл.1.6. Вплив температури на зміну механічних властивостей сплаву Д16 наведений в табл.1.7. Ефект нагартовування при температурі 200°С суттєво знижується. Зістарення при температурах до 40°С не впливає на механічні властивості нагартованих листів зі сплаву Д16. При підвищенні температури до 100°С спостерігається незначне зниження межі текучості і підвищення пластичності, тоді як межа міцності практично не змінюється. При подальшому підвищенні температури до 150°С підвищується пластичність і майже не змінюється границя

міцності нагартованого матеріалу. Зниження міцності і значне підвищення пластичності нагартованих штучно зістарених листів (до 150°С), обумовлюється поверненням (відпочинком). Нагрів нагартованого матеріалу в інтервалі температур 150-180°С призводить до сильного зміцнення і зниження пластичності, тоді як при 190-200°С одночасно знижує міцність і пластичність. Використання нагартовування до 30% перевищує межу міцності листів із сплаву Д16 при 100°С на 10-15%, а при 150°С на 13-18% [28], [29].

Таблиця. 1.6. Режими термічної обробки дюралюмінієвого сплаву Д16.

Сплав	Відпал		Загартування		Зістарення		Механічні властивості	
Д16	Т, °С	середовище	Т, °С	охолодження	Т, °С	Час витримки, год	σ_B кг/мм^2	δ %
	340 - 370	повітря	495-505	-	15-40	96	46-52	18-10

Таблиця 1.7. Температурний вплив на механічні властивості сплаву Д16.

Темература °С	Час витримки год	Д16		
		σ_B кг/мм^2	σ_s кг/мм^2	δ %
20	-	43-45	28-30	45-48
100	0,5 100	40,8 40,7	27,6 -	18,6 19,2
150	0,5 100	37,5 37,5	26,5 28,5	23,0 17,2
200	0,5 100	32,5 27,8	24,2 -	16,7 12,8

Для захисту листових алюмінієвих сплавів від корозії напівфабрикати плакують – наносять на поверхню тонкий шар іншого металу або сплаву термомеханічним способом. Товщина цього шару складає від 1,5 до 10% від загальної товщини матеріалу [30, 31].

1.4. Варіанти технологій виготовлення порожнистих виробів

Зазвичай, напівфабрикати з порожнинами типу гільза отримують холодним або гарячим видавлюванням, комбінованим видавлюванням або витягуванням з наступною механічною обробкою [32]. Також гільзи можна отримувати без використання формозмінних операцій - обробкою із зняттям стружки. Обробка різанням є недоцільною для серійного або масового виробництва та характеризується малим коефіцієнтом використання матеріалу (20-30%), що є економічно не вигідним. Тому головним методом формозміни є пластичне деформування, яке реалізується способами холодного і гарячого штампування. Це сприяє пропрацюванню структури металу, при цьому коефіцієнт використання матеріалу збільшується до 60-70 %.

1.4.1. Холодне об’ємне штампування

У виробництві боєприпасів широкого застосування набули методи холодного штампування завдяки перевагам [2]:

- можливість виготовлення складних елементів металоконструкцій з підвищеною міцністю і жорсткістю;
- великий коефіцієнт використання матеріалу;
- отримання якісних і економічно доцільних деталей з низькою трудомісткістю і собівартістю;
- достатньо висока продуктивність процесів;
- взаємозамінність штампованих деталей і деталей штампів;

- можливість автоматизувати і механізувати технологічні процеси.

В процесі виготовлення гільз широко використовують видавлювання. Видавлювання напівфабрикатів з порожниною може бути представлено у вигляді умовно простих і комбінованих процесів, крім того, на основі видавлювання можуть бути сформовані комбіновані процеси при суміщенні з процесами, що відносяться до листового штампування (витяжка-видавлювання) [2]. Різновиди способів (рис.1.9) процесів видавлювання розділяють по виду вихідних напівфабрикатів, типу технологічного середовища, що передає тиск на заготовку, по схемі застосування основних і додаткових сил, напрямку течії металу щодо інструменту, виду руху заготовки та інструменту, умов деформації (температури, швидкості процесу, характеру навантаження, умов контактного тертя), типу технологічного оснащення та обладнання [2].

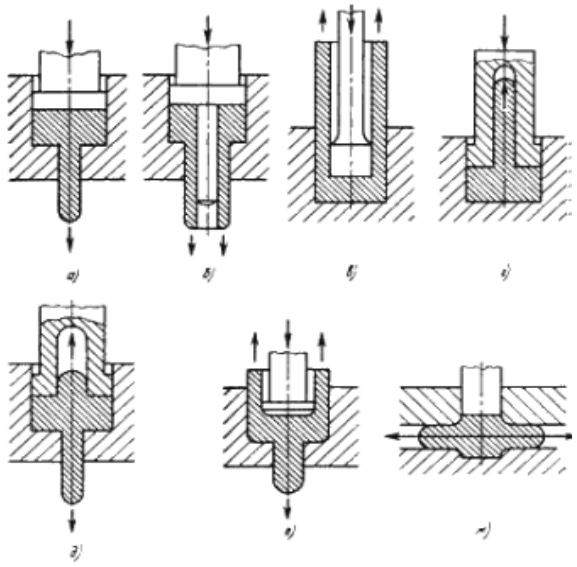


Рис.1.9. Схеми видавлювання:
а,б – пряме; в, г – зворотнє; д, е – комбіноване; ж – бокове

Процеси холодного видавлювання характеризуються значною величиною гідростатичного тиску. Це є наслідком деформування заготовки в майже замкнутому просторі. Із зростанням гідростатичного тиску пластичність матеріалу підвішується,

зменшується опір деформації, що і визначає основні особливості процесу: значну величину допустимої деформації (за умовами міцності заготовки); значну величину загальної і питомої сили деформування (за умовами міцності робочого інструмента) [2]. Через ці особливості випливають основні переваги та недоліки процесу видавлювання:

- економічне використання матеріалу при вихідних заготовках із прутка;
- можливість формозміни за малу кількість операцій;
- висока продуктивність;
- значне зміцнення матеріалу деталей;
- підвищена якість деталей.

Недоліки:

- важкі умови роботи інструмента, в наслідок високих технологічних навантажень та тертя на контактних поверхнях;
- високе питоме зусилля на інструменті.

Слід зазначити, що внаслідок підвищених навантажень і значних сил тертя на контактних поверхнях створюють важкі умови роботи інструменту. У процесах холодного об’ємного штампування виникає схема всебічного нерівномірного стиску по всьому об'єму пластичної деформації при значній величині стискаючих напружень, в 2-3 рази перевищують межу текучості вихідного матеріалу заготовки, які призводять до створення значних за величиною питомих напружень, які сягають 2800 МПа і більше. Цим явищем обумовлені виняткові технологічні вимоги до вихідного матеріалу, що використовується для процесів холодного об’ємного штампування, до матеріалів і конструкції робочого інструмента і штампів, до підготовки заготовок і напівфабрикатів, до схем видавлювання і пресів[2].

На рис.1.10 представлено графік впливу значення питомих напружень на стійкість штампового оснащення при холодному об’ємному штампуванні. Для

масового виробництва значення питомих напружень на інструменті повинно бути якомога меншим. Великі напруження призводять до зниження стійкості штампового оснащення або до його виходу з ладу, що в свою чергу вимагає використання більш дорогих марок матеріалів та впливає на вартість готового виробу [1, 2].

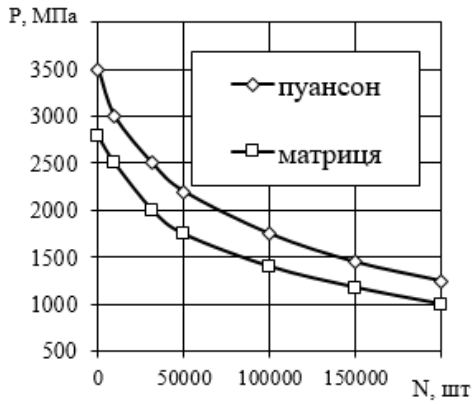


Рис. 1.10. Вплив значення питомих напружень на стійкість інструмента

Вихідні заготовки для гільзового виробництва зазвичай отримують з прокату або прутка. З прокату вирубують круглі або квадратні, прямокутні, шестигранні заготовки, які потім обтискуються і штампуються. Можливо застосування прямого видавлювання - безвідходного методу отримання заготовок. Використання квадратних, прямокутних або шестигранних заготовок заощаджує матеріал при розкроюванні прокату і є економічно вигідним у виробництві, незважаючи на те, що вимагає введення в технологічний процес додаткових операцій або більш потужного устаткування. Структура заготовки повинна забезпечувати необхідну якість готового виробу. Розміри заготовки розраховують, згідно з заданим обсягом випуску готової продукції і з умов отримання необхідних механічних якостей донної частини і геометрії виробу. При виборі форми і розміру заготовки для холодного видавлювання керуються такими міркуваннями[32]:

- мінімальне число технологічних операцій, як формозмінних, так і термообробки;

- геометрія заготовки повинна забезпечити найкращу умову відокремлення заготовки;
- заготовка повинна забезпечити мінімальне навантаження на інструменті;
- геометрія заготовки повинна забезпечувати максимально можливий коефіцієнт використання матеріалу;
- заготовка повинна забезпечити найкращі умови механізації і автоматизації подачі в штамп.

1.4.2. Гаряче об’ємне штампування

Гаряче об’ємне штампування дозволяє виготовляти викови досить складної форми, практично з тими ж коефіцієнтами використання матеріалу, як і при холодному об’ємному штампуванні. Порожнистий виков можна отримати гарячим видавлюванням у відкритих або закритих штампах. Зазвичай, процес гарячого об’ємного штампування складається з підготовчих операцій (розроблення матеріалу, нагрівання заготовок, осадження), безпосереднього штампування та завершальних операцій (обрізання облою, видалення окалини) (рис.1.11) [33].

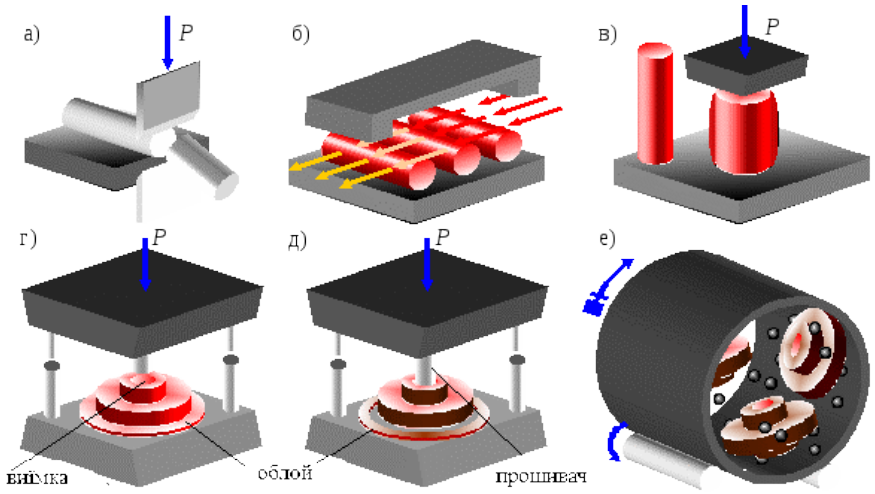


Рис.1.11. Послідовність технологічного процесу гарячого об’ємного штампування: а) відрізання заготовки на прес-ножицях, б) нагрівання заготовок, в) осадження заготовок, г) штампування у відкритому штампі, д) прошивання отвору і обрізування облою, е) очищення поверхні викову від окалини

Схема штампування гарячим зворотнім видавлюванням повторює схему для холодного штампування (рис.1.10 в). Виков формується видавлюванням металу з порожнини штампу в зворотному напрямку робочого хода. Цей спосіб має переваги безоблойного штампування: універсальність, можливість отримання точного викову з неточної заготовки, високоефективність отримання порожнистих виковів, але процес потребує введення додаткових операцій (збиття окалини, обрізування облою) та не дасть високої точності, як при холодному видавлюванні [33].

1.4.3. Листове штампування

Якщо товщина стінок напівфабрикату незначна застосовують операції холодного листового штампування, такі як: вирубування контуру заготовки та витягування ковпачка (рис.1.12). Кількість переходів витягування з потоншенням залежить від товщини вихідного матеріалу та товщини стінок, зазвичай, не перевищує 3-4 переходи. Як правило, витягування з потоншенням проводять з проміжними відпалами, які супроводжують операції травлення і промивки.

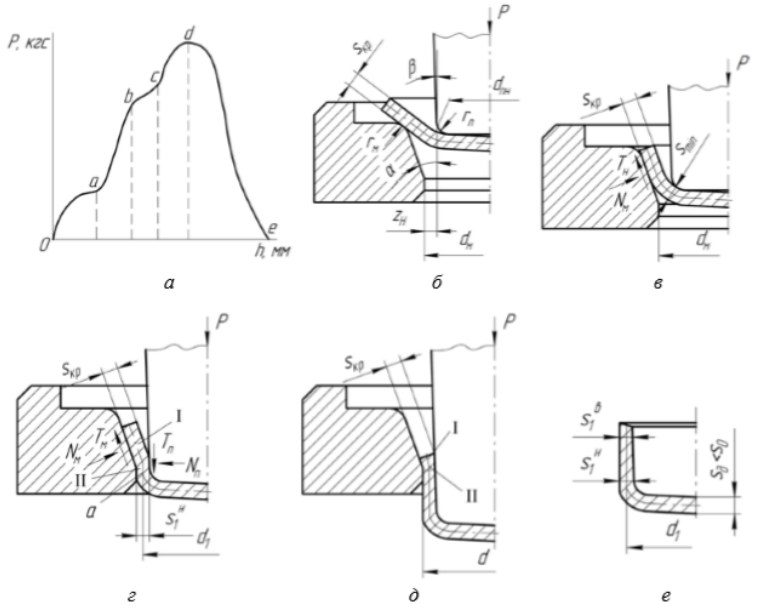


Рис.1.12.Технологічна схема процесу витягування: а – схема діаграми «зусилля - шлях» деформуючого інструменту P-h, б-д – стадії процесу, е – ескіз готової деталі

Можливість отримання напівфабрикату за один перехід визначається ступенем деформації або коефіцієнтом потоншення[1, 32]. Для напівфабрикатів малого діаметра використовують ступінь деформації:

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \leq [\psi], \tag{1.1}$$

де: F_0 – площа поперечного перерізу до деформування;

F_1 – площа поперечного перерізу після деформування;

$[\psi]$ – допустимий ступінь деформування

Якщо напівфабрикат великого діаметра використовують коефіцієнт потоншення:

$$m_s = \frac{S_{\text{ст.д}}}{S_{\text{ст.зг}}} \geq [m_s], \tag{1.2}$$

де: $S_{\text{ст.д}}$ – товщина стінки деталі;

$S_{\text{ст.зг}}$ – товщина стінки заготовки;

$[m_s]$ – допустимий коефіцієнт потоншення

Коефіцієнт потоншення залежить від матеріалу і кількості матриць через які буде протягуватися матеріал, із збільшенням кількості матриць коефіцієнт потоншення збільшується. Витягування ведеться в конусну матрицю, конусним пуансоном, це забезпечить краще знімання напівфабрикату з пуансона [1].

Також процес витягування може вестися в декілька матриць. Цю технологію застосовують для зменшення кількості витяжних операцій, набуття високих ступенів деформації, а також для покрашення геометрії отриманих деталей: зменшення різностінності і кривизни. Витягування через декілька матриць може проводитися за схемами послідовного або одночасного витягування [1].

1.4.4. Комбіновані процеси

Комбіновані процеси характеризуються довільною течією матеріалу в два чи більше канали одночасно. Складний характер перебігу матеріалу в таких процесах вносить додаткові труднощі в технологічні розрахунки силових та кінематичних параметрів видавлювання. Важливою особливістю цих процесів є можливість збільшення допустимих ступенів деформації для даних процесів. Приклад технологічних схем процесів об`ємного-листового штампування наведений на рис.1.13 [2].

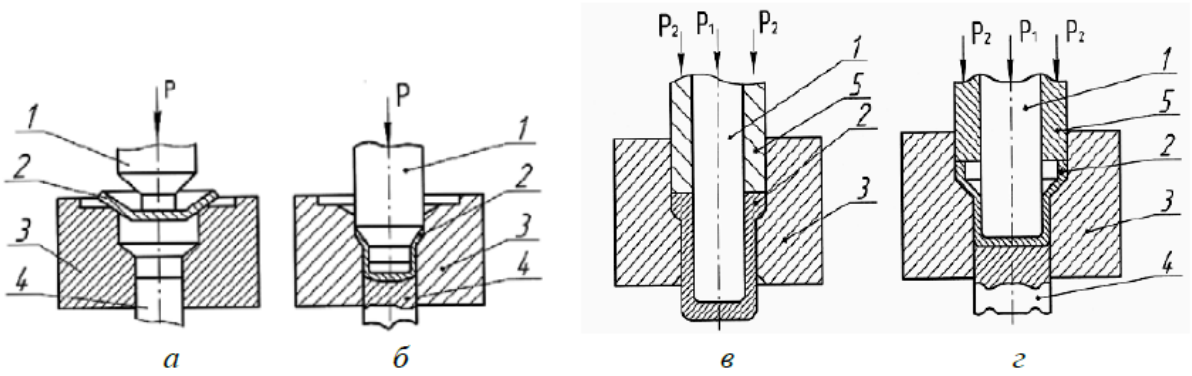


Рис.1.13. Технологічні схеми процесів об`ємного-листового штампування:
а, б – витяжка–витискування; в –витягування з потоншенням–редукування;
г – витяжка з висаджуванням кромки; 1 – пуансон; 2 – заготовка;
3 – матриця; 4 – виштовхувач; 5 – підпор

Для формоутворення із суцільної заготовки ковпачка можливе ефективне використання комбінованого видавлювання з послідовною течією матеріалу відразу в поперечному напрямку в кільцевий зазор, а потім в поздовжньому напрямку з утворенням ковпачка [2]. На рис.1.14 представлене комбіноване двостороннє поздовжнє видавлювання із стінки порожнистої заготовки з донною частиною в двох протилежних напрямках з формуванням ступінчатого стаканчика. У стінці заготовки водночас формуються дві зони пластичної деформації: на верхньому вільному торці

метал витісняється в кільцевий зазор назовні, а на нижньому - по схемі поздовжнього видавлювання всередину [2].

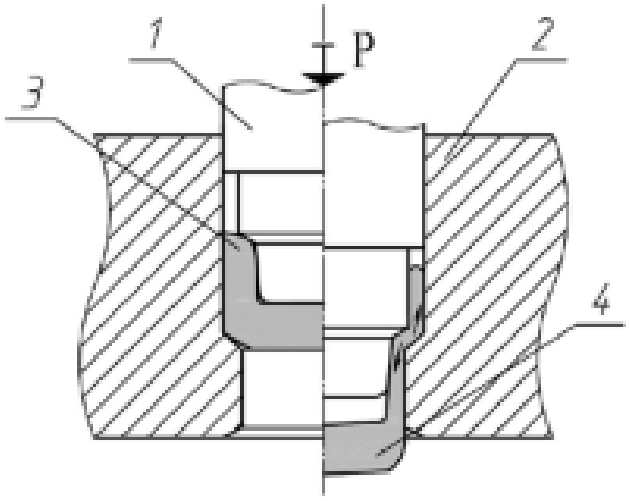


Рис.1.14. Схема комбінованого двостороннього повздовжнього видавлювання ступінчастої деталі із донної частиною: 1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – заготовка; 4 – напівфабрикат

Комбіновані процеси видавлювання порожнистих виробів можуть конкурувати з процесом витяжки тільки за умови витягування неглибоких ковпачків з товстою стінкою із відносно низьких заготовок. Також методи комбінованого видавлювання складні для проектування і розрахунку та неефективні для отримання високих виробів [2].

Враховуючи старіння сплаву Д16 отримати кінцеві розміри напівфабрикату методами обробки металів тиском є неможливим, оскільки при природному зістарені Д16 зміняться геометричні параметри напівфабрикату (викривлення), внаслідок розчинення фаз, що містять мідь, яка зменшує параметр решітки алюмінію [34]. Тому необхідно ввести припуск на додаткову механічну обробку, яка забезпечить кінцеві розміри деталі.

1.5. Використання спеціальних інженерних комплексів для моделювання процесів обробки металів тиском

При оптимізації і проектуванні технологічних процесів безпосередньо за комп'ютером, а не в ході експериментів на виробництві використовуються спеціальні програмні пакети, завдяки цьому істотно скорочується час розроблення технологічного процесу, терміни випуску продукції, підвищується її якість і знижується собівартість. Для моделювання використовуються сучасні програмні кінцево-елементні програмні продукти QForm [35] і DeForm [36], призначені безпосередньо для вирішення завдань обробки металів тиском і універсальний кінцево-елементний пакет LS-DYNA [37].

Сучасний підхід до вирішення завдань обробки металів тиском реалізується за допомогою використання методу скінченних елементів (МСЕ) [38, 39]. МСЕ дозволяє досліджувати кінематику і динаміку процесів деформування у будь-якій області розрахункової моделі з урахуванням реологічних особливостей матеріалів. Рішення реальних 3D задач пластичного деформування вимагає розбиття осередку деформації на кілька десятків або сотень тисяч кінцевих елементів з автоматичною перебудовою сітки елементів на кожному кроці за часом (рис.1.15).

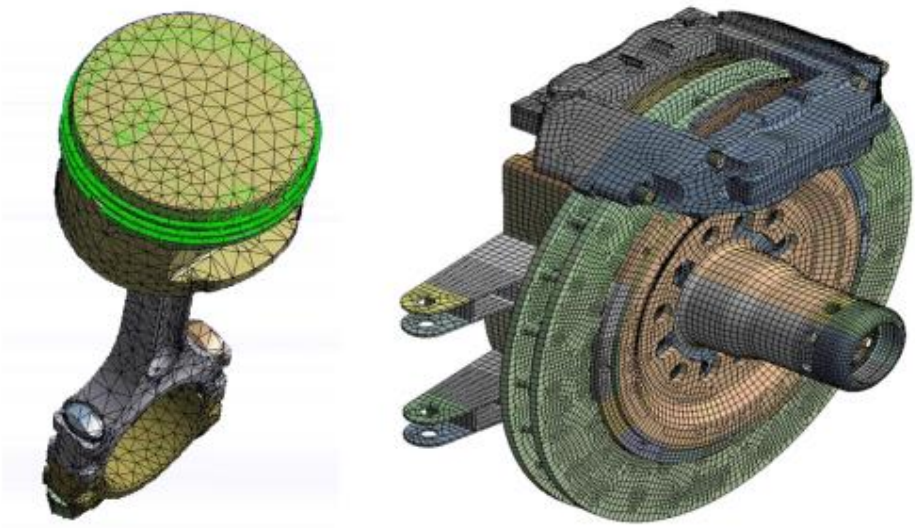


Рис.1.15. Приклад сіткових моделей

Ці програмні комплекси використовуються для розроблення багатьох технологічних процесів при аналізі операцій обробки металів тиском; представлені найпоширеніші операції у виробництві боєприпасів: кування і гаряче об'ємне штампування, холодне об'ємне штампування, прокатування (поздовжнє, поперечне, гвинтове), волочіння, пресування, прошивання, видавлювання профілів, витягування, гнуття, осадження.

Етапи розв’язання задачі методами скінченних елементів (рис.1.16).

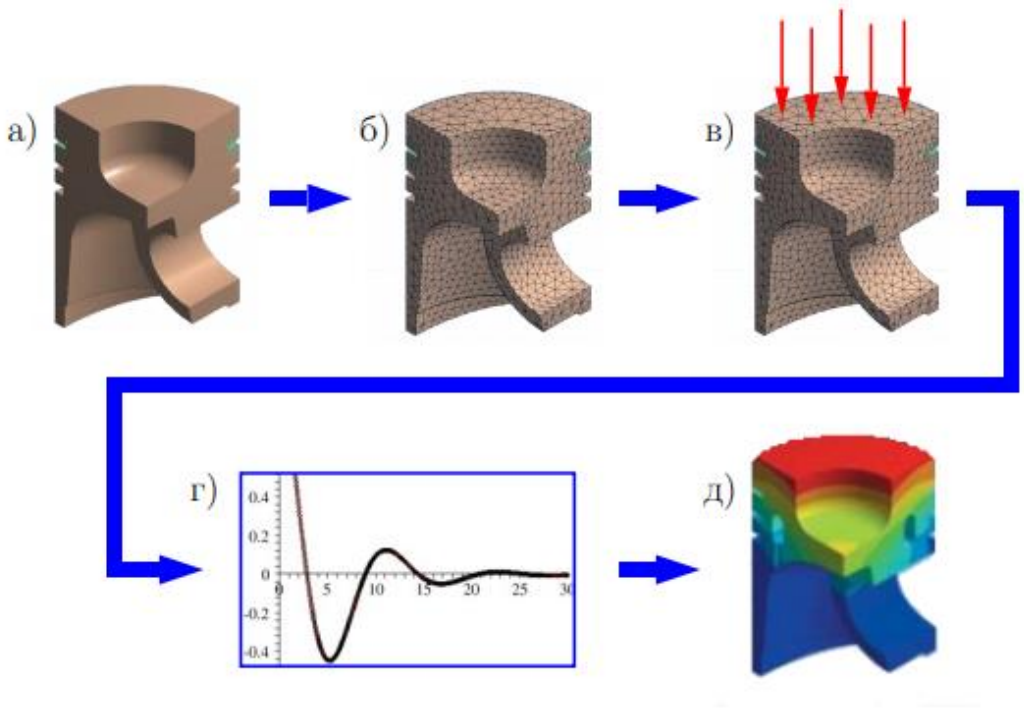


Рис.1.16. Етапи розрахунку МСЕ:

а) створення геометричної моделі досліджуваного об’єкту; б) створення сіткової моделі; в) задання початкових і граничних умов, фізичних властивостей моделі та параметрів розрахунку; г) проведення розрахунку; д) аналіз отриманих результатів

У даній роботі розглядається отримання напівфабрикатів з використанням програмного комплексу DEFORM-3D [40]. У даній галузі було проведено багато досліджень: зменшення кількості переходів витягування вісесиметричних виробів з використанням матриці спеціального профілю [41], визначення зусиль вилучення пуансона із здеформованої заготовки та виштовхування заготовки з матриці при

холодному видавлюванні порожнистих виробів з різним ступенем деформації [42], вплив геометрії робочого торця плоско-конусного пуансона на силові режими і якість виробів при холодному видавлюванні стаканів [43], вплив контактного тертя на процес зворотного видавлювання стаканів [44], визначення коефіцієнта теплопередачі для процесу гарячого штампування [45], моделювання гарячого штампування з алюмінієвого листа [46, 47], оптимізація процесу гарячого штампування з використанням багатоцільового генетичного алгоритму [48].

Висновки до розділу

Аналізуючи вищезазначене та враховуючи особливості сплаву Д16 із розглянутих процесів деформування оптимальними можуть бути об’ємне штампування в холодному або гарячому стані з наступною механічною обробкою. Використання програмного середовища Deform дозволить визначити оптимальний варіант штампування, дослідити отримання необхідної геометрії напівфабрикату, прогнозувати параметри та оптимізувати технологічний процес.

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

В даний час гільзу (рис. 1.1) отримують обробкою із зняттям стружки із Д16Т. Для визначення розмірів вихідної заготовки необхідно додати припуски на механічну обробку [32]. Для даної деталі оптимальним є діаметр прутка *45 мм* (припуск *0,5 мм* на радіус) і висота заготовки *57 мм* (припуск по *1 мм* на торцювання) (рис.2.1) [49]. За ГОСТ 21488-97 перевіряємо сортамент прутка. Обраний пруток Д16 КР 45 П 3000 ГОСТ 21488-97. Прокат із сплаву марки Д16 загартований, нормальної міцності, круглого перерізу, діаметром 45 мм, підвищеної точності виготовлення, довжиною 3000 мм. Отже діаметр заготовки *45 мм,* висота *57 мм*. Необхідно також врахувати додатковий припуск на відрізування деталі від прутка токарним різцем (припуск *3мм*).

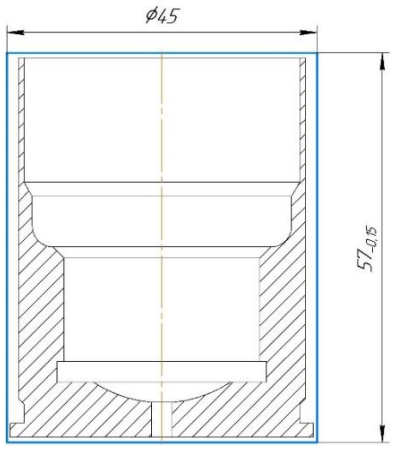


Рис.2.1. Заготовка для обробки із зняттям стружки

Тоді об’єм заготовки:

$$V_{\text{зг}} = \frac{\pi D^2 h}{4}, \tag{2.1}$$

де: $V_{\text{зг}}$ – об’єм заготовки;

D – діаметр заготовки;

h – висота заготовки, 60 мм (з урахуванням припуска на відрізування)

$$V_{зг} = \frac{\pi \cdot 45^2 \cdot 60}{4} = 95426{,}88 мм^3$$

Об’єм деталі знаходимо за допомогою програми Компас 3D (рис.2.2) Коефіцієнт використання матеріалу визначається за формулою 2.2:

$$К_В = \frac{V_Д}{V_{зг}} \cdot 100\%, \quad (2.2)$$

де: $К_В$ – коефіцієнт використання матеріалу;

$V_Д$ – об’єм готового виробу (деталі)

$$К_В = \frac{28417{,}77}{95426{,}88} \cdot 100\% \approx 29{,}78\%$$

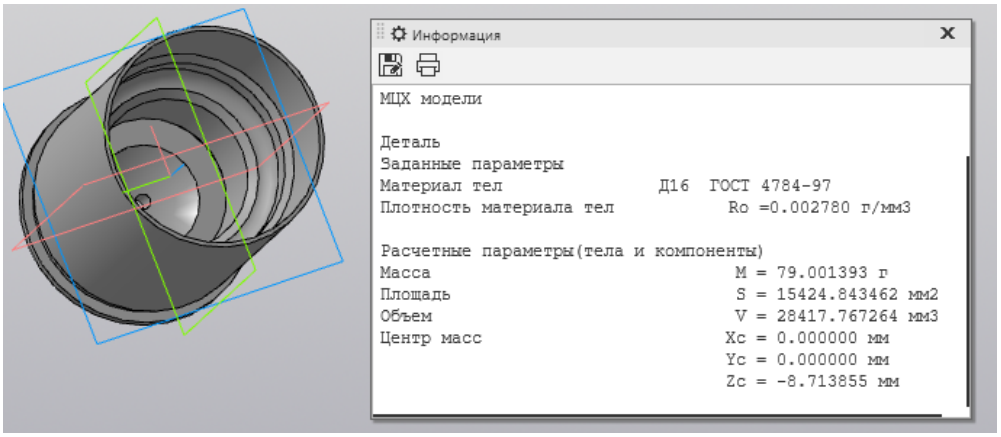


Рис.2.2. Об'єм деталі

Отже такий метод отримання деталі є технологічним лише для штучного або експериментального виробництва. Для масового виробництва раціональніше використовувати методи обробки металів тиском, які можуть підвищити коефіцієнт використання матеріалу до 60-70%.

При використанні методів обробки металів тиском можливо отримати кінцеву геометрію сталевої гільзи з незначною механічною обробкою. Отримувати обробкою металів тиском кінцеву геометрію стінки із алюмінієвого сплаву Д16 недоцільно, оскільки при природному зістарені гільза зазнає викривлення і можна отримати брак. Тому необхідно

отримувати напівфабрикат з потовщеною стінкою, використовуючи комбінацію різних методів, таких як:

- холодне видавлювання з наступною механічною обробкою;
- гаряче видавлювання з наступною механічною обробкою.

Розглянемо окремо технологічність кожного з цих методів**.**

2.1. Аналіз можливості отримання напівфабрикату холодним видавлюванням

Ескіз напівфабриката, що планується отримати холодним зворотним видавлюванням представлений на рис.2.3. Напівфабрикат відноситься до виробів із постійною зовнішньою поверхнею і ступінчастою порожниною [50]. Розміри напівфабриката отримуємо внаслідок додавання припусків на механічну обробку. Для отримання напівфабрикату методами холодного штампування оптимальним є діаметр заготовки *45 мм* (припуск *0,5мм* на радіус) і висота заготовки *56 мм* (припуск *1 мм* на торцювання), також припуск *0,5 мм* на радіус на внутрішні діаметри [49]. На рис.2.4 представлена тривимірна модель напівфабрикату з розрахованими параметрами.

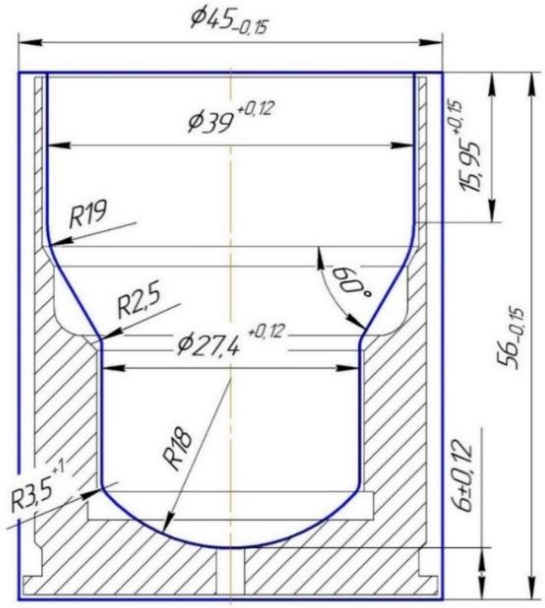


Рис.2.3. Ескіз напівфабрикату

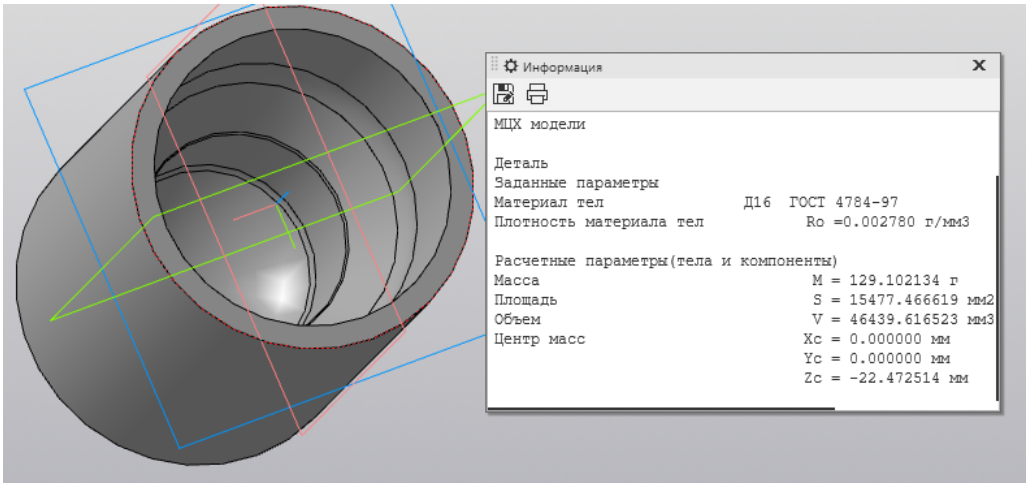


Рис.2.4. Параметри напівфабрикату

Тоді висота заготовки:

$$h_{зг} = \frac{4 \cdot V_{нп}}{\pi \cdot D^2}, \tag{2.3}$$

де: $V_{нп}$ – об'єм напівфабрикату;

D – діаметр заготовки

$$h_{зг} = \frac{4 \cdot 46439{,}62}{\pi \cdot 45^2} = 29{,}199 \approx 29{,}2 мм$$

Знаходимо ступінь деформації за формулою (1.1):

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100\% \leq [\psi]$$

Площа поперечного перерізу заготовки до деформування:

$$F_0 = \frac{\pi}{4} D^2, \tag{2.4}$$

$$F_0 = \frac{\pi}{4} \cdot 45^2 = 1590{,}43 \text{ мм}^2$$

Площу поперечного перерізу заготовки після видавлювання знаходять за формулою:

$$F_1 = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2), \tag{2.5}$$

де: D – зовнішній діаметр напівфабрикату;

d – внутрішній діаметр напівфабрикату (мінімальний)

$$F_1 = \frac{\pi}{4}(45^2 - 39^2) = 395{,}84 \text{ мм}^2$$

Тоді ступінь деформації в найнебезпечнішому перетині дорівнює:

$$\psi = \frac{1590{,}43 - 395{,}84}{1590{,}43} \cdot 100\% = 75{,}11\% < [\psi].$$

За табл. 12 с. 152 [50] $[\psi] = 75 - 80\%$, отже напівфабрикат може бути отриманий видавлюванням за один перехід.

Тоді коефіцієнт використання матеріалу при видавлюванні за формулою 2.2.:

$$К_В = \frac{28417{,}77}{46439{,}62} \cdot 100\% = 61{,}19\% \approx 61{,}2\%$$

Проведемо аналіз технологічності для процесу холодного видавлювання. Холодне штампування дозволяє отримувати напівфабрикати із складним зовнішнім і внутрішнім контуром, це забезпечується застосуванням послідовно чи сумісно різних формозмінних операцій [51].

Знаходимо величини виступів:

$$a'_{min} = \frac{d_1 - d_2}{2} \geq [a'_{min}], \tag{2.6}$$

де: a'_{min} – мінімальна величина виступу;

d_1 – перший виступ (більший внутрішній діаметр);

d_2 – другий виступ (менший внутрішній діаметр) ;

$[a'_{min}]$ – мінімально допустима величина виступу (0,03-0,05мм)

$$a'_{min} = \frac{39 - 27{,}4}{2} = 5{,}8\text{мм} > [a'_{min}]$$

Згідно [50] при $a'_{min} \geq 3$мм необхідний ухил при $Rmin = 1{,}5$мм або спряження по дузі $R = 0{,}5d$, обрані радіуси $R_1 = 2{,}5$мм та $R_2 = 19$мм відповідають цим вимогам. Донна частина деталі може бути сферична, це покращує умови течії металу, але зменшує стійкість пуансона при видавлюванні. Отже мінімальний радіус сферичної донної частини знаходять за формулою:

$$R_д \geq 0{,}5d\ , \tag{2.7}$$

де: $R_д$ – радіус сферичної донної частини;

d – діаметр внутрішньої поверхні

$$R_д \geq 0{,}5 \cdot 27{,}4 = 13{,}7мм$$

Оскільки на кресленні деталі $R_д = 18мм$ і це більше за мінімальну величину, призначаємо радіус сферичної донної частини за кресленням, щоб зменшити витрати матеріалу на наступну механічну обробку. За табл. 19 с. 143 [50] обираємо радіус переходу із сферичної донної частини в циліндричну стінку $R_з = 3{,}5мм$. За табл. 21 с.146 [50] обирають точність деталей, отриманих видавлюванням.

Глибину порожнини, яку отримують за один перехід визначаємо за формулою:

$$h_n \approx 2{,}5d_n, \tag{2.8}$$

де: h_n – глибина порожнини;

d_n – діаметр порожнини

$$h_n \approx 2{,}5 \cdot 27{,}4 = 68{,}5мм$$

Теоретично порожнина глибиною *51мм* може бути витиснута за один перехід. Можливість отримання донної частини для кольорових металів визначається, як:

$$h_д \approx s, \tag{2.9}$$

де: $h_д$ – товщини донної частини;

s – товщина стінки

$$h_д = 3мм$$

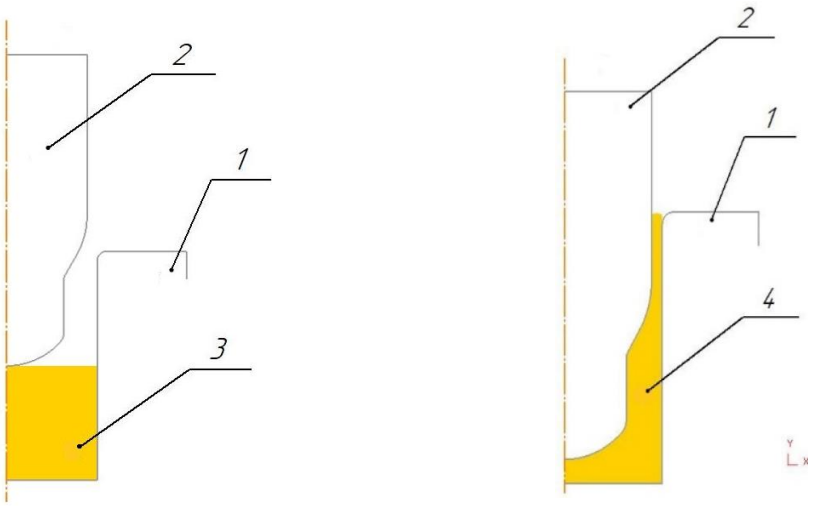
Значення товщини донної частини за кресленням $h_д = 5мм$, це означає, що дно може бути отримано за один перехід без виникнення додаткових сил тертя на виштовхувачі.

2.1.1. Моделювання процесу холодного зворотного видавлювання у програмному комплексі Deform

Для моделювання в программному комплексі DEFORM-3D були обрані наступні параметри [52]:

- діаметр заготовки $d_{зг} = 45$мм;
- висота заготовки $h_{зг} = 29{,}2$мм (розділ 2.1);
- матеріал заготовки сплав Д16, аналогом якого у Deform є AL-2024COLD;
- тип матеріалу – пластичний, тип інструменту – жорсткий;
- переміщення головного інструменту (пуансон) з постійною величиною 1мм/с;
- показник сил тертя μ=0,3 (за Зібелем);
- критерій руйнування Normalized Cockroft and Latham.

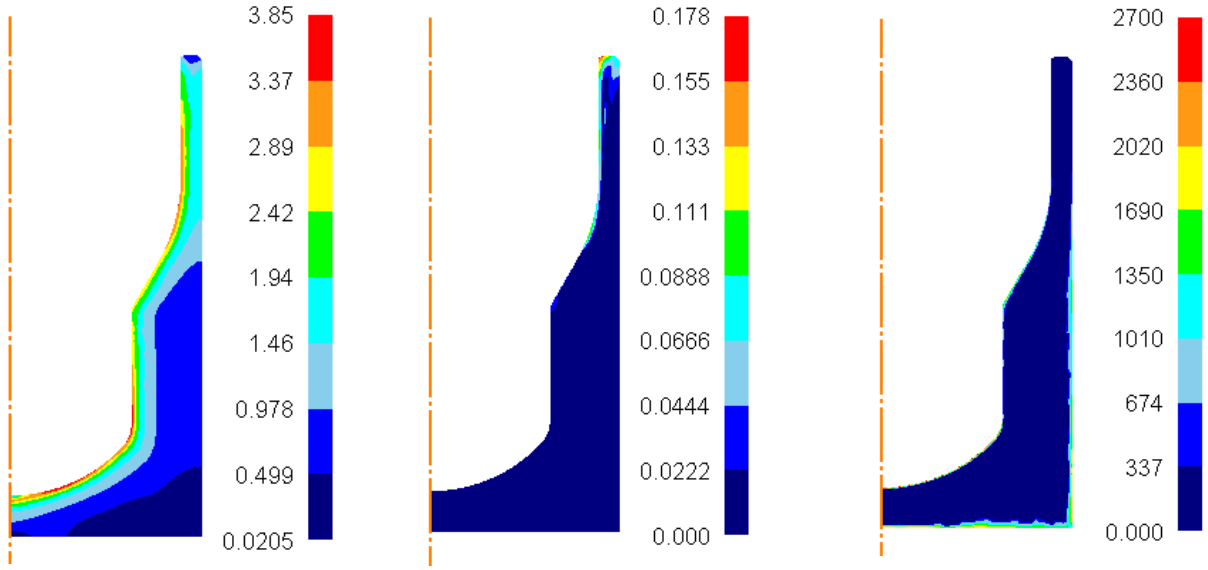
З метою скорочення часу на деформування, експеримент буде проводитися за допомогою 2 D моделювання. Розрахункові схеми на початок і в кінці зворотного видавлювання показані на рис.2.5.



а) б)

Рис.2.5. Розрахункові схеми деформування а) перший крок моделювання, б) останній крок; 1 – матриця, 2 – пуансон, 3 – заготока, 4 – напівфабрикат

Результати моделювання холодного видавлювання наведені на рис.2.6. Максимальне значення інтенсивності деформації знаходиться в межах 2,5-2,85. При цьому максимальне значення критерію руйнування досягає 0,178, що не перевищує граничне значення для даного матеріалу за обраної схеми деформування [53]. Максимальні значення нормального тиску виникають на сферичній деформуючій частині пуансона та на матриці навпроти осередку деформації та досягають 2700МПа. Такі значення є критичними для більшості штампових сталей [54] і можуть призвести до суттєвого зниження стійкості пуансонів і матриць або до їх руйнування, що в умовах масового виробництва є неприпустимим. Максимальне зусилля холодного зворотного видавлювання склало 1343кН (рис.2.7) [52].



а) б) в)

Рис.2.6. Розподіл параметрів НДС при холодному зворотному видавлюванні:
а – інтенсивність деформації; б – значення критерію руйнування;
в – нормальний тиск на поверхні інструменту

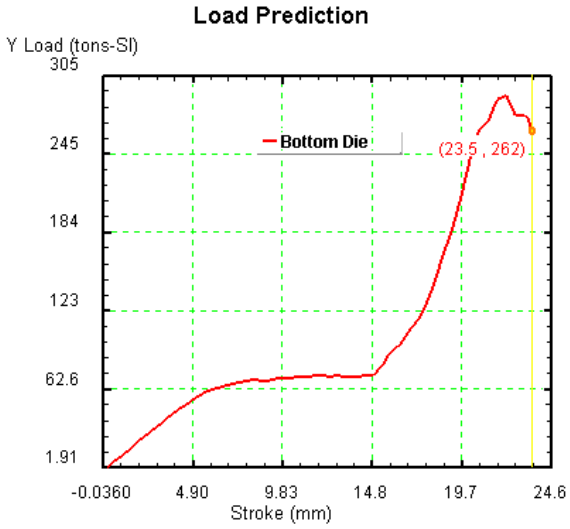


Рис.2.7. Розрахункові залежності зусилля видавлювання від переміщення деформуючого інструменту

Оскільки процеси холодного об'ємного штампування характеризуються великими напруженнями на інструменті через підвищенні сили тертя, щоб зменшити вплив сил тертя проводимо розрахунок отримання напівфабриката із плоскою донною частиною (рис.2.8).

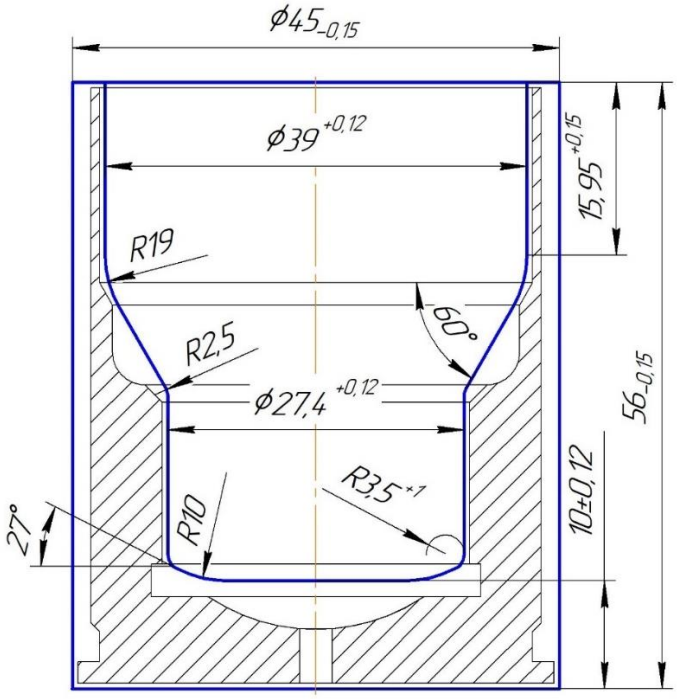
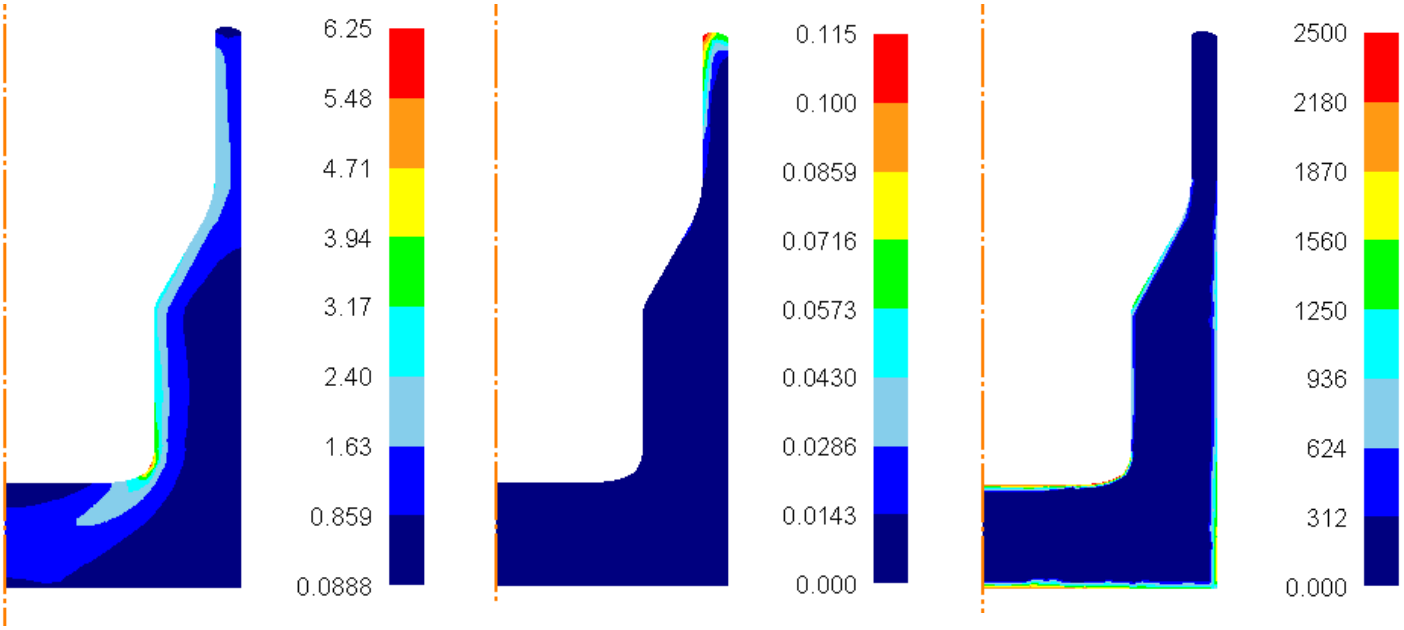


Рис.2.8. Ескіз відштампованого напівфабриката

Для моделювання в программному комплексі DEFORM-3D параметри розрахунку залишаються, як для попереднього розрахунку, крім висоти заготовки ($h_{зг} = 30$мм), оскільки збільшується об'єм напівфабрикату. Результати моделювання холодного видавлювання з потовщеною донною частиною наведені на рис.2.9. Максимальне значення інтенсивності деформації знаходиться в межах 5,48-6,25. При цьому максимальне значення критерію руйнування досягає 0,115, що не перевищує граничне значення для даного матеріалу за обраної схеми деформування. Як і сферична донна частина, так і плоска дуже навантажені і зазнають великих напружень – 2500Мпа, значення є критичним та не забезпечить стійкості штампового оснащення. Зусилля при цьому процессі досягає 2288 кН (рис.2.10) [52].



а) б) в)

Рис.2.9. Розподіл параметрів НДС при холодному зворотному видавлюванні з плоскою донною частиною: а – інтенсивність деформації; б – значення критерію руйнування; в – нормальний тиск на поверхні інструменту

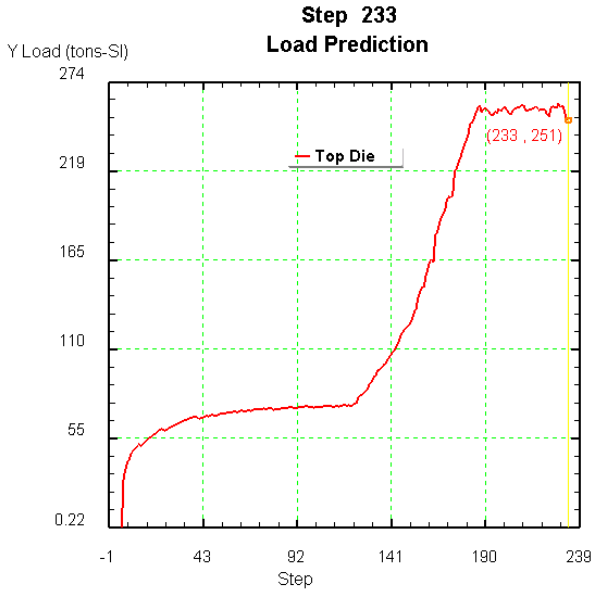


Рис. 2.10. Розрахункові залежності зусилля видавлювання від переміщення деформуючого інструменту

Також напівфабрикат з плоскою донною частиною можна реалізувати з кутом, пуансоном з конічною робочою частиною. Параметри розрахунку залишаються без зміни. Схема напівфабриката представлена на рис.2.11.

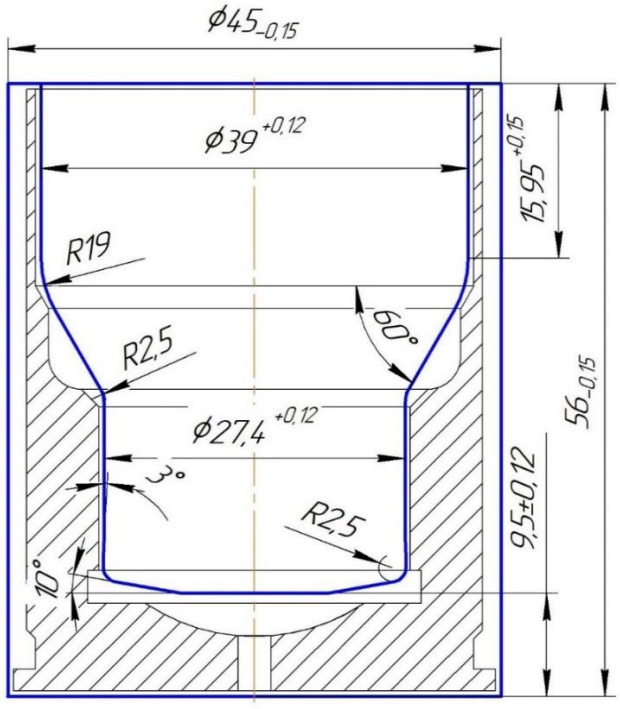
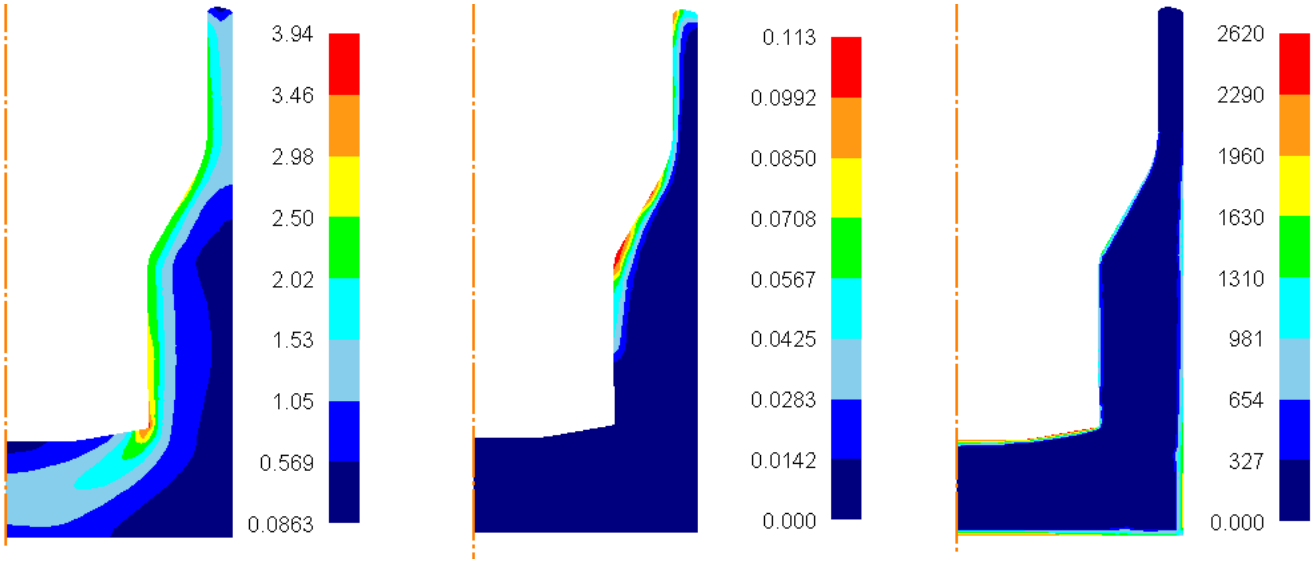


Рис.2.11. Ескіз відштампованого напівфабрикату

Результати моделювання холодного видавлювання з конічною донною частиною наведені на рис.2.12. Максимальне значення інтенсивності деформації знаходиться в межах 3,46-3,94. Критерій руйнування має практично таке ж значення, як і при зворотному видавлюванні із плоскою потовщеною донною частиною та досягає 0,113, що не перевищує граничне значення. Розподіл нормальних напружень носить критичний характер, як і для інших процесів холодного зворотного видавлювання і досягає 2620МПа. Зусилля процесу досягає 2366 кН (рис.2.13) [52].



а) б) в)

Рис.2.12. Розподіл параметрів НДС при холодному зворотному видавлюванні з конічною донною частиною: а – інтенсивність деформації;
б – значення критерію руйнування; в – нормальний тиск на поверхні інструменту

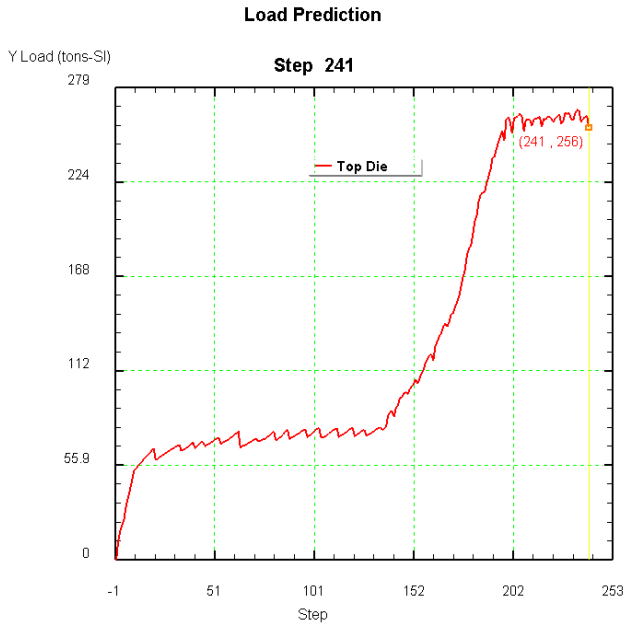
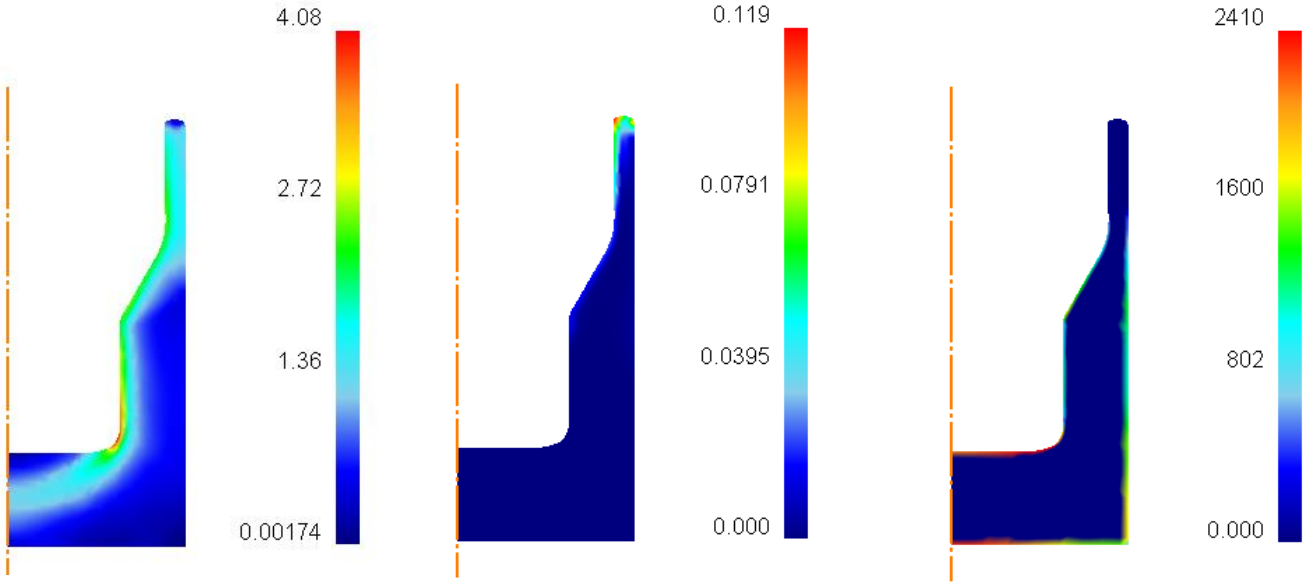


Рис. 2.13. Розрахункові залежності зусилля видавлювання від переміщення деформуючого

Збільшуємо товщину донної частини до *12 мм* для подальшої механічної обробки. Параметри розрахунку не змінюються, крім робочого ходу.

Результати моделювання холодного зворотного видавлювання з потовщеною донною частиною представлені на рис. 2.14. Максимальне значення інтенсивності деформацій досягає 4,08. Критерій руйнування має практично так ж значення, як і при попередніх експериментах та досягає 0,119, що не перевищує граничне значення. Значення нормального тиску зменшилось до 2410 МПа, є найменшим із всіх промодельованих процесів, але є критичним. Зусилля видавлювання досягають значення 2179 кН при формуванні стінки напівфабрикату (рис.2.15) [52]. Зусилля деформування зменшилось, в порівнянні з іншими промодельованими процесами, що в свою чергу впливає на вибір обладнання.



а) б) в)

Рис.2.14. Розподіл параметрів НДС при холодному зворотному видавлюванні з потовщеною донною частиною: а – інтенсивність деформації; б – значення критерію руйнування; в – нормальний тиск на поверхні інструменту

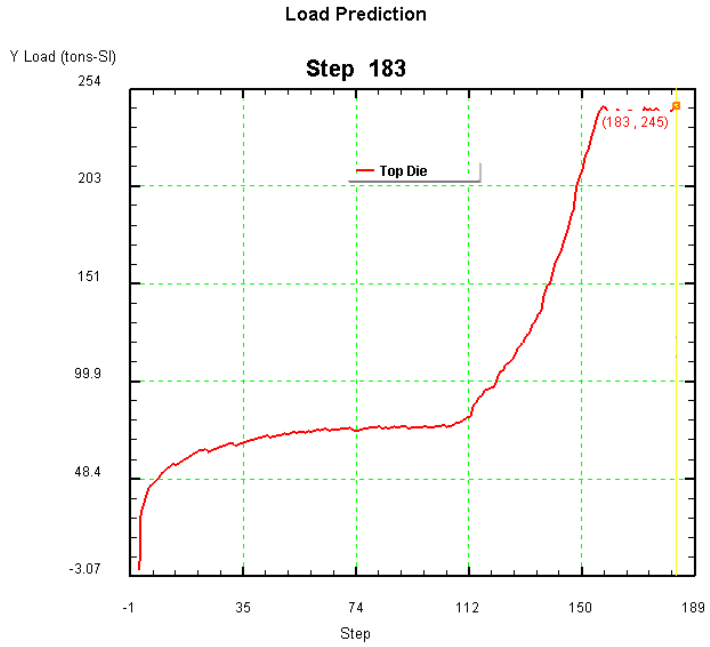


Рис. 2.15. Розрахункові залежності зусилля видавлювання від переміщення деформуючого інструменту

Отже порівняно із сферичною донною частиною, плоска має нижчі нормальні тиски, але інструмент зазнає кричних навантажень. Можна зробити висновок, що із збільшенням товщини донної частини напруження на інструмент зменшується. Збільшення товщини донної частини не є доцільним, оскільки при цьому збільшується об’єм наступної механічної обробки, що в свою чергу впливає на зростання собівартість гільзи. Тому для зменшення напруження на штампове оснащення збільшуємо товщину стінки.

Збільшуємо товщину стінки до *4 мм* ескіз напівфабрикату (рис.2.16). Із збільшенням товщини стінки збільшиться об’єм заготовки та її висота, тому перераховуємо ці значення. Об’єм напівфабриката представлений на рис.2.17, висота заготовки розраховується за формулою 2.3. Схема процесу і параметри розрахунку незмінні.

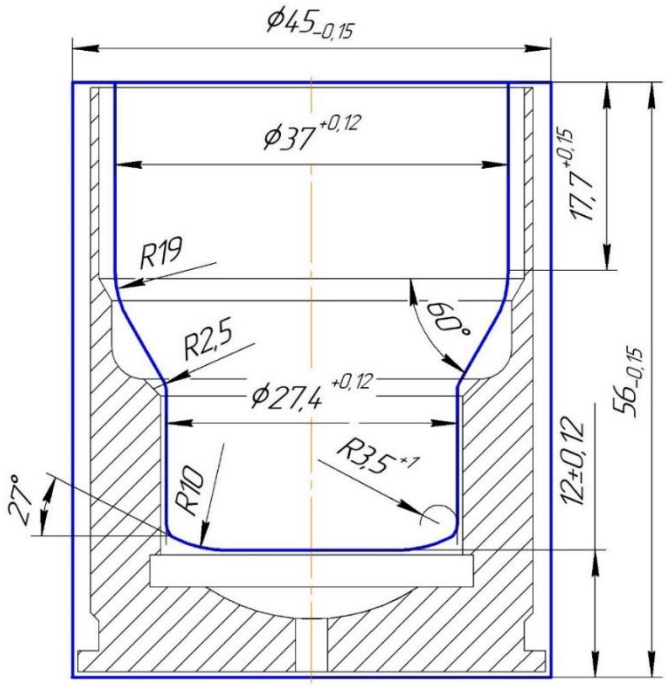


Рис.2.16. Ескіз відштампованого напівфабрикату

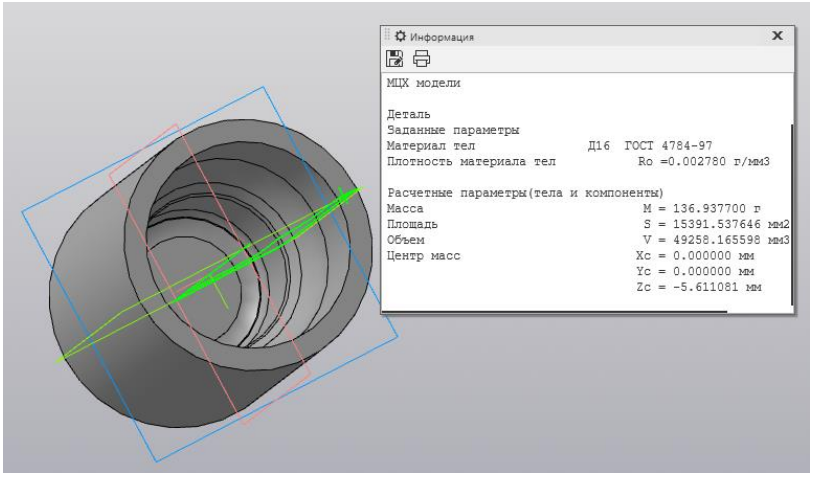
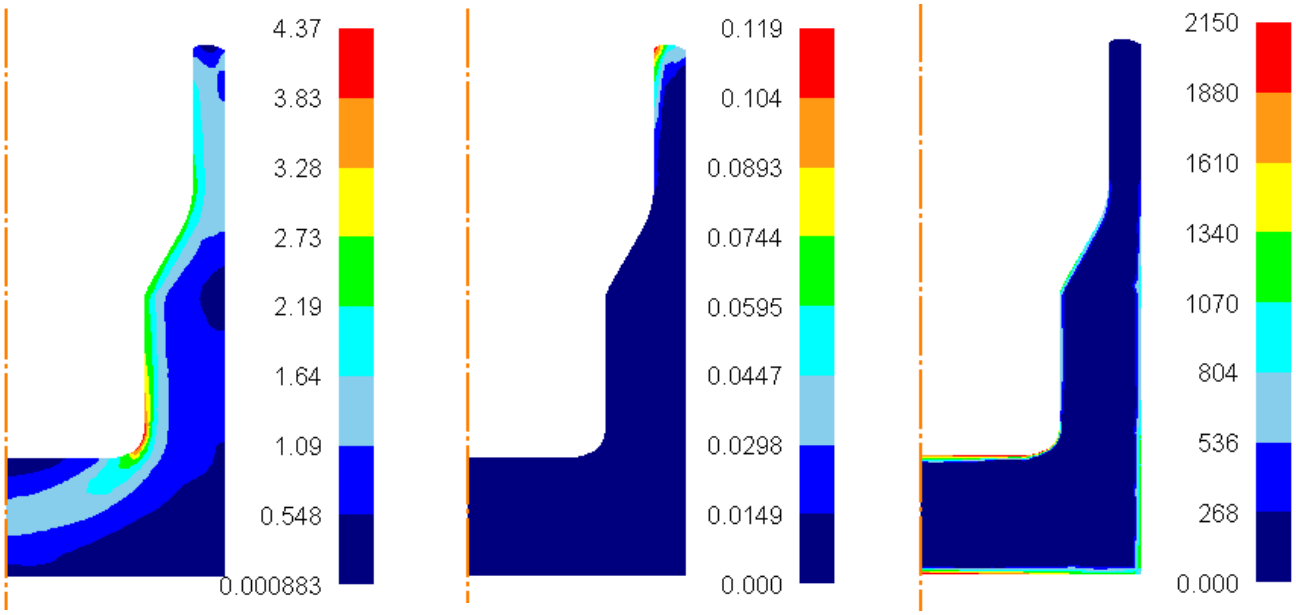


Рис.2.17. Об’єм напівфабрикату

$$h_{\text{зг}} = \frac{4 \cdot 49258{,}17}{\pi \cdot 45^2} = 30{,}97 \approx 31\text{мм}$$

$$\text{К}_\text{В} = \frac{28417{,}77}{49258{,}16} \cdot 100\% = 57{,}96\% \approx 58\%$$

Результати моделювання холодного зворотного видавлювання з потовщеною стінкою та донною частиною представлені на рис. 2.18. Інтенсивність деформації досягає значення 4,37, матеріал найбільше зміцнюється на радіусній частині напівфабрикату. Розподіл граничних значень критерію руйнування не змінний. При збільшенні товщини донної частини та товщини стінки напруження на інструменті зменшилось до 2150МПа, але залишається критичним. Дану технологію можна реалізувати за рахунок використання більш зносостійкого інструменту, але це здорожчує вартість виробу, також збільшується кількість механічної обробки. Зусилля деформування досягають 1814 кН (рис.2.19) [52].



а) б) в)

Рис.2.18. Розподіл параметрів НДС при холодному зворотному видавлюванні з потовщеною стінкою і донною частиною: а – інтенсивність деформації; б – значення критерію руйнування; в – нормальний тиск на поверхні інструменту

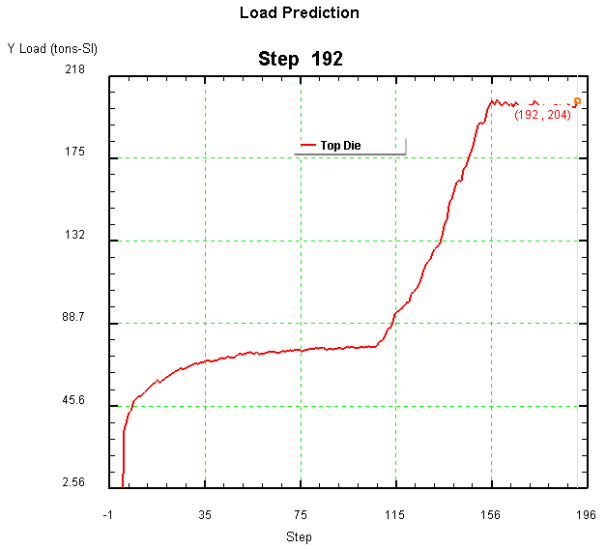


Рис. 2.19. Розрахункові залежності зусилля видавлювання від переміщення деформуючого інструменту

Аналізуючи результати моделювання:

- зворотне видавлювання забезпечує отримання необхідної точності напівфабрикату та рівномірне пропрацювання структури матеріалу;

- за рахунок потовщення стінки до 4 мм та спрощення геометрії донної частини напівфабрикату можна зменшити питомі зусилля на інструменті до 2150МПа, але це призведе до зменшення коефіцієнта використання матеріалу до 58% та збільшення обсягу механічної обробки;
- нормальні напруження значні і призведуть до швидкого зношення штампового оснащення, тому даний напівфабрикат отримувати зворотнім видавлюванням в холодному стані не раціонально.

2.1.2. Підготовка заготовок до холодного видавлювання

Для розроблення прокату на заготовки існує багато способів: різання на токарних верстатах, розподіл шляхом різання на пилах, шляхом відокремлення в штампах і тд [55]. Закрите різання зсувом в штампі характеризується тим, що в процесі різання створюється зусилля осьового стиску N на заготовку і пруток. Це дозволяє створити в осередку різання схему напружень всебічного нерівномірного стиску і тим самим отримати чистий зсув. Цей метод дозволить отримати дзеркальну поверхню на торці заготовки і виключити подальше калібрування. Закрите різання зсувом передбачає наявність великих зусиль різання [55]. Схема закритого різання шляхом відокремлення зсувом в штампі представлена на рис.2.19. Зусилля закритого різання розраховується:

$$P_з = (1 - 1{,}25)\sigma_B F_0, \tag{2.10}$$

де: $P_з$ – зусилля закритого різання;

- σ_B – межа міцності;
- F_0 – площа поперечного перерізу заготовки

$$P_з = 1 \cdot 490 \cdot 1590{,}43 = 779\text{кН}$$

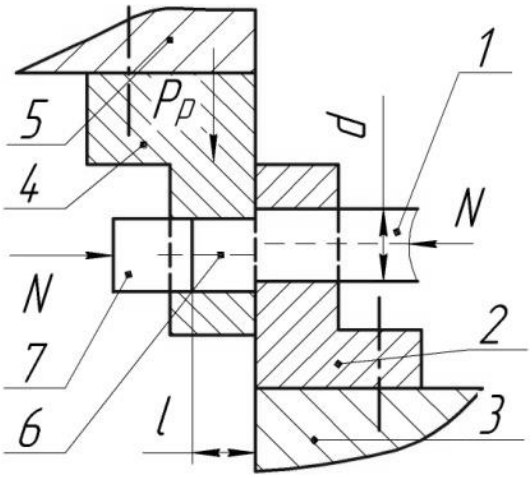


Рис.2.19. Схема закритого різання шляхом відокремлення зсувом в штампі.

1– пруток; 2– нерухомий ніж; 3,5 плити; 4– рухомий ніж; 6 – заготовка; 7 – підпор

Знаходимо кількість заготовок висотою 29,2 мм, які можна отримати з прутка довжиною 3000 мм.

$$N = \frac{3000}{29{,}2} = 102{,}79 = 102$$

При підготовці поверхонь заготовок до холодного видавлювання необхідними процесами є:

- видалення дефектів, очищення від забруднень і окалини;
- утворення на поверхнях заготовок пористого шару для утримання змащення;
- нанесення технологічного змащення.

Підготовка заготовок з алюмінієвого сплаву Д16 до холодного об’ємного деформування наведена в табл.2.1. [56].

Таблиця 2.1. Підготовка заготовок до деформування.

Операції	Склад розчину	Час, хв	Температура, °С
знежирення	8-12 г/л. гідроокис натрію, 20-50 г/л натрій фосфорнокислий, 25-30 г/л. рідке скло	3-10	60-70
промивка	вода	0,5-1	10-25
травлення	50 -100 г/л їдкий натр	0,5-1	40-45
промивка	вода	0,5-1	10-25
промивка	вода	0,5-1	50-80
анодування (напруження 10-25В)	170-250 г/л сірчана кислота	30-50	13-26
промивка	вода	0,5-1	10-25
промивка	вода	0,5-1	50-80
замикання пор	100 г/л дихромат калію, 18 г/л карбонат натрію	10	90-95
промивка	вода	0,5-1	50-80
сушіння	сушильна камера (колорифер)	до повного висихання	-

2.2. Аналіз можливості отримання викову гарячим видавлюванням

2.2.1. Моделювання процесу гарячого видавлювання у програмному комплексі Deform

Ескіз напівфабриката для гарячого видавлювання представлений на рис.2.20.

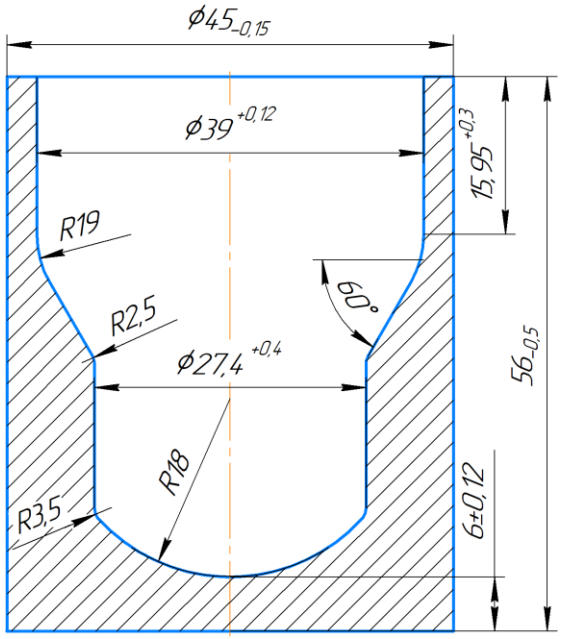
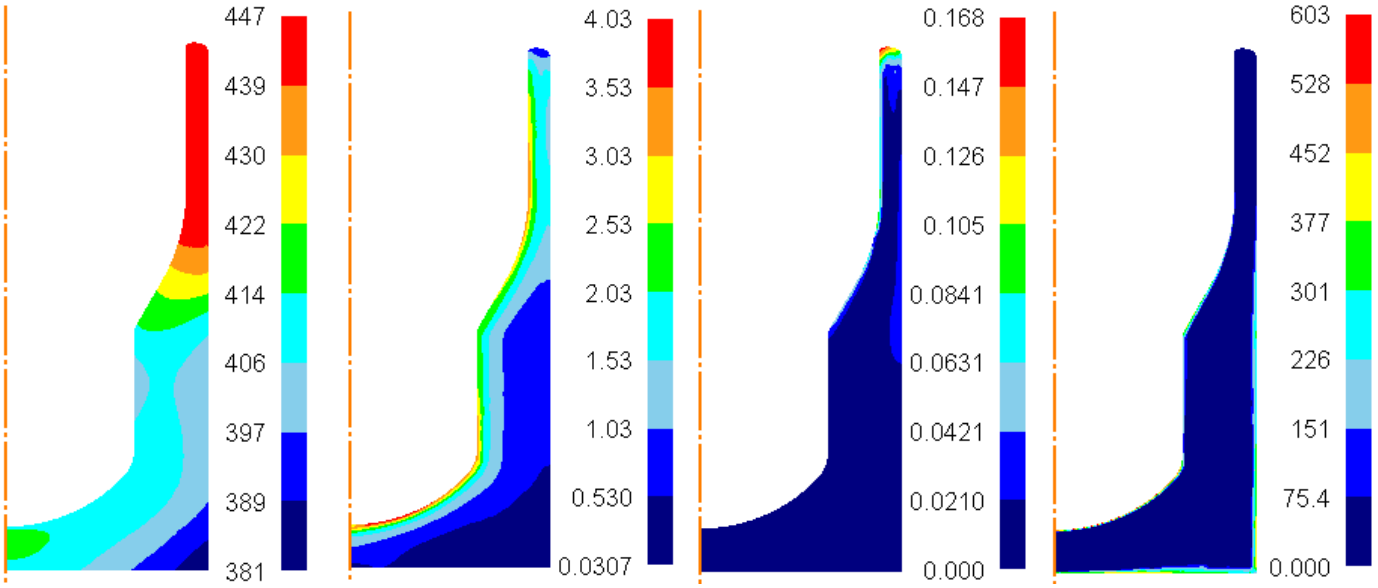


Рис.2.20. Ескіз відштампованого напівфабриката

Параметри моделювання гарячого видавлювання:

- діаметр заготовки $d_{зг} = 45$мм;
- висота заготовки $h_{зг} = 29{,}2$мм;
- матеріал заготовки сплав Д16, аналогом якого у Deform є ALUMINUM-2024[550-950F(300-500C)];
- тип матеріалу – пластичний, тип інструменту – жорсткий;
- швидкість деформування 13мм/с;
- показник сил тертя μ=0,3 (за Зібелем);
- критерій руйнування Normalized Cockroft and Latham;
- температура заготовки - 420°C;
- підігрів інструменту до 200°C.

На рис.2.21 представлені результати моделювання гарячого видавлювання напівфабрикату.



а) б) в) г)

Рис.2.21. Розподіл параметрів НДС при гарячому зворотному видавлюванні:
а – температура; б – інтенсивність деформації;
в – значення критерію руйнування; г – нормальний тиск

Гаряче штампування сплавів типу дуралюміна проводиться у температурному інтервалі 350-480°С. Тому за результатами моделювання була підібрана необхідна температура нагрівання і швидкість деформуючого інструменту. При температурі нагрівання сплаву до 420°С та швидкості деформування 13 мм/с в процесі штампування напівфабрикат охолоджується у кутах до температури 381°С, що не виходить за межі температурного інтервалу штампування для сплаву Д16.

Максимальне значення інтенсивності деформації за результатами моделювання знаходиться в межах 3,5-4, при цьому максимальне значення критерію руйнування сягає 0,168, що не перевищує граничне значення. Розподіл нормального тиску носить такий самий характер, як для холодного видавлювання, але максимальне значення складає 603 МПа, що забезпечить підвищену стійкість деформуючого інструменту. Технологічне зусилля досягає значення 541 кН (рис.2.22) [52].

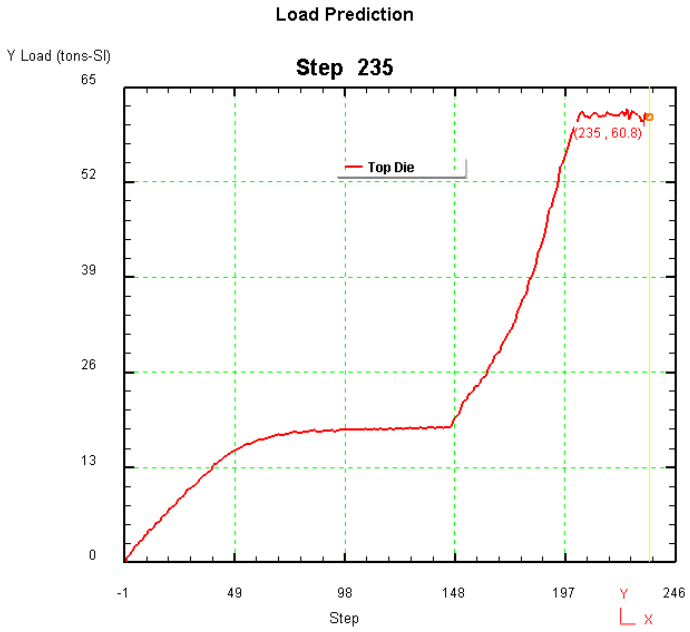
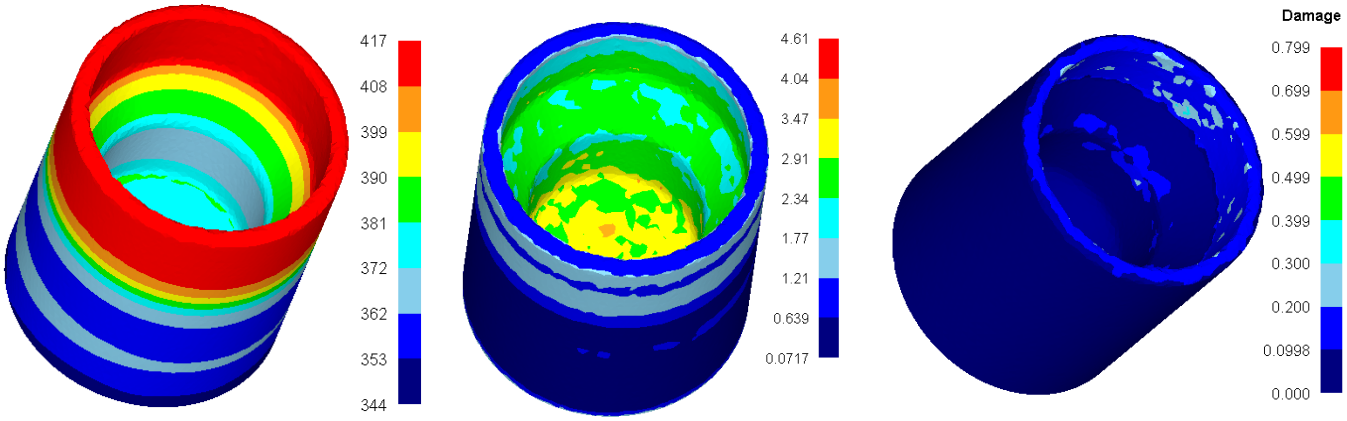


Рис.2.22. Розрахункові залежності зусилля видавлювання від переміщення деформуючого інструменту

Повторюємо експеримент в 3d. На рис.2.23 показані результати моделювання.



а) б) в)

Рис.2.23. Розподіл параметрів НДС при гарячому зворотному видавлюванні:
а – температура; б – інтенсивність деформації;
в – значення критерію руйнування

В порівнянні з попереднім експериментом охолодження донної частини напівфабрикату проходить більш інтенсивно, оскільки враховано об’ємний фактор. Для збереження в процесі штампування інтервалу температур 350-480° С необхідно

підігрівати заготовку до 430° С. Максимальне значення інтенсивності деформації за результатами моделювання знаходиться в межах 3,5-4, при цьому максимальне значення критерію руйнування сягає 0,2-0,3, що не перевищує граничне значення [57].

На рис.2.24 представлено нормальний тиск гарячого зворотного видавлювання. Максимальні значення нормального тиску виникають на кулеподібній деформуючій частині пуансона і досягають значення 607МПа, що відповідає попередньому експерименту. На рис.2.25 показана величина технологічного зусилля, що досягає максимального значення 525кН.

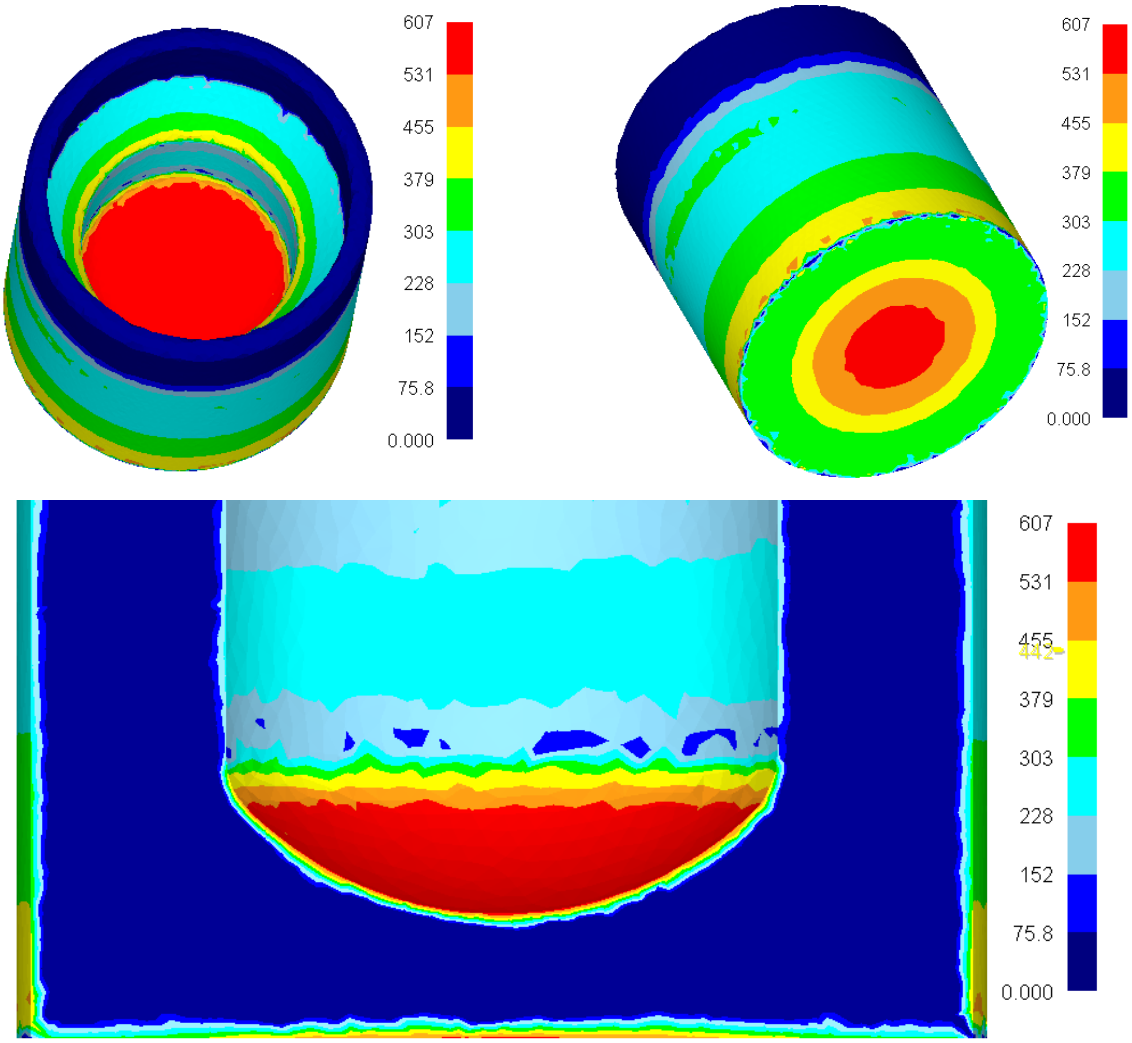


Рис.2.24. Значення нормального тиску

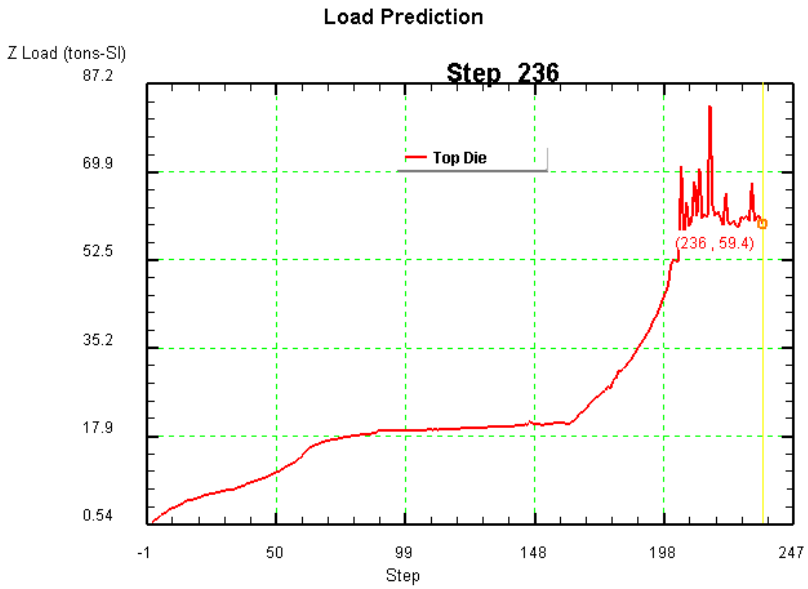


Рис.2.25. Розрахункові залежності зусилля видавлювання від переміщення деформуючого інструменту

2.2.2. Підготовка заготовок до гарячого видавлювання

До підготовчих операцій гарячого об'ємного видавлювання відноситься розроблення прокату на заготовки та їх нагрівання. Розроблення прутка на заготовки може проводитися, як і при холодному об'ємному штампуванні. Для нагрівання алюмінієвих сплавів успішно використовуються рециркуляційні печі ПАП (печі аеродинамічного підігріву), в яких повітря або газ нагрівається без застосування електричних або інших спеціальних нагрівачів до 550-600°С. Піч ПАП є теплоізольованою камерою без цегляної кладки з відцентровим вентилятором, що має певний розрахунковий профіль лопаток. Вентилятор, працюючи в замкнутій системі, перетворює майже всю прикладену для його обертання енергію в теплоту, яка передається виробам за рахунок конвективного теплообміну (рис.2.26). Також термічна обробка алюмінієвих сплавів проводиться в повітряних печах ЕТА або в селітрових ваннах [58, 59].

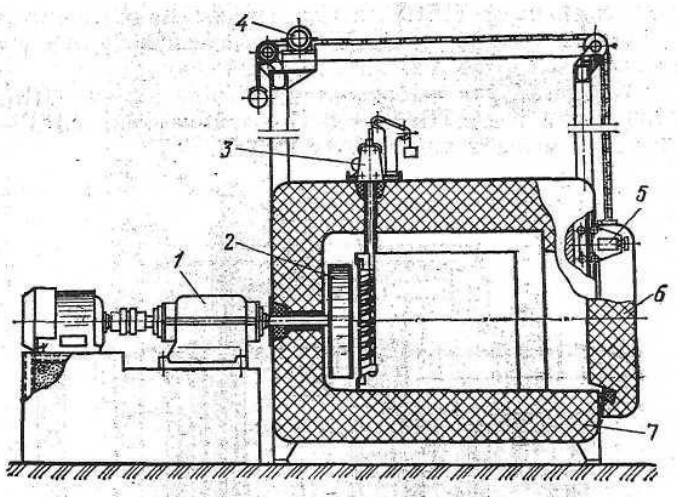


Рис.2.26. Схема печі ПАП-9:
1 - привід ротора; 2 - ротор відцентрового регулятора; 3 – регулятор потужності і теплового ефекту; 4 - механізм підйому кришки; 5 - затискний механізм кришки; 6 - кришка завантажувального вікна; 7 - корпус печі

Завантажувальне вікно корпусу печі 7 закривається кришкою 6, що має механізм затиску 5. Кришка підіймається механізмом 4. Ротор відцентрового вентилятора 2 приводиться в рух від приводу 1. Контроль роботи здійснюється з регулятора теплового ефекту 3. Передача тепла металу здійснюється конвекційним способом, що забезпечує високу рівномірність температури по всьому робочому об'єму печі і більш швидке прогрівання виробів.

Кування і штампування сплавів типу дуралюміни проводиться у температурному інтервалі 350-480°С. Так як опір деформації сплавів на алюмінієвій основі в області температур гарячої обробки металів тиском достатньо високий, ступінь деформації при безоблойному штампуванні – 80-85%. Щоб зерна структури не були різними по величині не можна допускати зниження температури нижче заданого інтервалу [60].

В якості змащення обираємо масло WOLFACO WF 52, яке забезпечує зниження тертя між інструментом і заготовкою при температурі вище 300°С. Мастильна плівка покращує текучість матеріалу, забезпечує формування гладкої фінішної поверхні матеріалу [61].

До завершальних операцій відноситься видалення шару окалини після гарячого штампування. Оскільки виков повинен механічно оброблятися необхідно видалити окалину для підвищення стійкості ріжучого інструменту. Для цього застосовують операцію травлення (табл.2.1).

2.3. Механічна обробка

Кінцеве формоутворення нетехнологічних для штампування конструктивних елементів виконуються методами обробки різання [49]. Дану деталь можна виготовити на універсальному верстаті або на верстаті з числовим програмним керуванням (ЧПК) [62]. Зазвичай, при виготовленні деталі на універсальному верстаті якість і час обробки залежать від кваліфікації робітника. Щоб автоматизувати процес і скоротити час на обробку використовують верстати з ЧПК. В цьому випадку, робітник тільки встановлює і знімає заготовку, перевіряє інструмент, контролює розміри деталей (за необхідності). Щоб використання токарних верстатів, оснащених системою ЧПК, було максимально ефективним, необхідно ретельно розробити технологічний процес обробки, а також скласти програму, яка буде керувати роботою обладнання. Керуюча програма пишеться на мові програмування G-код, яка установлена як стандарт ISO 6983-1:2009. Використання ЧПК дозволяє більш точно визначати час обробки партії деталей.

2.3.1. Розробка технологічного процесу отримання деталі

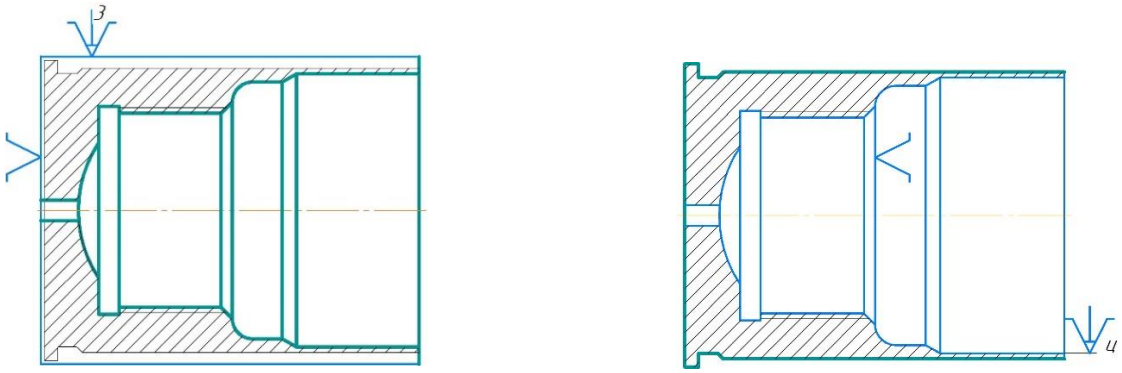
Дану деталь можна отримати з відштампованого напівфабрикату з двох установ. Для отримання внутрішньої поверхні напівфабрикат затискається в трьохкулачковий патрон (рис.2.27а), для отримання зовнішньої поверхні – в цанговий патрон (рис.2.27б).

а) б)

Рис 2.27. Способи установлення напівфабрикату:

а – трьохкулачковий патрон; б – цанговий патрон

Поверхні, які оброблюються наведені на рис.2.28.



а) б)

Рис 2.28. Поверхні:

а – перша установа – обробка внутрішньої поверхні ;
б – друга установа – обробка зовнішньої поверхні

Для механічної обробки деталі використовуємо токарно-фрезерний верстат GILDEMEISTER TWIN 42. Токарно-фрезерний верстат оснащений системою шпиндель-контршпиндель та двома інструментальними револьверами, що дозволяє обробляти дві деталі одночасно. За рахунок можливості переміщення в п’яти координатах одночасно верстат оброблює деталі складної, неправильної форми. Основні технічні характеристики верстата наведені в табл.2.2.

Таблиця 2.2. Технічні характеристики токарно-фрезерного верстата TWIN 42.

Система управління	Siemens 840 D
Максимальна довжина обробки	580 мм
Максимальний діаметр обробки	145 мм
Переміщення револьвера X / Z	220 x 320 мм
Прискорена подача X/Z	20/30 м/хв
Максимальні оберти шпинделя	7000 об/хв
Потужність шпинделя	35 кВт
Максимальні оберти привідного інструмента	6000 об/хв
Потужність привідного інструмента	6 кВт
Сумарна потужність верстата	40 кВт
Інструментальних місць в револьвері 1,2	12/12

Для охолодження і поглинання тепла, які активно утворюються в процесі механічної обробки, використовуємо охолоджуючу рідину на основі води з великим вмістом емульсола (10-15%).

2.3.2. Проектування маршрутного технологічного процесу

2.3.2.1. Перша установа

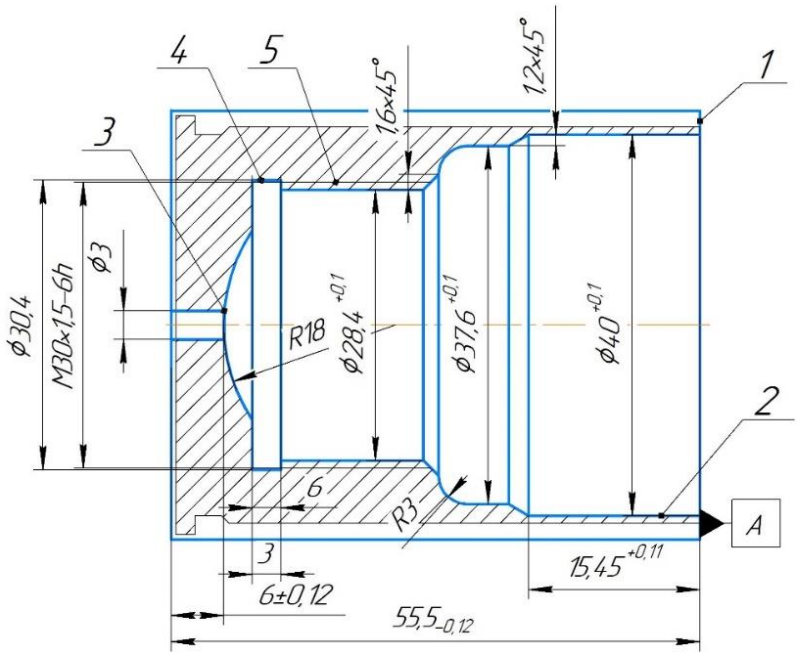


Рис 2.29. Послідовність обробки поверхонь на першій установі

1. Торцювати начисто поверхню 1 на довжину 0,5 мм
2. Розточити начорно поверхню 2, витримавши розмір Ø39,8 мм
3. Свердлити наскрізь отвір Ø3 мм (поверхня 3)
4. Розточити поверхню 4 начисто, витримавши розмір Ø30,4 мм
5. Точити начисто поверхню 2, витримавши розміри Ø40 мм, Ø37,6 мм, Ø28,4 мм
6. Нарізати різьбу на поверхні 5

2.3.2.2. Друга установа

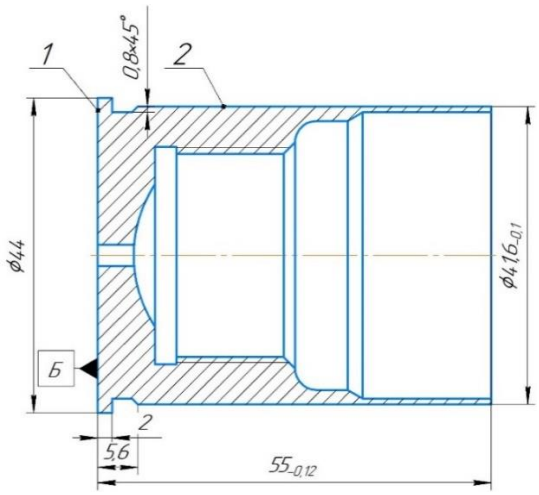


Рис 2.30. Послідовність обробки поверхонь на другій установі

1. Торцювати начисто поверхню 1 на довжину 0,5 мм
2. Точити начисто поверхню 2, витримавши всі розміри (рис.2.30.)

Режими різання наведені в табл.2.3. [49]. Загальний час обробки однієї деталі 79,4 секунди. Закладаємо ще 100% часу на установку заготовки та вимірювальні операції. Час обробки складає 2 хв.40 с.

На етапі механічної обробки розміри контролює оператор верстата. Внутрішні розміри і параметри різьби контролювати калібром пробкою. Зовнішні і висотні розміри контролювати за допомогою штангенциркуля. Інші розміри контролює відділ контроля якості.

Таблиця 2.3. Режими різання та пооопераційний час обробки.

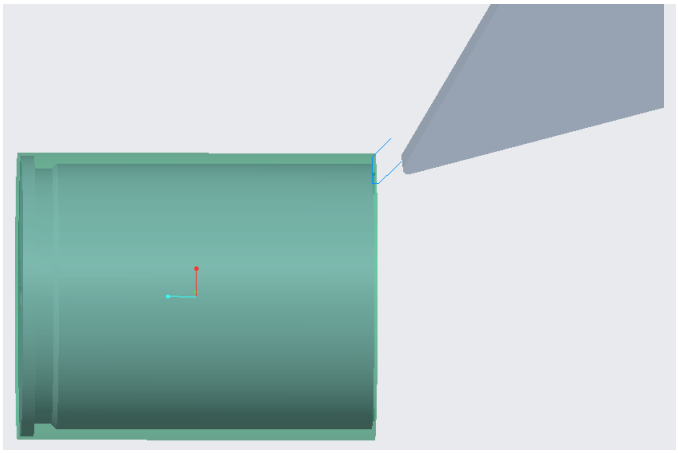
№ операції	Вид обробки	Обороти, об/хв	Подача, мм/об	Швидкість різання, м/хв	Час обробки*, с
Установлення в трьохкулачковий патрон					
1.	Торцювання	1500	0,2	212	1,6
2.	Чорнове розточування	1000	0,15	122	19,6
3.	Свердління	1400	0,1	13,2	6
4.	Обробка канавки	400	0,25	38,2	4,5
5.	Чистове розточування	950	0,18	84,7	17,5
6.	Нарізання різьби	1600	0,15	150,8	8,7
Установлення в цанговий патрон					
1.	Торцювання	1500	0,2	212	4,6
2.	Чистова обробка зовнішнього профілю	1200	0,18	156,8	13,9

*Час обробки зазначений з підходом та відходом інструменту

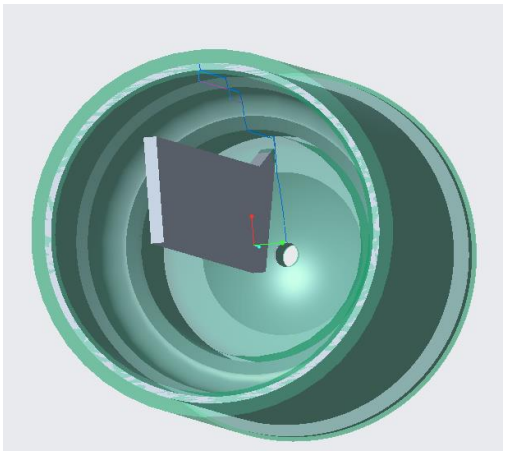
2.4. Моделювання процесу різання

Моделювання процесу механічної обробки проводимо в програмному пакеті Creo parametric [63]. Creo для механічної обробки забезпечує широкий діапазон можливостей моделювання траєкторій інструменту і обробки на верстаті з ЧПК, дозволяючи використовувати дані 3D CAD, в результаті скорочуючи час розробки технології. Creo parametric надає повний набір можливостей і бібліотек інструментів для створення програм для верстатів будь-якого типу. Результати моделювання наведені на рис.2.31-2.32. Керуючі програми та підпрограми для операцій 1-6 та 1-2 наведені у додатках.

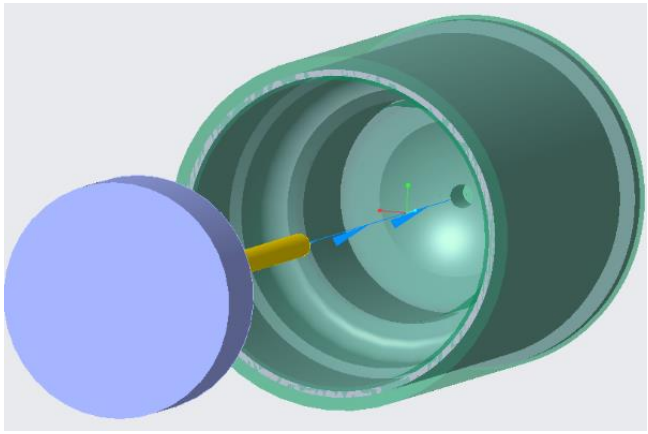
2.4.1. Перша установа



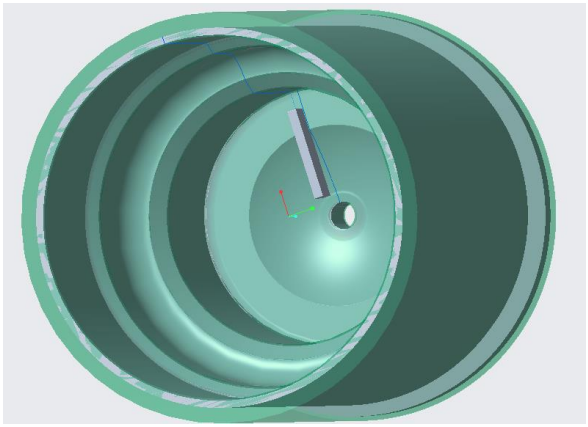
а)



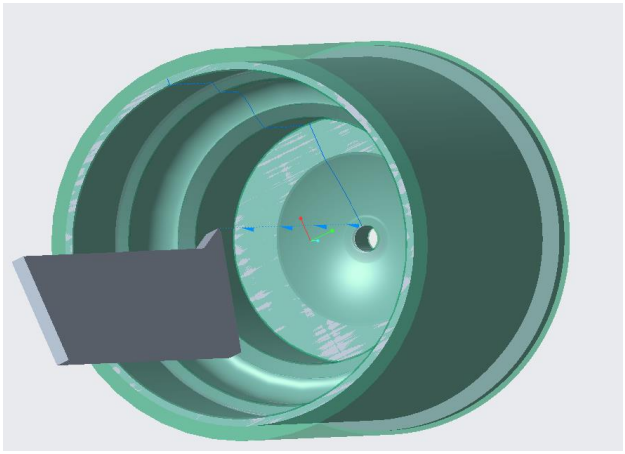
б)



в)



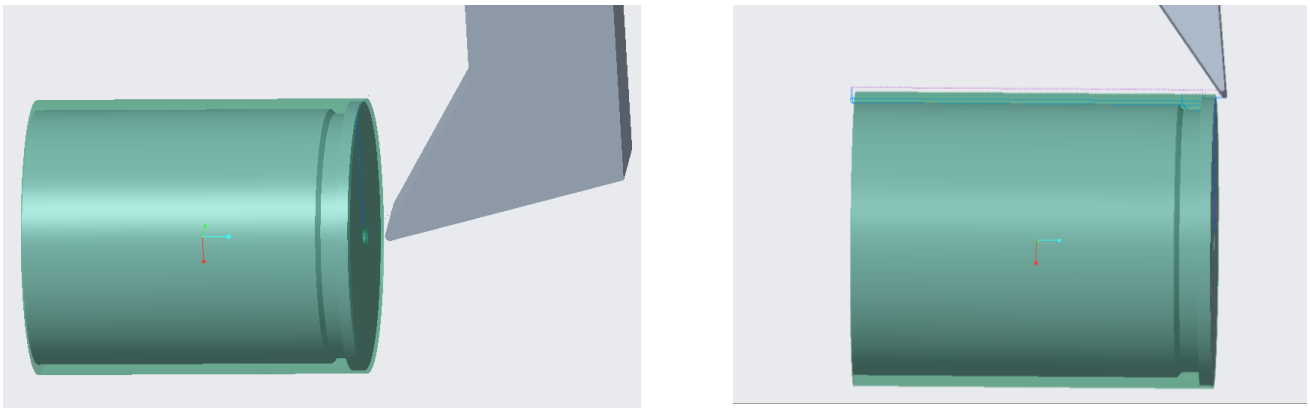
г)



д)

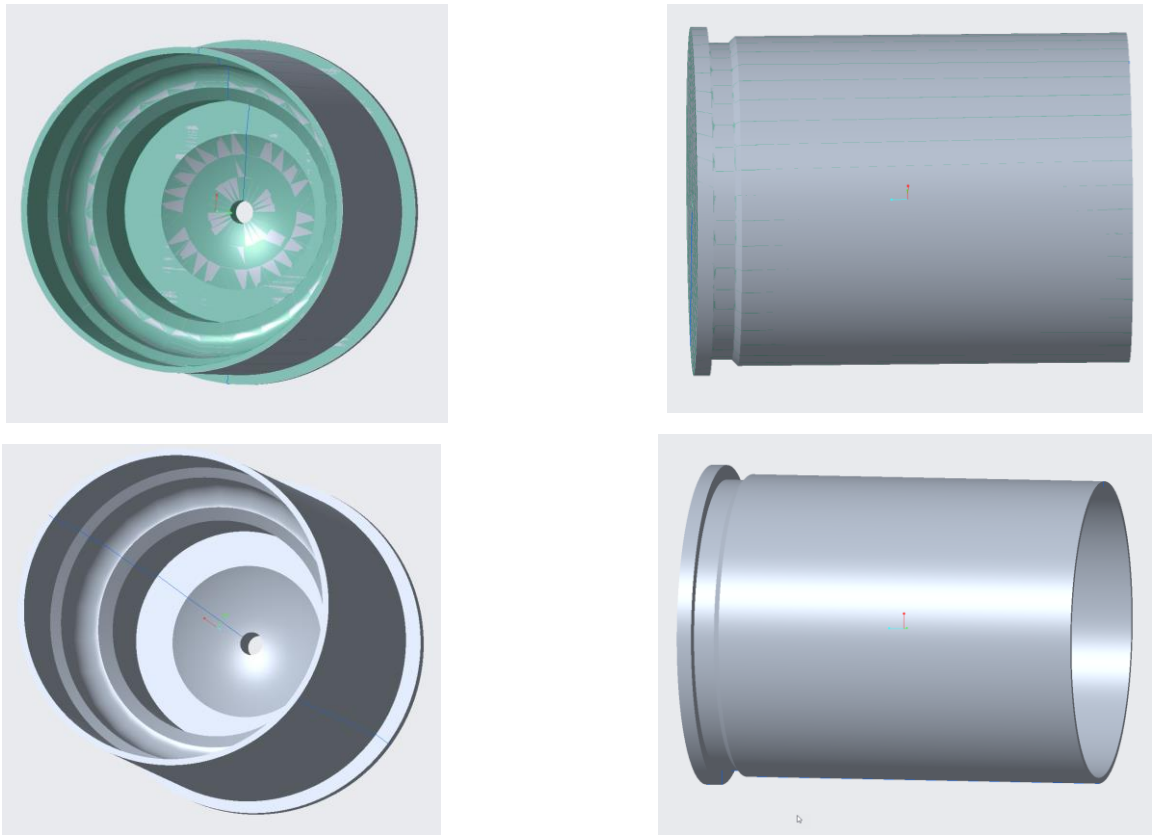
Рис.2.31. Моделювання процесу різання (перша установа):
а – торцювання; б – чорнове розточування; в –свердління;
г – обробка канавки; д – чистове розточування

2.4.2. Друга установа



а) б)

Рис.2.32. Моделювання процесу різання (друга установа):
а – торцювання; б – чистова обробка зовнішнього профілю



а) б)

Рис.2.33.Результати моделювання:
а – внутрішня поверхня; б – зовнішня поверхня

Висновки до розділу

За результатами досліджень визначені розміри напівфабрикату та оптимальні параметри процесів зворотного видавлювання як в холодному, так і в гарячому стані. Більш раціональним являється гаряче штампування, яке, не зважаючи на недоліки (попередній нагрів заготовки та інструмента, видалення окалини, вибір певного змащення), забезпечує більш високий коефіцієнт використання матеріалу , менші питомі тиски на деформуючому інструменті (при забезпеченні визначених параметрів деформування) та втрати металу після фінішної механічної обробки.

3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

При проектуванні штампа орієнтуємося на раніше обраний гідравлічний прес П6328 за швидкістю деформування. Прес оснащений виштовхувачем, що виключає проектування виштовхуючого механізму з тягами і коромислом. Даний гідравлічний прес забезпечить необхідну швидкість деформування (V=13мм/с), яка забезпечує підтримання температурного інтервалу штампування.

3.1. Поектування основних детелей штампа

Визначаємо габаритні розміри і кількість бандажів матриці для зворотного гарячого видавлювання. Розпираюче питоме зусилля на матриці [50]:

$$P_p = P_{\text{вид}} - \sigma_{0.2},$$

де: $P_{\text{вид}}$ – нормальний тиск на деформуючому інструменті, 607 МПа;

$\sigma_{0.2}$ – умовна границя текучості для Д16, 350 МПа;

$$P_p = 607 - 350 = 257 \text{ МПа}$$

Фактичне розпираюче питоме зусилля не перевищує допустиме1300 МПа, отже обираємо однобандажовану матрицю [50]. Внутрішній діаметр втулки $D_{\text{м}}$ залежить від зовнішнього діаметру напівфабрикату з відхиленням за Н7. Рекомендовані розміри бандажу $D_1 = 2D_{\text{м}} = 90\text{мм}$, $D_2 = 2D_1 = 180\text{мм}$. Виходячи з конструктивних міркувань обираємо наступні розміри бандажу $D_1 = 90\text{мм}$, $D_2 = 180\text{мм}$. Висота матриці $H = 65\text{мм}$ забезпечить розміщення відштампованого напівфабриката, виштовхувач заходить в матрицю на 10мм (рис.3.1). Конусна поверхня (1°30′) забезпечить легке запресовування поверхонь втулки і бандажу.

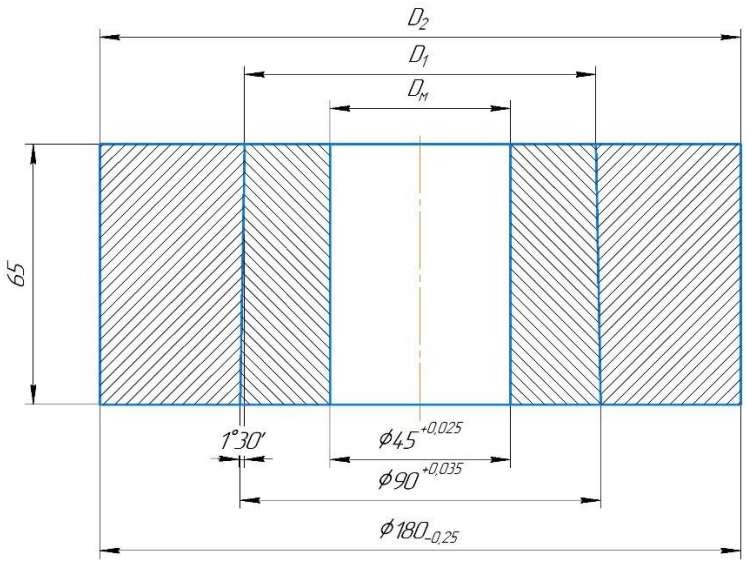


Рис.3.1. Однобандажована матриця

Пуансон для гарячого зворотного видавлювання зображений на рис.3.2. Всі робочі поверхні, крім робочого торця пуансона шліфуються, а робочий торець полірується. Риски на поверхні пуансона і центрувальні отвори на опорній частині не допускаються [50]. Конусна опорна поверхня забезпечить стійкість пуансона.

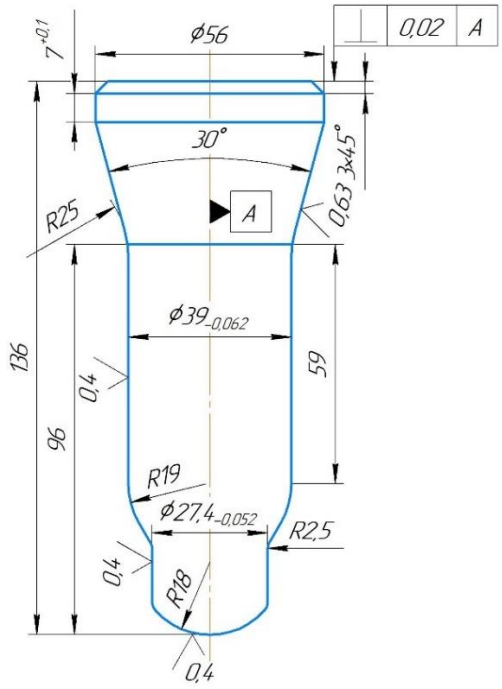


Рис.3.2. Пуансон

Робочі діаметри пуансона призначаєм за розмірами порожнини напівфабрикату. Робоча довжина пуансона $H = (2 \div 2{,}5)d = (2 \div 2{,}5) \cdot 39 = 78 \div 97{,}5$мм. Приймаємо $H = 96$мм. Діаметр опорної частини залежить від діаметру робочої частини пуансона $D = 2d_{\text{р}} = 2 \cdot 27{,}4 = 54{,}8$мм. Приймаємо $D = 56$мм. Радіус переходу робочої частини пуансона в опорну $R \approx d_{\text{р}}$. Приймаємо $R = 25$мм. Висота опорної поверхні $h = 0{,}15D = 8{,}4$мм. Приймаємо $h = 7$мм з фаскою 3мм [50].

Розміри опорної підкладки для об'ємного штампування розраховуються в залежності від номінального розміру матриці. Діаметр опорної підкладки $D_0 = 2D = 2 \cdot 45 = 90$ мм, висота $H = 1{,}25D = 1{,}25 \cdot 45 = 56{,}25$мм. Оскільки штамп для гарячого штампування буде зазнавати меншого напруження на інструменті, обираємо розміри опорної підкладки $D_0 = 84$мм, $H = 50$мм (рис3.3). Робочі опорні поверхні шліфуються [50].

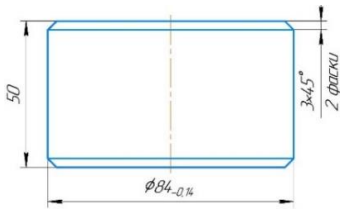


Рис.3.3. Опорна підкладка

Виштовхувач наведений на рис.3.4. Центрувальні отвори і риски на поверхні виштовхувача не допускаються. Довжина виштовхувача приймається конструктивно.

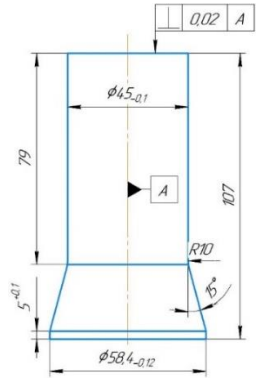


Рис.3.4. Виштовхувач

Товщину верхньої і нижньої плити обираєм 75 мм, товщину поличок для кріплення штампа 32 мм [64]. Мінімальний діаметр колонки:

$$d \approx 15\sqrt[4]{0{,}1P},$$

де: P – зусилля штампування, 560кН;

$$d \approx 15\sqrt[4]{0{,}1 \cdot 560} \approx 41\text{мм}$$

Для збільшення жорсткості штампу обираємо діаметр колонки $d = 56$мм. Зона контакту колонки і втулки повинна бути не менше $2d = 82$мм, в нашому випадку зона контакту 122 мм. Глибину запресування колонок необхідно витримати $(1{,}2 \div 1{,}5)d = 67{,}2 \div 84$ мм, в нашому випадку глибина запресування 75мм [64].

В табл.3.1. представлені матеріали деталей штампу для гарячого зворотного видавлювання [54], [65].

Таблиця 3.1. Матеріали деталей штампу простої дії для зворотного видавлювання.

Деталь	Матеріал	Термообробка	Твердість, HRC
Матриця: -бандаж	30ХГСА	Загартування Відпуск	54…56 43…51
 -втулка	5ХНМ	Загартування Відпуск	55…60 40…45
Пуансон	4Х5МФС	Загартування Відпуск	58…63 46…50
Матрицетримач	У10А	Загартування	55…59
Опорні підкладки	Х12	Загартування	52…56
Пуансонотримач	Сталь 40	Загартування	40…44
Конічне кільце	Сталь 45	Загартування	42…46
Фіксуюче кільце	Сталь 45	Загартування	42…46
Виштовхувач	Х12М	Загартування	54…58
Штовхач	Сталь 40	Загартування	50…54
Направляючі колонки пакету	Сталь 20	Загартування	58…62**
Направляючі втулки пакету	Сталь 20	Загартування	55…69**
Плити блоку	Сталь 40	-	-

**цементація на глибину 0,8 – 1,2 мм

3.2. Конструкція штампу для гарячого зворотного видавлювання

Штамп для гарячого зворотного видавлювання з центруванням пуансону відносно матриці завдяки колонкам і втулкам представлений на рис. 3.5.

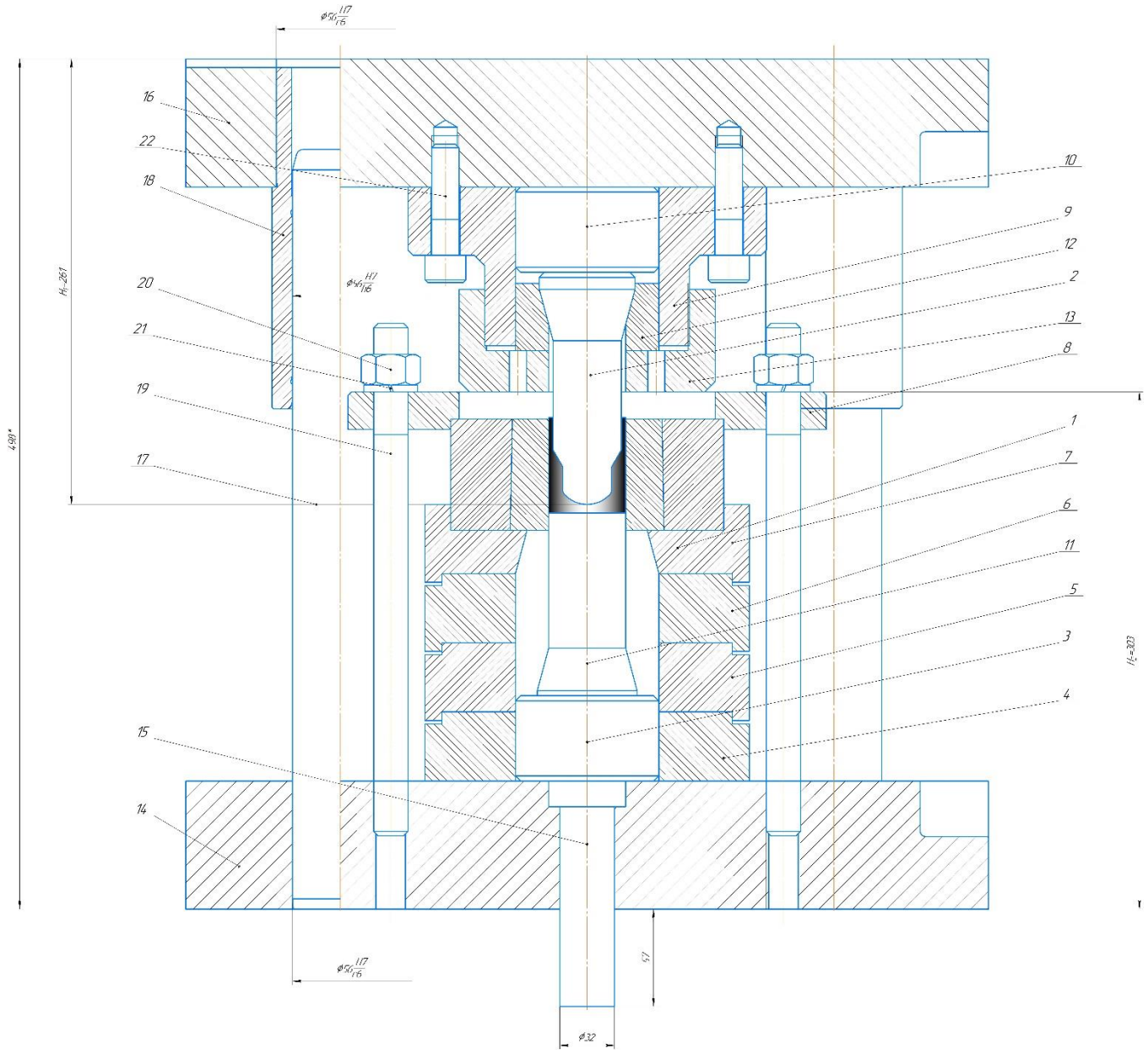


Рис. 3.5. Загальний вигляд штампу

Бандажована матриця (1), яка має порожнину постійного діаметру, з виштовхувачем (11) і опорною підкладкою (3) встановлені в матрицетримачі. Матрицетримач набраний з плит (4-7). Вказані деталі зафіксовані за допомогою

кільця (8), шпильок (19), шайб (21) і гайок (20) до нижньої плити штампу (14), в яку попередньо встановлений штовхач (15). Пуансонотримач (9) закріплений гвинтами (22) до верхньої плити (16). В пуансонотримач (9) встановлені опорна підкладка (10), пуансон (2), конічне кільце (12) і зафіксовано гайкою (13). Штамп має дві колонки (17) і втулки (18) [66].

Робота штампу для гарячого зворотного видавлювання: штамп простої дії виконує гаряче зворотнє видавлювання напівфабрикату. Вихідна заготовка встановлюється в матриці (1). При ході повзуна вниз пуансон (2) виконує деформування заготовки. Напівфабрикат залишається в матриці (1). Повзун піднімається у верхнє крайнє положення. Виштовхування відбувається за допомогою виштовхувача пресу, який діє на виштовхувач (11) через штовхач (15) та опорну підкладку (3) виштовхує деталь з матриці (1). Деталь із штампового простору видаляється вручну за допомогою кліщів.

3.3. Перевірка можливості штампування на гідравлічному пресі П6328

За технологічним зусиллям $P = 560$кН і швидкістю робочого хода $\mathrm{V} = 13$мм/с був обраний гідравлічний прес П6328 [67]. Його основні характеристики: номінальне зусилля $P = 630$ кН, відкрита висота $H_0 = 710$ мм, робочий хід $h_{max} = 500$ мм, габаритні розміри стола 630 х 560 мм. Штамп габаритами 500 х 470 мм підходить для даного пресу.

Проводимо перевірочний розрахунок відкритої висоти штампу простої дії для зворотного видавлювання.

Мінімальна відкрита висота штампа:

$$H_{\text{в}} = H_1 + H_2 + H_{\text{д}},$$

де: H_1 – висота верхньої половини штампа;

H_2 –висота нижньої половини штампа;

$H_{\text{д}}$ – висота деталі (з зазором $z = 4$ мм);

$$H_{\text{в}} = 261 + 303 + 60 = 624\text{мм} < H_0 = 710\text{мм}$$

Відкрита висота преса є достатньою.

Перевірка достатності робочого ходу

$$H_1 = H_0 - H_{\text{з}},$$

де: H_0 –максимальна відкрита висота;

$H_{\text{з}}$ – закрита висота штампа;

$$H_1 = 710 - 498 = 212\text{мм} < h_{max} = 500\text{мм}$$

Робочого ходу преса достатньо для деформування напівфабриката. Отже, обраний прес П6328 може використовуватися для штампування напівфабрикату із застосуванням штампу.

Висновки до розділу

Результати конструювання штампового оснащення підтвердили можливість практичної реалізації розробленого технологічного процесу гарячого зворотного видавлювання на існуючому технологічному обладнанні.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Досліджена можливість отримання напівфабрикату гільзи з дуралюміну Д16 для автоматичного гранатомету методами холодного і гарячого штампування, які дозволяють збільшити продуктивність праці та коефіцієнт використання матеріалу, що є особливо актуальним в умовах серійного та масового виробництва боєприпасів. Встановлено, що оптимальними процесами деформування для отримання напівфабрикату можуть бути об’ємне штампування в холодному або гарячому стані з наступною механічною обробкою. Підтверджено, що напівфабрикат можна отримати гарячим або холодним штампуванням. Більш раціональним є гаряче зворотне видавлювання, яке, не зважаючи на недоліки, забезпечує більш високий коефіцієнт використання матеріалу, менші питомі тиски на деформуючому інструменті (при забезпеченні визначених параметрів деформування) та втрати металу після фінішної механічної обробки. Отримані результати можуть бути використані для подальшої дослідницької роботи або при виробничому проектуванні технологічного процесу.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Справочник по технологии патронного производства: в 2 т. Т.1 / Под ред. Н.П. Агеева; Балт. гос. техн. ун-т. − СПб., 2011. − 643 с.
2. Справочник по технологии патронного производства: в 2 т. Т.2 / Под ред. Н.П. Агеева; Балт. гос. техн. ун-т. − СПб., 2011. − 345 с.
3. Гранотомёт [Електронний ресурс] // Свободная энциклопедия Википедия– Режим доступу до ресурсу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Гранатомёт
4. Гранатометы и реактивные противотанковые гранаты [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: https://voennizdat.com/konspekt.php?mark=ogn&model=ogn67https://voennizdat.com/konspekt.php?mark=ogn&model=ogn67
5. Автоматический гранатомет Mk.19 (Mark 19) США [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://modernfirearms.net/ru/granatomety/ssha-granatomety/mk-19/
6. Кумулятивные боеприпасы [Електронний ресурс] // Свободная энциклопедия Википедия– Режим доступу до ресурсу: https://ru.wikipedia.org/wiki/ Кумулятивные боеприпасы
7. Генкин, Ю.В. Конструкция артиллерийских выстрелов: учебное пособие / Ю.В. Генкин, Я.О. Павлов, М.А. Преображенская; Балт. гос. техн. ун-т. − СПб., 2012. − 114 с.
8. Фугасный снаряд: назначение, принцип действия, отличия от мины– Режим доступу до ресурсу: https://soldats.club/oruzhie/448-fugasnyj-snarad#i
9. 40 × 53 [Електронний ресурс] // Свободная энциклопедия Википедия– Режим доступу до ресурсу:

https://ru.wikipedia.org/wiki/40_×_53_мм

10. Зарубежные гранатометные выстрелы_[Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://oruzheika.blogspot.com/2014/04/zarubezhnye-granatometnye-vystrely.html?m=1
11. Ordnance, Explosives, and Related Items [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://bulletpicker.com/cartridge_-40mm-hedp_-m430_-m4.html
12. А. Р. Сафарянц. Технология патронно-гильзового производства: учебное пособие для техникумов / Под ред. Ю.Е. Полетаев; ЦНИИ информация 1975. – 208 с.
13. Марочник стали и сплавов [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.splav-kharkov.com/choose_type.php#3
14. Алюминиевые сплавы [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://normis.com.ua/alumin
15. ГОСТ 4784-97 Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки (с Изменениями N 1, 2, 3, с Поправками)
16. Конструкционные алюминиевые сплавы дюралюмины [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.metmk.com.ua/14spr_alum.php
17. Термообработка дюралюминия: отжиг, закалка, старение [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.metmk.com.ua/10a_treatment.html

18. Материаловедение и технология металлов: Учеб. для студентов машиностроит. спец. вузов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюхин и др.; Под ред. Г.П. Фетисова.-М.: Высш.шк., 2002.-638 с.
19. Материаловедение: Учебник для вузов/ Б.Н.Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.; под общ. ред. Б.Н. Арзамасова и Г.Г. Мухина – 3 изд., стереотип-М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002-648 с.
20. Образование зон Гинье - Престона [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.ktovdome.ru/teoriya_termicheskoy_obrabotki_materialov/364_2/86/11058.html
21. Д16 алюминиевый сплав [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://cu-prum.ru/alyuminij1/splav-d16.html
22. Алюминиевые сплавы.- В кн.: Авиация: Энциклопедия / Гл. ред. Г. П. Свищев. — М.: Научное издательство «Большая российская энциклопедия»: Центральный аэрогидродинамический институт им. Н. Е. Жуковского, 1994. — 736 с.
23. Состав – структура – свойства цветных металлов и сплавов, полимерных материалов: лабораторный практикум по курсу «Материаловедение и технология конструкционных материалов» для студентов химических и технологических специальностей / А. К. Вершина [и др.]. – Минск: БГТУ, 2010. – 63 с.
24. Ostash, O. P., Andreiko, I. M., Holovatyuk, Y. V., & Semenets', O. I. (2008). Effect of corrosive media on the fatigue life of degraded D16- and V95-type aluminum alloys. Materials Science, 44(5), 672–682.

25. Bühler H., Höptner H.G., Löwen J. Die Formänderungsfetigkeit von Aluminium und einigen aluminiumlegierungen // Bänder Bleche Rohre. 1970.11.-S. 645-649.
26. И.Ф. Колобнев. Термическая обработка алюминиевых сплавов. Металлургия, М. (1966). 395 с.
27. H. Kastner, Aushärtbare Knetlegierungen, Zürich, 1944. - S. 705-751.
28. В.А. Ливанов, Е.И. Шилова, Т.Н. Голохманова, О.Г. Никитаева, сб. Легкие метасплавы, Изд. АН СССР, 1958. – 88 с.
29. Е. И. Шилова, сб. Легкие сплавы, Из-во АН СССР, 1958. – 123 с.
30. Плакирование - [Електронний ресурс] // Свободная энциклопедия Википедия– Режим доступу до ресурсу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Плакирование
31. Плакировка листов из алюминия и алюминиевых сплавов [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.metmk.com.ua/191spr_alum.php
32. А.Н. Малов Производство патронов стрелкового оружия. - М.: Государственное издательство оборонной промышленности, 1947. — 419 с.
33. Семенов Е.И. (ред.) Ковка и штамповка. Справочник в 4-х томах. Том 2. Горячая штамповка – М.: Машиностроение, 1987. – 384 с.
34. Алюминий Д16 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://metallicheckiy-portal.ru/marki_metallov/alu/D16
35. QForm [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://cae-systems.ru/products/qform
36. DEFORM [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://tesis.com.ru/cae_brands/deform/

37. LS-DYNA Keyword User's Manual, Volume 1. Livermore Software Technology Corporation (LSTC)
38. Советов Б. Я., Яковлев С. А. С 56 Моделирование систем: Учеб. для вузов — 3-е юд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 2001. — 343 с.
39. Гречников Ф.В. Моделирование объектов в металлургии и обработке металлов давлением: учеб. пособие / Ф.В. Гречников, И.П. Попов, А.Г. Шляпугин. Самара: Изд-во Самар, гос. аэрокосм, ун-та, 2007. - 96 с.
40. Паршин В.С., Карамышев А.П. и др. Практическое руководство к программному комплексу DEFORM-3D. - Учебное пособие. — Екатеринбург: УрФУ, 2010. — 266 с.
41. Калюжний О.В. Зменшення кількості переходів витягування вісесиметричних виробів з використанням матриці спеціального профілю / О.В. Калюжний // Обработка материалов давлением: сб. науч. трудов. – Краматорськ: ДГМА, 2013. – №4(37). – С. 93–97.
42. Калюжный В.Л. Определение усилий извлечения пуансона из сдеформированной заготовки и выталкивания заготовки из матрицы при холодном выдавливании полых изделий с разной степенью деформации / В.Л. Калюжный, Л.И. Алиева, В.Н. Горностай // Усовершенствование процессов и оборудования для обработки давлением в металлургии и машиностроении: сб. науч. трудов. – Краматорск: ДГМА, 2016. – №1(42). – С. 90– 100.
43. Калюжный В.Л. Влияние геометрии рабочего торца плоско-конусного пуансона на силовые режимы и качество изделий при холодном выдавливании стаканов / В.Л. Калюжный, А.В. Шапочка // Усовершенствование процессов и оборудования для обработки давлением в металлургии и машиностроении: сб. науч. трудов. – Краматорск: ДГМА, 2001. – С. 214–216.

44. Калюжный В.Л. Влияние контактного трения на процесс обратного выдавливания стаканов / В.Л. Калюжный, В.Н. Горностай // Вестник Житомирского инженерно-технологического института. – Житомир: ИТИ, 2001. – №19. – С. 36–39.
45. Ji, K., Fakir, O. E., Gao, H., & Wang, L. (2015). Determination of Heat Transfer Coefficient for Hot Stamping Process. Materials Today: Proceedings, 2, S434–S439.
46. Ilinich, A. and Luckey, S., "On Modeling the Hot Stamping of High Strength Aluminum Sheet," SAE Technical Paper 2014-01-0983, 2014.
47. Bariani, P. F., Bruschi, S., Ghiotti, A., & Michieletto, F. (2013). Hot stamping of AA5083 aluminium alloy sheets. CIRP Annals, 62(1), 251–254.
48. Zhou, J., Wang, B., Lin, J., & Fu, L. (2013). Optimization of an aluminum alloy anti-collision side beam hot stamping process using a multi-objective genetic algorithm. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 13(3), 401–411.
49. Агеев, Н.Л. Технология производства патронов стрелкового оружия. Ч. 3. Обработка резанием, термическая и химическая обработка. сборка. Проектирование технологических процессов / ПЛ. Агесв, Г.А. Даннлнн, В.П. Огородников; Балт. гос. техн. ун-т. — СПб., 2006. - 220 с.
50. Навроцкий Г.А. Холодная объемная штамповка. Справочник. - М., "Машиностроение", 1973. – 498 с.
51. Семенов Е.И.(ред.) Ковка и штамповка. Справочник в 4-х томах. Том 3. Холодная объемная штамповка– М.: Машиностроение, 1987. – 384 с.
52. Орлюк М.В., Лавріненков А.Д., Шупіченко А.А. Порівняльний аналіз технологій виготовлення напівфабрикату гільзи гранатомету із сплаву Д16Т. // Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції «Теоретичні та практичні проблеми в обробці металів тиском і якості

фахової освіти». - Київ - Херсон – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019 р. – С. 154 – 157. [Электронный ресурс]. –Режим доступу до ресурсу: http://mpm-rp.kpi.ua/wp-content/uploads/2019/03/Materiali-konferentsiyi-2019.pdf

53. М.А. Матвеев. Оценка вероятности разрушения металла при горячей пластической деформации с помощью критерия Кокрофта— Латама // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2017. № 23. С. 109–126.
54. Околович Г. А.. Штамповые стали для холодного деформирования металлов: Монография / Г. А. Околович; Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. Изд. 2-е, переработанное, дополненное. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010, 202 с.
55. Соловцов С.С. Безотходная разрезка сортового проката в штампах / С.С.Соловцов // – М.: Машиностроение, 1985. – 176 с.
56. Мельников П.С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1979. – 296 с.
57. Орлюк М.В. Граничні значення критеріїв руйнування при моделюванні процесів витягування в середовищі DEFORM // Обработка материалов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА, 2017. – № 2(45). – С. 22-29. – Режим доступу до ресурсу: http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/omd/omd_2(45)_2017/article/6.pdf, http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27990
58. Термическая обработка алюминиевых сплавов в печах типа ПАП [Электронный ресурс]. –Режим доступу до ресурса: https://inductor.su/tehnicheskaya-biblioteka/termicheskaya-obrabotka-alyuminievyh-splavov-v-pechah-tipa-pap/

59. Характеристика оборудования для термической обработки сплавов [Электронный ресурс]. –Режим доступу до ресурсу: http://metal-archive.ru/korrozionnostoykie-alyuminievye-splavy/4463-harakteristika-oborudovaniya-dlya-termicheskoy-obrabotki-splavov.html
60. Энциклопедия по машиностроению XXL [Электронный ресурс]. –Режим доступу до ресурсу: http://mash-xxl.info/page/19011917210218907915108406704518920520914412423 4
61. Масла не смешиваемые с водой, без графита [Электронный ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://evrosmazki.ua/catalog/category/view/242.html
62. Токарные станки с ЧПУ – современные технологии в обработке металла и дерева [Электронный ресурс]. –Режим доступу до ресурсу: http://met-all.org/oborudovanie/stanki-tokarnye/tokarnyj-stanok-chpu-po-metallu.html
63. Программное обеспечение для 3D моделирования Creo [Электронный ресурс]. –Режим доступу до ресурсу: https://www.ptc.com/ru/products/cad/creo/parametric
64. РТМ 105-0-212-83. Штампы для холодной листовой штамповки. Расчеты и конструирование
65. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин и др; Под общ. ред. В. Г. Сорокина. — М.: Машиностроение, 1989. — 640 с.
66. Евстратов В.А. Основы технологии выдавливания и конструирования штампов. – Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. Ун-те, 1987. – 144 с.
67. Справочник по оборудованию. Для листовой штамповки/Л. И. Рудман, А. И. Зайчук, В.Л. Марченко и др.; Под общ. ред. Л.И. Рудмана. – К.:Техника, 1989. – 231 с.

Додаток А

Коди програм механічної обробки

Код керуючої програми (перша установа):

```
MSG (“2 KANAL”)
L1000
L2001
L2002
L2003
L2004
L2005
L2006
M30
```

1. L2001 (Торцювання)

```
L710
T01 D01
G92 S4=2500
G96 S4=20 M4=04
G18 G00 X50.257 Z2.828 M208
G01 X44.6 Z0 F0.80
X36 F0.18
Z1 F8
X43.071 Z4.536 F1
M209
M4=05
L710(1)
M17
```

2. L2002 (Чорнове розточування)

```
L710
T03 D01
G92 S4=2500
G96 S4=250 M4=04
G18 G00 X38.727 Z1.38
M208
G01 X39.7 F0.15
```

Z-17.206
X38.505 Z-17.804
G00 X37.185
Z1.38
G01 X39.7
Z-17.206
X37.856 Z-18.128
G02 X37.3 Z-18.8 CR0.95
G01 X37.31
Z-25.23
X37.3
G03 X36.115 Z-26.672 CR2.05
G00 X34.795
Z-18.8
G01 X37.31
X37.3
Z-25.23
G03 X33.2 Z-27.28 CR2.05
G02 X31.856 Z-27.558 CR0.95
G01 X28.656 Z-29.158
G02 X28.1 Z-29.83 CR0.95
G01 Z-44.8
X28.165 Z-45.046
X28.945 Z-46.501
Z-46.85
X27.75
G00 X26.43
Z-46.501
G01 X28.945
X29.132 Z-46.85
X27.75
G00 X25.75
M209
M4=05
L710
M17

3. L2003 (Свердління)

```
L710
T02 D01
G97 S4=600 M4=04
G18 G00 X0 Z-45 M208
G94
MCALL CYCLE81(-47.93,-48.93,1,,7.47)
Z-47.934 F40
MCALL
G00 Z-45
G01 Z15 F180
M209
M4=05
L710
M17
```

4. L2004 (Обробка канавки)

```
L710(1)
T04 D01
G92 S4=2500
G96 S4=20 M4=04
G18 G00 X28.6 Z-44 M208
G01 X30.6 F0.10
X24.6 F0.50
M209
M4=05
L710
M17
```

5. L2005 (Чистове розточування)

```
L710
T05 D01
G92 S4=2500
G96 S4=50 M4=04
G18 G00 X40 Z1 M208
G01 Z-17.034 F0.10
```

X37.834 Z-18.117
G02 X37.6 Z-18.4 CR0.4
G01 Z-24.83
G03 X32.4 Z-27.43 CR 2.6
G02 X31.834 Z-27.547 CR 0.4
G01 X28.634 Z-29.147
G02 X28.4 Z-29.43 CR 0.4
G01 Z-44.4
G02 X28.427 Z-44.504 CR 0.4
G01 X29.765 Z-47
X20.7
G02 X20.258 Z-47.067 CR 0.4
G03 X3.733 Z-49.939 CR 17.6
G01 X4.155 Z5.061 F1
M209
M4=05
L710
M17

6. L2006 (Нарізання різьби)

L710
T07 D01
G92 S4=2500
G96 S4=1300 M4=04
G18 G00 X35 Z5 M208
G0 Z2 X29.062
G33 Z-44 K1.5
G1 F2 X25
Z-25
X29.22
G33 Z-44 K1.5
G1 F2 X25
Z-25
X29.42
G33 Z-44 K1.5

G1 F2 X25
Z-25
X29.62
G33 Z-44 K1.5
G1 F2 X25
Z-25
X29.82
G33 Z-44 K1.5
G1 F2 X25
Z-25
X30.02
G33 Z-44 K1.5
G1 F2 X25
Z-25
X30.22
G33 Z-44 K1.5
G1 F2 X25
Z-25
X30.42
G33 Z-44 K1.5
G1 F2 X25
Z-25
X30.526
G1 F2 X20 Z5
G0 Z50 X150
Z150
M209
M4=5
L710
M17

Код керуючої програми (друга установа):

```
MSG (“1 KANAL”)
L1000
L1001
L1002
M30
```

1. L1001 (Торцювання)

```
L710
T01 D01
G92 S3=2500
G96 S3=50 M3=04
G18 G00 X50.243 Z-2.121 M108
G01 X46 Z0 F0.50
X.94 F0.18
Z-1 F0.50
X9.425 Z-5.243 F0.80
M109
M3=05
L710(1)
M17
```

2. L1002 (Чистова обробка профілю)

```
L710
T06 D01
G92 S3=2500
G96 S3=250 M3=03
G18 G00 X46.2 Z55.767 M208
G01 X44.2 F0.15
Z-.4
G00 X46.4
Z55.767
G01 X43
Z2.1
X43.2
```

G03 X44.2 Z1.6 CR 0.5
G00 X46.4
Z55.767
G01 X41.8
Z2.1
X43
G00 X45.2
Z5.2
G01 X41.8
G03 X41.507 Z4.846 CR 0.5
G01 X40.2 Z4.193
Z2.1
X41.8
G00 X46.4
Z55.542
X43.6
G01 X41.6
Z5.2
G03 X41.366 Z4.917 CR 0.4
G01 X40 Z4.234
Z2
X43.2
G03 X44 Z1.6 CR 0.4
G01 Z-1.342
G00 X46
M209
M3=05
L710
M17