

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут
Кафедра технології виробництва літальних апаратів

«На правах рукопису»
УДК 621.7, 621.983

«До захисту допущено»
В.о. завідувача кафедри
_____ А.Д. Лавріненко
«__» _____ 2022 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Прикладна механіка пластичності
матеріалів»
зі спеціальності 131 Прикладна механіка
на тему: «Розробка конструкції та технології виготовлення корпусу
гранати гранатометного пострілу калібру 40мм»

Виконав(-ла):
студент(-ка) 2 курсу, групи МД-01мн
_____ Савченко Денис Валентинович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник: старший викладач., к.т.н., Піманов Валерій 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 – 2022 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут
Кафедра технології виробництва літальних апаратів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 Прикладна механіка

Освітньо-наукова програма «Прикладна механіка пластичності матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Антон ЛАВРІНЕНКОВ

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Савченко Денис Валентинович

1. Тема дисертації «Розробка конструкції та технології виготовлення корпусу гранати гранатометного пострілу калібру 40мм», науковий керівник дисертації Піманов Валерій Володимирович, старший викладач, к.т.н, затверджені наказом по університету від «01» 04 2022 р. №793-с
2. Термін подання студентом дисертації 03.06.2022 р.
3. Об'єкт дослідження: конструкція корпусу осколкової гранати до пострілу калібром 40мм та поопераційні процеси формоутворення напівфабрикату
4. Предмет дослідження: особливості конструкції корпусу та поопераційні процеси формоутворення напівфабрикату зі сталі 10
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: виконати літературний огляд процесів витягування попередньо спрофільованих заготовок, моделювання процесів виготовлення, проектування штампового оснащення
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: в тексті 62 рисунка
7. Орієнтовний перелік публікацій: 1 стаття у фаховому виданні

8. Консультанти розділів дисертації*

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

9. Дата видачі завдання 18.10.2021

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Отримання завдання на магістерську дисертацію	18 жовтня 2021р.	
2	Проведення літературного огляду до першої частини	19 жовтня 2021р – 12 грудня 2021р.	
3	Проведення аналізу технологічності та розробка технології виготовлення	14 січня 2022р. – 5 лютого 2022р.	
4	Моделювання процесу гарячого профілювання	5 лютого 2022р. – 4 березня 2022р.	
5	Моделювання процесу карбування концентраторів	6 березня 2022р. – 15 березня 2022р.	
6	Моделювання процесу витягування	16 березня 2022р. – 2 квітня 2022р.	
7	Проектування штампів	3 квітня 2022р. – 22 травня 2022р.	
8	Оформлення пояснювальної записки по розділам	23 травня 2022р. – 6 червня 2022р.	

Студент

Денис САВЧЕНКО

Науковий керівник

Валерій ПІМАНОВ

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

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з 96 сторінок, в тексті зазначено 62 рисунка, 4 таблиці. В даній атестаційній роботі використано 46 найменувань 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 корпусу гранатометного пострілу калібру 40×53 мм за рахунок застосування штампувальних операцій є актуальною.

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

В дисертаційній роботі були виконані наступні задачі:

- проведений аналітичний огляд науково-технічних публікацій про процеси витягування попередньо спрофільованих заготовок;
- на основі проведеного аналізу визначені основні напрямки дослідження;
- виконано чисельне моделювання процесів гарячого профілювання, карбування та витягування в системі CAD/CAE DEFORM 2D і 3D, встановлено оптимальну схему штампування;
- спроектовано відповідне штампове оснащення;

Об'єкт дослідження – процес виготовлення напівфабрикату корпусу методами листового штампування.

Предмет дослідження – особливості витягування у двохконусну матрицю попередньо спрофільованої заготовки.

Методи дослідження – для вибору оптимальної схеми виготовлення були застосовані основні положення теорії обробки металів тиском та моделювання процесу штампування в програмному комплексі DEFORM 3D.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- розроблено конструкцію корпусу гранати до пострілу калібром 40 мм;
- розроблено технологію виготовлення корпусу гранати до пострілу калібром 40 мм та проведено математичне моделювання поопераційних переходів формоутворення напівфабрикатів.

Практичне значення одержаних результатів – на основі проведених досліджень обрана оптимальна схема штампування напівфабрикату, яка використана при проектуванні штампового оснащення.

Особистий внесок здобувача:

розглянуті основні способи отримання напівфабрикату методами листового штампування; обрані оптимальні схеми штампування; виконане чисельне моделювання процесів листового штампування та проведено аналіз отриманих результатів.

Апробація:

Акт впровадження технології на виробництві Державне підприємство «Шосткінський завод «Імпульс».

Ключові слова: *корпус, автоматичний гранатомет, витягування, попередньо-спрофільована заготовка, метод скінченних елементів, напружено-деформований стан, критерій руйнування, механічна обробка.*

ABSTRACT

The master dissertation consists of 96 pages, the text contains 62 figures, 4 tables. 46 titles of bibliographic references were used in this attestation work.

In modern production much attention is paid to the processes of metal forming, which allow to intensify the process of obtaining work parts and to increase the efficiency of the material use. Therefore, optimization of the technology to obtain warhead body for 40×53 mm caliber ammunition through the use of stamping operations is relevant.

The aim of the work is to establish possible options for stamping, selection of optimal processing schemes to manufacture warhead bodies for automatic grenade launcher ammunition, as well as to design appropriate stamping equipment.

The following tasks were performed in the dissertation:

- analytical review of scientific and technical publications on the processes of sheet drawing of previous profiled blanks;
- main directions of research are defined on the basis of the conducted analysis;
- numerical modeling of hot-pressing, mintage and sheet drawing processes were performed in CAD / CAE DEFORM 2D and 3D system, optimal stamping scheme was established;
- corresponding stamping equipment was designed/

The object of research is the process of manufacturing a warhead body by sheet-metal stamping.

Subject of research – peculiarities of sheet drawing of previous profiled blanks in a two-cone bottom die.

Research methods - main provisions of the theory of metal forming and modeling of the stamping process in the DEFORM 3D software package were applied to select the optimal extrusion scheme, and the Creo Parametric software package was used for subsequent mechanical processing.

The scientific novelty of the obtained results is as follows:

- the design of the warhead body for a 40 mm caliber ammunition was developed;
- the technology of manufacturing a warhead body for a 40 mm caliber ammunition was developed and a mathematical modeling of postoperative transitions of semi-finished products was carried out.

Practical significance of the obtained results – the optimum scheme of stamping of the semi-finished product was chosen on the basis of the conducted researches, and is used to design the stamping equipment.

Personal contribution of the applicant:

the main methods of obtaining a product by sheet-metal stamping methods were researched; optimal stamping schemes were chosen; numerical modeling of sheet-metal stamping processes were performed and obtained results were analyzed.

Approbation:

Act on the introduction of technology in the production of State enterprise «Shostkynskyi zavod «Impuls».

Keywords: *warhead body, automatic grenade launcher, sheet drawing, previous profiled blanks, finite element method, stress-strain state, failure criterion, mechanical processing.*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОСНТРУКЦІЙ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ КОРПУСУ ГРАНАТИ ГРАНТОМЕТНОГО ПОСТРІЛУ.....	13
1.1 Типи гранатометів та гранатометних пострілів калібру 40х53 та їх загальні характеристики.....	13
1.2 Аналіз існуючих технологій для виготовлення корпусу гранатометного пострілу.....	18
1.3 Матеріали, що використовуються для виготовлення корпусу гранатометного пострілу та його осколковість.....	22
1.4 Висновки до першого розділу і постановка задачі дослідження.....	26
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	27
2.1 Вибір конструкції корпусу гранати до 40 мм гранатометного пострілу.....	27
2.2 Розрахунок технології виготовлення.....	31
2.2.1 Розрахунок вихідної форми та розмірів заготовки.....	31
2.3 Розрахунок ефективності технології виготовлення.....	34
2.4 Розрахунок технологічних параметрів операційних переходів.....	36
2.4.1 Коефіцієнт витягування.....	36
2.4.2 Технологічне розрахункове зусилля.....	37
2.5 Висновки до другого розділу.....	37
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКОВИЙ АНАЛІЗ ПООПЕРАЦІЙНИХ ПЕРЕХОДІВ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ КОРПУСУ ГРАНАТИ 40 ММ ГРАНАТОМЕТНОГО ПОСТРІЛУ.....	38
3.1 Моделювання поопераційних технологічних переходів.....	38
3.2 Моделювання профілювання заготовки.....	41

3.3 Моделювання процесу карбування концентраторів на спрофільованій заготовці.....	47
3.4 Моделювання витягування спрофільованої заготовки в 2D.....	51
3.4.1 Моделювання витягування спрофільованої заготовки в 3D.....	55
3.5 Висновки до третього розділу.....	57
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОСКОЛКОВОСТІ КОРПУСУ 40 ММ ГРАНАТИ.....	58
4.1 Загальна теорія, матеріали та методи.....	58
4.2 Моделювання дроблення корпусу.....	63
4.3 Висновки до четвертого розділу.....	80
РОЗДІЛ 5. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	81
5.1 Штампове оснащення для гарячого профілювання.....	81
5.2 Штампове оснащення для карбування.....	83
5.3 Штампове оснащення для витягування.....	86
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	91
ДОДАТОК А. Перелік публікацій.....	97
ДОДАТОК Б. Специфікації до складальних креслень.....	98

ВСТУП

Актуальність. На сьогоднішній день в усьому світі розглядається можливість максимально оновлювати озброєння, яке є більш ефективним та надійним. Таким чином більшість країн світу в тому числі і Україна переходить на стандарти НАТО. У зв'язку з військовими подіями, що розгорнулися в Україні, не дивлячись на допомогу західних партнерів з забезпеченням озброєння та боєприпасів наша держава гостро потребує у власному виробництві великих партій боєприпасів. На даний час великий відсоток боєприпасів, а особливо боєприпасів стандарту НАТО, в Україні закуповують за кордоном. Не значні спроби деяких Українських підприємств організувати виробництво боєприпасів стандарту НАТО, а особливо до гранатометів калібром 40мм, виявились невдалими. Перш за все виявились не конкурентні за ціною та надійністю боєприпасу в цілому, оскільки при виготовленні їх комплектуючих використали не якісні матеріали, і пішли по шляху отримання механічною обробкою відповідальних деталей, таких як гільзи та корпус гранати. Але такий спосіб отримання деталей, орієнтуючись, що виробництво боєприпасів це крупносерійний або масовий тип виробництва не раціональний з точки зору витраченого часу та показника коефіцієнта використання матеріалу, що звісно економічно не вигідно. Тому доцільно використовувати методи пластичного деформування, які збільшать обсяги виготовлених боєприпасів за певний час, збільшать коефіцієнт використання матеріалу, та забезпечать необхідні механічні властивості деталей, що дозволить прогнозувати якість виробів.

Мета роботи. Використовуючи комп'ютерне моделювання розробити конструкцію та технологію виготовлення корпусу осколкової гранати до пострілу калібром 40мм, з прогнозованими механічними властивостями.

Задачі дослідження:

- 1) Провести аналіз існуючих боєприпасів калібром 40мм стандарту НАТО та їх конструкцій.

2) Розробити конструкцію корпусу, технологічність виготовлення якого, повинна забезпечувати мінімальну кількість технологічних переходів при цьому забезпечивши необхідні балістичні характеристики та ефективність дії під час вибуху.

3) Провести аналіз існуючих способів та технологій для отримання порожнистих виробів.

4) Розробити технологію виготовлення напівфабрикату, яка забезпечить високопродуктивне виробництво.

5) Використовуючи програмний комплекс DEFORM провести перевірку та оптимізацію технології виготовлення напівфабрикату.

6) Використовуючи результати моделювання спроектувати штампове оснащення для обраної схеми штампування.

Об’єкт дослідження – конструкція корпусу осколкової гранати до пострілу калібром 40мм та поопераційні процеси формоутворення напівфабрикату.

Предмет дослідження – особливості конструкції корпусу та поопераційні процеси формоутворення напівфабрикату зі сталі 10.

Методи дослідження – використання основних положень теорії обробки металів тиском для вибору конструкції корпусу та оптимального технологічного ланцюга виготовлення, та використання програмного пакету DEFORM для моделювання процесів формоутворення.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- розроблено конструкцію корпусу гранати до пострілу калібром 40мм та проведено дослідження впливу конструктивних особливостей на ефективність утворення осколкового поля під час підриву.

- розроблено технологію виготовлення корпусу гранати до пострілу калібром 40мм та проведено математичне моделювання поопераційних переходів формоутворення напівфабрикатів.

Практичне значення одержаних результатів – за результатами проведеної роботи під серійне виробництво було розроблено технологію та штампове оснащення для виготовлення напівфабрикату корпусу гранати до пострілу калібром 40мм стандарту НАТО.

Особистий внесок здобувача:

Проведено аналіз існуючих конструкцій та надійності боєприпасів стандарту НАТО для гранатометів, досліджено особливості конструкції головних складових боєприпасів, таких як корпус, розглянуто основні способи формоутворення напівфабрикату; обрано оптимальну схему штампування виробу; виконано чисельне моделювання в програмному комплексі DEFORM процесів поопераційних переходів та проведено аналіз результатів.

Апробація.

Акт впровадження технології на виробництві Державне підприємство «Шосткінський завод «Імпульс».

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОСНТРУКЦІЙ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ КОРПУСУ ГРАНАТИ ГРАНТОМЕТНОГО ПОСТРІЛУ

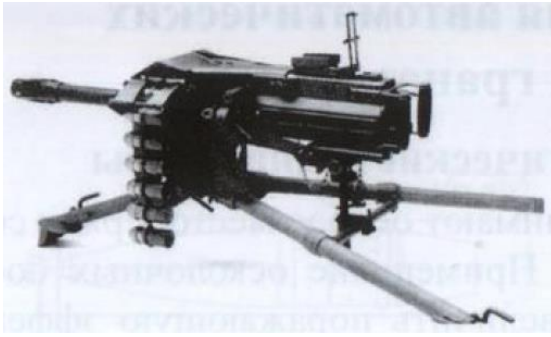
1.1 Типи гранатометів та гранатометних пострілів калібру 40x53 та їх загальні характеристики

Гранатомет – переносна вогнепальна зброя, яка призначена для ураження озброєння, військової техніки або живої сили противника за допомогою гранатометного пострілу, який за калібром значно більший ніж патрон стрілецької зброї [1].

Перші автоматичні гранатомети були розроблені в СРСР в 1930-х роках. Автоматичні гранатомети почали перебувати на озброєнні зарубіжних країн з 1960-х років. Прообразом для розробки автоматичних гранатометів став американський гранатомет МК-19. В останній час потреба в наявності автоматичних гранатометів зростає через збільшення воєнних конфліктів малої інтенсивності, в яких ця зброя вкрай необхідна. Найбільш розповсюджені зарубіжні автоматичні гранатомети зображені на рис. 1.1 і основні технічні характеристики вказані в таблиці 1.1 [2].

Таблиця 1.1. Тактико-технічні характеристики зарубіжних гранатометів

Країна-виробник	США	Німеччина	Румунія	Сінгапур	ЮАР	Іспанія	Китай
Тип	Mk19	GMG	AGA-40	40AGL	AGL	LAG40	W87
Калібр, мм	40	40	40	40	40	40	35
Початкова швидкість гранати, м/с	241	241	223	241	242	240	170
Макс. дальність стрільби, м	2200	2200	1400	2200	2200	2200	1500
Темп стрільби, пострілів/хв	395-425	330	300	350	400-425	350-450	400



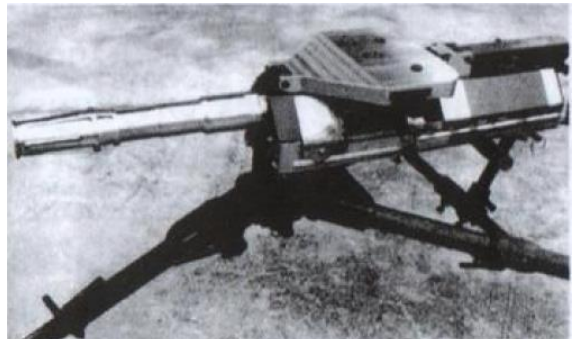
Мк-19 (США)



GMG (Німеччина)



AGA-40 (Румунія)



CIS 40AGL (Сінгапур)



AGL 40 «Вектор» (ЮАР)



LAG 40 SB-M1 (Іспанія)



W87 (Китай)

Рисунок 1.1 – Види зарубіжних автоматичних гранатометів

Гранатомети мають таку класифікацію:

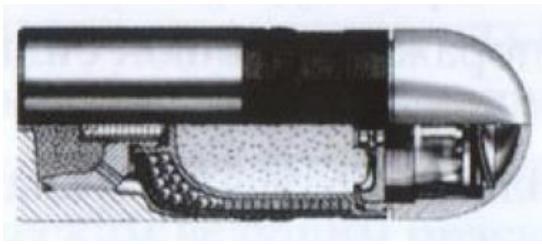
- за принципом дії: безвідкатні, активні, реактивні та активно-реактивні;
- за кратністю застосування: одноразового та багаторазового використання;
- за конструкцією: гвинтівкові, ручні, підствольні, станкові та автоматичні;
- за пристроєм ствола: гладкоствольні, нарізні, з роз'ємними стволами та зі стволами, що складаються;

Існує велике різноманіття зарубіжних боєприпасів для автоматичних гранатометів, серед яких [2]:

- осколково-фугасна граната, яка формує осколки за рахунок дроблення корпусу гранати або за наявності в ній попередньо готових уражаючих елементів з радіусом ураження 5-10 м;
- кумулятивно-осколково-фугасна граната, яка забезпечує пробиття броні 40-76 мм при куті зустрічі з ціллю 0° і радіусом ураження до 5 м;
- граната зі спеціальними стріловидними уражаючими елементами;
- граната з димоутворюючим та запальним снарядом;
- граната з освітлювальним снарядом зеленого, червоного або жовтого кольорів;
- граната з димоутворюючою сумішшю зеленого, червоного або жовтого кольорів;
- учбова граната.

У більшості зарубіжних гранатометів використовується калібр 40x53 мм. Гранатометний постріл 40x53 мм – типорозмір американських унітарних пострілів до автоматичних гранатометних систем, що затверджені як стандарт боєприпасів країн НАТО [3].

Конструкції найбільш поширених 40-мм пострілів для автоматичних гранатометів зображені на рисунку 1.2 [2, 4].



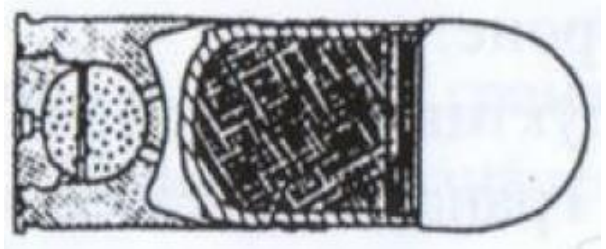
Постріл Diehl GmbH (Німеччина)



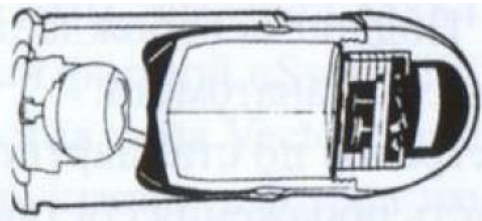
Постріл AGA (Румунія)



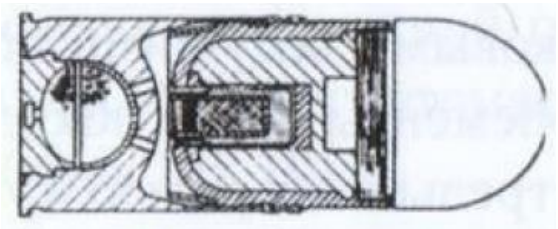
Постріл S412 (Сінгапур)



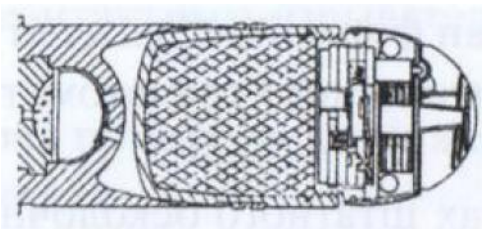
Постріл M383 (США)



Постріл M384 (США)



Постріл M677 (США)



Постріл M684 (США)



Постріл M884 2A1 (США)



Постріл S411 (Сінгапур)

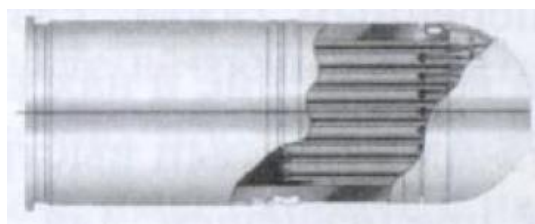


Постріл M430 (США)

Рисунок 1.2 – Найбільш поширені зарубіжні гранатометні постріли



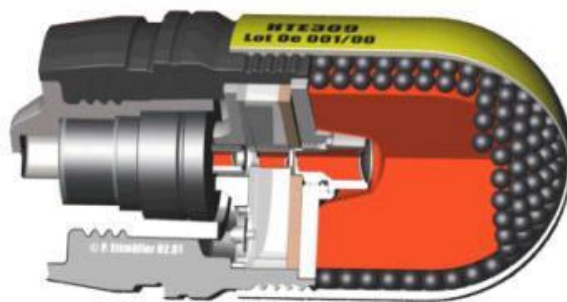
Постріл 9219 (ЮАР)



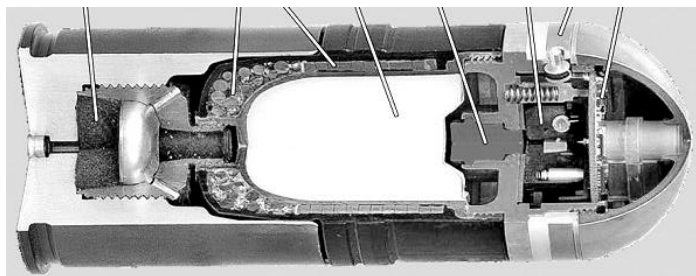
Постріл HYCC (США)



Постріл DM131 (Німеччина)



Постріл HTE309 (Швейцарія)



Постріл C171 (Німеччина)

Продовження рис. 1.2 – Найбільш поширені зарубіжні гранатометні постріли

В даній роботі найбільший інтерес представляють корпуси гранатометних пострілів 40x53 мм. За результатами аналізу існуючих варіантів корпусів було обрано одну з існуючих конструкцій корпусу. Попередній ескіз корпусу зображений на рис. 1.3.

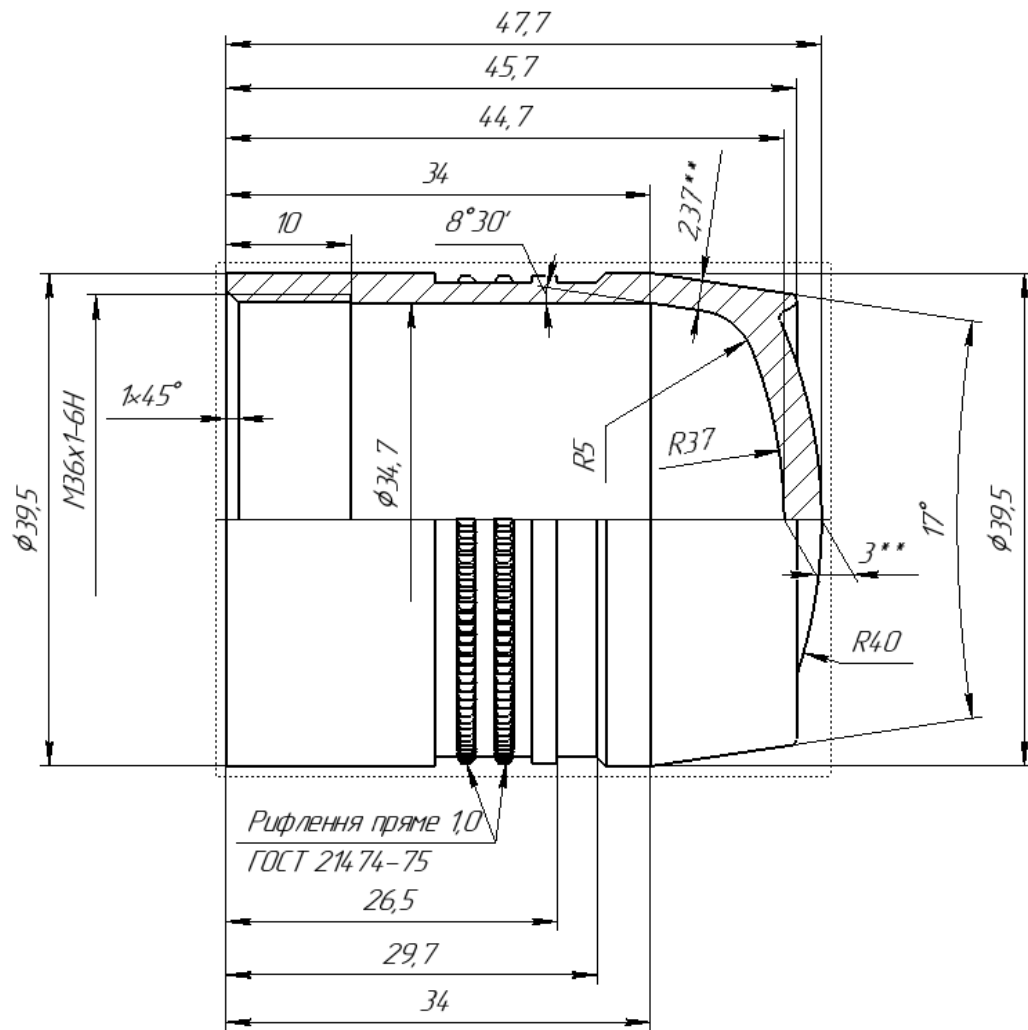


Рисунок 1.3 – Ескіз корпусу гранатометного пострілу, що виготовляється за допомогою механічної обробки

1.2 Аналіз існуючих технологій для виготовлення корпусу гранатометного пострілу

Технологію виготовлення корпусу потрібно вибрати для серійного виробництва. Корпус гранати можна виготовити за допомогою механічної обробки, але цей спосіб має значні недоліки, такі як: великі витрати часу на виготовлення і як наслідок низька продуктивність та низький коефіцієнт витрат матеріалу. Через ці недоліки цей спосіб виготовлення не є ефективним.

Корпус гранати також можна виготовити за допомогою МІМ-технологій. МІМ-технологія (з англ. – Metal Injection Molding) є одною з найпоширеніших РІМ-технологій (з англ. – Powder Injection Molding). РІМ-технологія – це загальна назва високотехнологічного процесу, яка являє собою поєднання лиття під тиском і порошкової металургії. Технологія призначена для формування складних виробів, що виготовляються з дрібнодисперсних сумішей полімеру з металевими або керамічними наповнювачами. Цей процес дозволяє поєднувати складну геометричну форму деталі з її високими механічними властивостями. МІМ-технологія якраз зосереджена на виготовленні металевих виробів.

Вперше ця технологія з'явилася достатньо нещодавно. Перші згадки про неї йдуть з 1980-х років і поступово вона набирає популярність та починає все більше використовуватися у зарубіжних країнах. Цей спосіб дозволяє виготовляти деталі складного профілю з точністю по 9-10 квалітетам майже без відходів матеріалу і подальшої механічної обробки. Найбільше МІМ-технології використовуються у виробництві автомобілів, промислових машин, а також у медицині.

Сировиною для виробів, що виготовляються МІМ-технологією, є металічні дрібнодисперсні порошки розміром від 1 до 20 мкм. Для виготовлення деталей спочатку потрібно виготовити так званий фідсток. Для його виготовлення порошкові суміші рівномірно змішують з полімерним сполучником, нагрівають і в результаті отримують гранульований матеріал. Потім фідсток завантажують у ливарну машину, у якій при температурі 170-200 °С відбувається розплавлення полімерного сполучника і в результаті фідсток перетворюється в єдину масу, після подальшого пресування якої отримується так звана «зелена» деталь. Після цього потрібно видалити із заготовки полімерний сполучник. Це можна досягти за допомогою розчинника або вигорання в «дебайдинговій» печі. В результаті отримується так звана «коричнева» деталь. Після цього заключним етапом є спікання цієї деталі у вакуумній печі при температурах понад 1200 °С.

Весь процес виготовлення деталей за допомогою МІМ-технологій вказаний на рис. 1.4 [5].

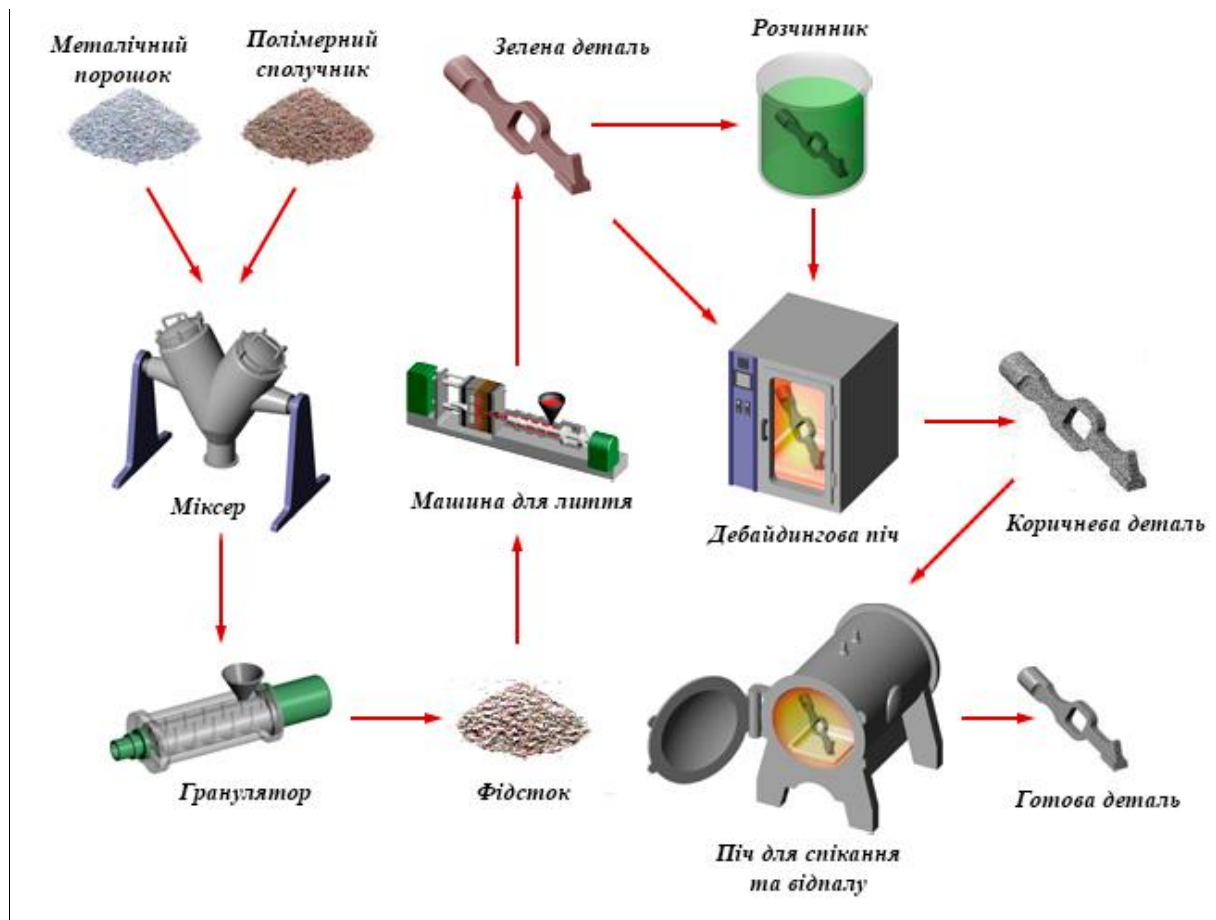


Рисунок 1.4 – Послідовність виготовлення деталі за допомогою МІМ-технології

У використанні МІМ-технологій є багато переваг, таких як високий коефіцієнт використання матеріалу, можливість виготовлення складних за формою деталей з потрібними механічними властивостями, висока точність виробів і можливість виготовляти деталі з малими витратами часу, що дозволяє нам використати цей метод у серійному виробництві. Але все ж таки цей метод має два значні недоліки. В умовах нашого виробництва виготовлення деталей цим способом дуже складне та дороге і через це його застосування є проблематичним.

Також корпус гранатометного пострілу можна виготовити за допомогою методів холодного листового штампування. Листове штампування – процес виготовлення виробів чи напівфабрикатів з листових заготовок за рахунок деформування робочими інструментами – пуансоном і матрицею під дією їх тиску. Серед формозмінних операцій листового штампування для виготовлення корпусу гранатометного пострілу підходять операції витягування.

Різновиди витягування і форма виробів, що можуть бути отримані витягуванням без потоншення наведені на рис. 1.5 [6].

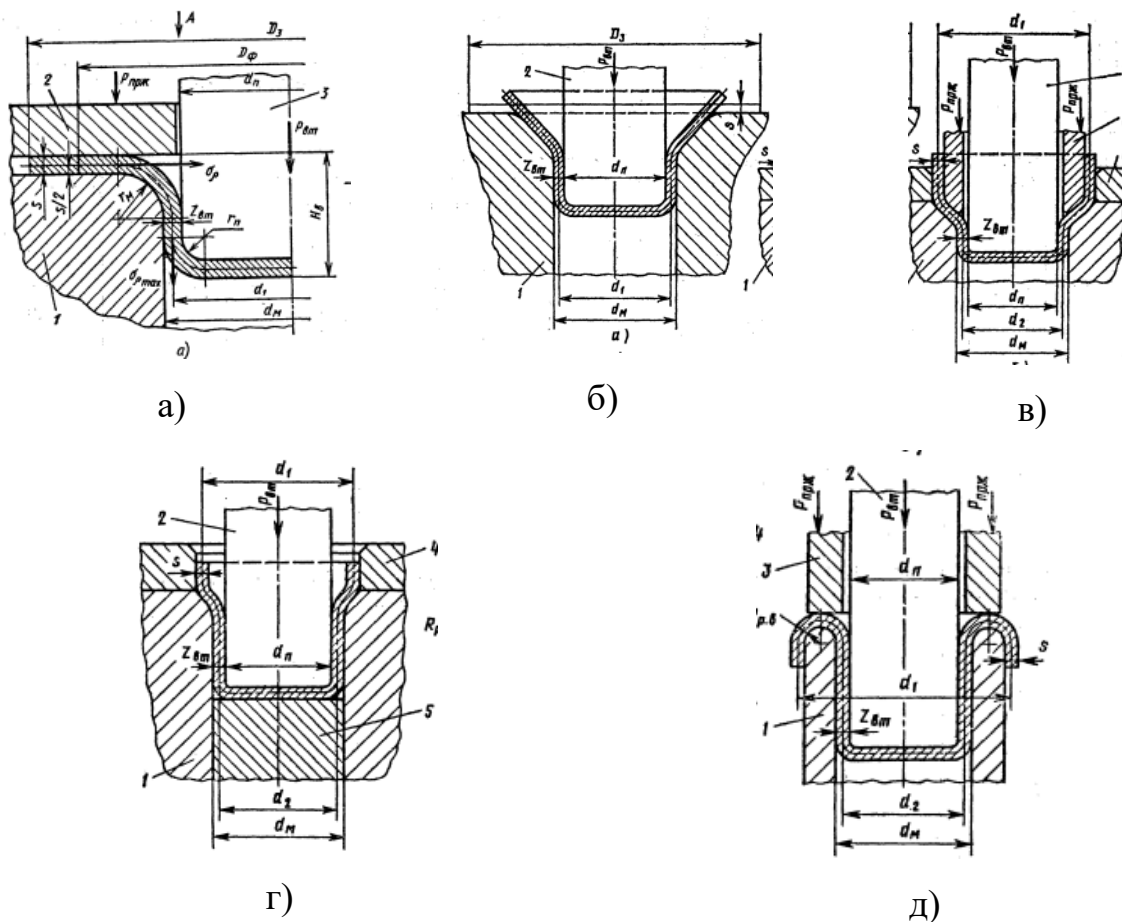


Рисунок 1.5 – Різновиди витягування і форма виробів, що можуть бути отримані витягуванням без потоншенням стінки заготовки: а – перший перехід витягування з притискачем, б – перший перехід витягування без притискача притискачем, в – подальші переходи витягування з притискачем, г – подальші переходи витягування без притискача, д – реверсивне витягування.

Оптимальним варіантом є використання схеми комбінованого витягування у двохконусній матриці, яка вказана на рис. 1.6.

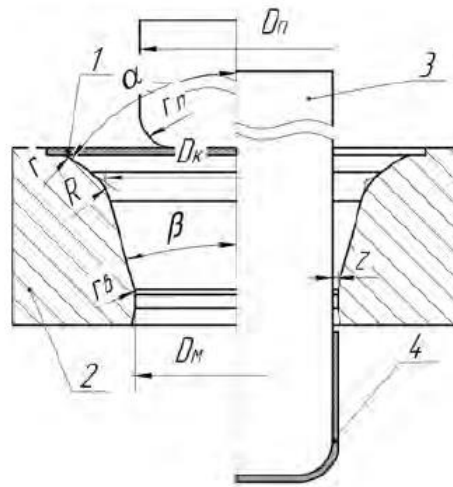


Рисунок 1.6 – Схема процесу комбінованого витягування у двохконусній матриці

У роботі [7] проведено дослідження по визначенню оптимального кута вхідного конусу матриці, що забезпечує мінімальне зусилля деформування, напруження і вичерпування ресурсу пластичності в стінці заготовки.

1.3 Матеріали, що використовуються для виготовлення корпусу гранатометного пострілу та його осколковість

Вибір матеріалу корпусу та його форми впливають на розподіл кількості осколків, їх маси та форми. У зарубіжних країнах корпус гранати виготовляють методом кування з таких матеріалів: AISI 1045 (аналог Сталь 45), Сталь 45X2, AISI 1090 (Сталь 90), AISI 1340 (Сталь 35Г2), AISI 4340 (Сталь 40X2H2MA), AISI 9260 (Сталь 60C2), AISI 9180 (Сталь 80C2), C70D (Сталь 70) та HF-1 (Сталь 40X24H12СЛ). Після кування використовують термічну обробку з метою досягнення потрібної границі текучості та необхідної летальної ефективності. Для осколково-фугасних снарядів найкращою сталлю є HF-1 [8].

Серед сталей 45X2, 70 та 80C2 були проведені експериментальні дослідження з метою виявлення кількості, маси та форми осколків при детонації

боєприпасу. На рисунку 1.7 зображено 2 різні геометрії корпусів, які виготовлені з наведених вище сталей.



Рисунок 1.7 – Експериментальні зразки корпусів гранатометного пострілу

На рисунку 1.5 зображені результати експериментальних досліджень з вказаним розподілом по масі осколків з їх кількістю. На рисунку 1.8 (а) зображений графік для першого варіанту геометрії корпусу, а на рисунку 1.8 (б) для другого варіанту відповідно [9].

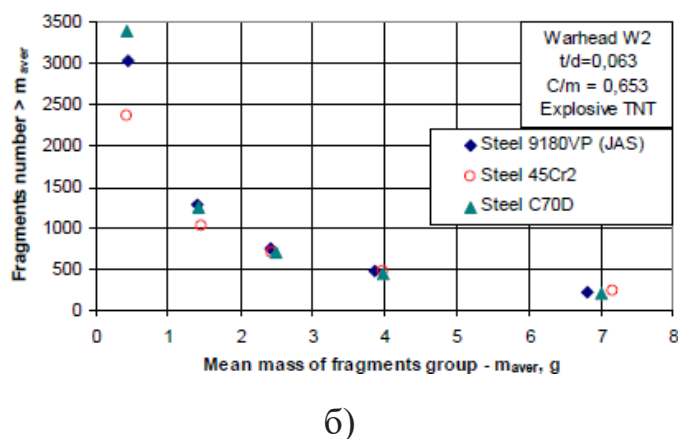
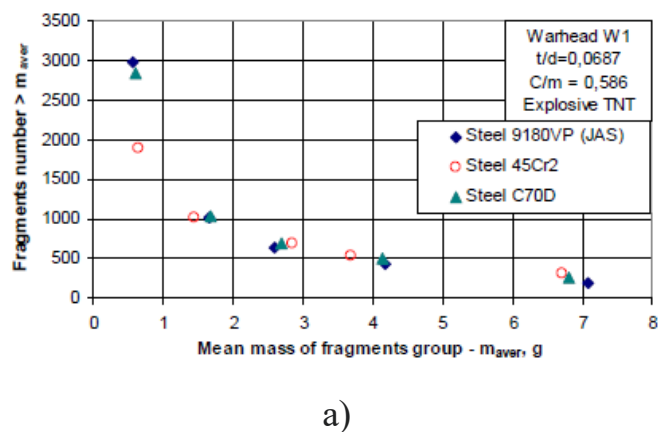


Рисунок 1.8 – Результати експериментальних досліджень з вказаними масою осколків та їх кількістю

Найбільшу кількість осколків має другий варіант корпусу, який виготовлений з сталі 70, а найменшу кількість має перший варіант корпусу з сталі 45Х2. Але і відповідно чим більша кількість осколків, тим менша і їх маса. Тому вибір матеріалу роблять з врахуванням необхідної вражаючої сили.

Також були проведені експериментальні дослідження з метою виявлення впливу конструкції снаряду на осколочні характеристики серед 11 типів боєголовок різного калібру, які вказані на рис. 1.9.

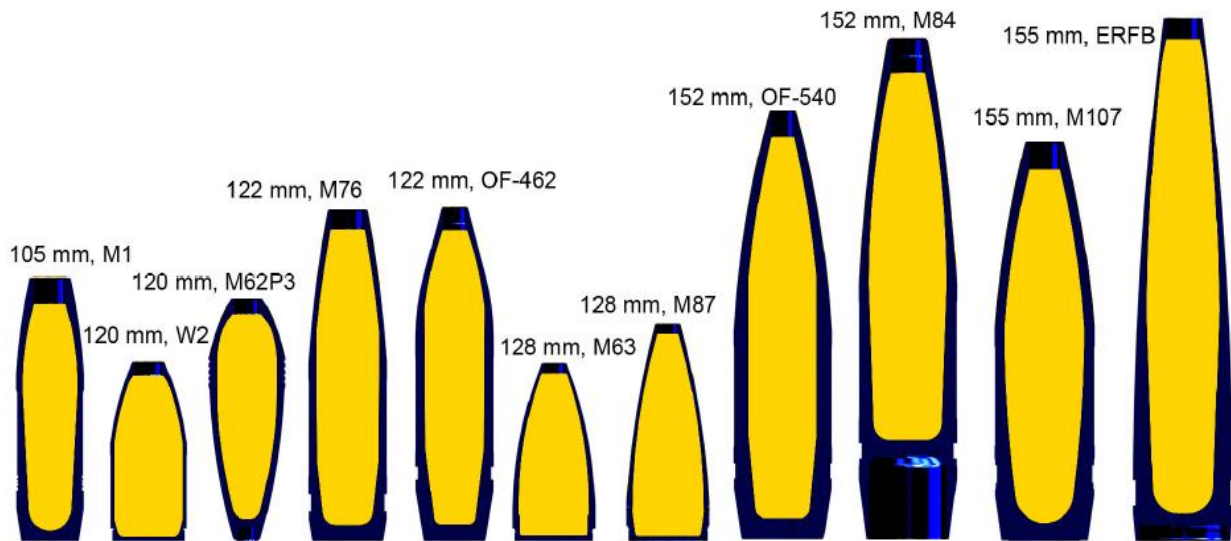


Рисунок 1.9 – Експериментальні зразки корпусів з різною геометрією

Діаграма з результатами випробувань вказує на складність виявлення впливу конструкції на прогноз розподілу фрагментів для різних полярних зон. Окрім впливу конструкції значну роль грає співвідношення вибухової речовини до маси металу C/m , тип та густина заряду вибухової речовини та співвідношення t/d (еквівалентна товщина стінки корпусу). На рис. 1.10 вказані діаграми з густиною розльоту осколків та їх радіусом ураження [9].

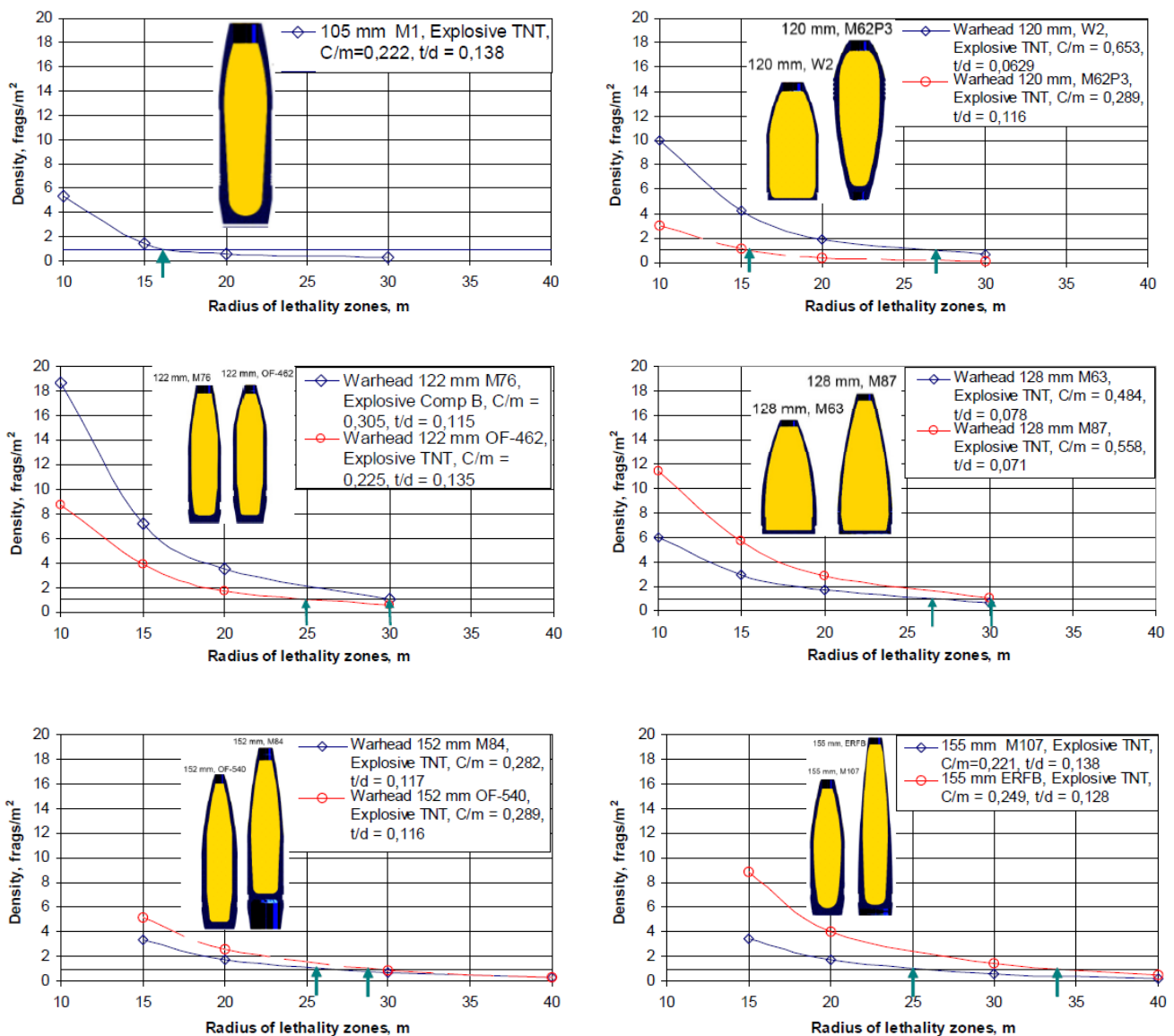


Рисунок 1.10 – Зона ураження та густина осколків корпусу

В результаті вплив конструкції корпусу на летальну ефективність є комплексним і дуже складним. Важливу роль відіграють конструктивні фактори, такі як зовнішня та внутрішня геометрія, товщина корпусу, маса вибухової речовини та її тип і т.д.. До сих пір ще немає чіткого методу прогнозування, який би міг точно оцінювати вплив вищевказаних факторів.

1.4 Висновки до першого розділу і постановка задачі дослідження

В ході виконання першого розділу було проведено аналітичний огляд існуючих конструкцій, характеристик та призначення гранатометів і гранатометних пострілів 40x53.

Було проведено аналіз існуючих технологій, що можуть бути використані для виготовлення корпусу гранатометного пострілу, Найбільш оптимальним для нас є використання холодного листового штампування. Також був проведений аналіз матеріалів, що використовуються для виготовлення корпусів та вплив різноманітних параметрів на його осколковість.

На основі проведеного аналізу були сформульовані наступні задачі:

1. Провести аналіз технологічності виробу з урахуванням запропонованої технології.
2. Провести комп'ютерне чисельне моделювання формоутворення виробу методом холодного листового штампування.
3. На основі проведеного аналізу технологічності і чисельного моделювання обрати оптимальну технологію виготовлення.
4. Розробити штампове оснащення для реалізації запропонованої технології виготовлення.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір конструкції корпусу гранати до 40 мм гранатометного пострілу

Провівши аналіз відомих 40мм гранатометних пострілів за типом та конструктивними особливостями, можна зробити висновок, що найбільш розповсюдженими є боеприпаси стандарту НАТО осколково-фугасної дії. Такі боеприпаси можуть застосовуватися не тільки в автоматичних гранатометах, а і в ручних чи підствольних гранатометах. Загальна конструкція боеприпасу складається з гранати, яка має підрильник, та гільзи з металевим зарядом. Підрильник є найбільш складною одиницею виробу, але на ефективність дії гранати також впливає конструкція корпусу гранати та кількість вибухової речовини. Ефективність дії самої гранати полягає у радіусі дії осколкового поля, маси та форми осколків. Слід відмітити, що у різних країнах та у різних виробників є свої конструктивні особливості, які дуже залежать від технологічних можливостей виробництва. Є досить велика кількість різних технологій які дозволяють отримувати заготовки або навіть готові корпуси гранат. Розглянувши різні конструкції корпусів та технологій їх виготовлення, беручи за основу можливості військового промислового комплексу (ВПК) України та підприємств, які працюють в цьому напрямі нами було запропоновано конструкцію та технологію виготовлення корпусу гранати до 40 мм гранатометного пострілу.

Вибираючи конструкцію корпусу гранати слід враховувати ряд параметрів яким він повинен відповідати. Значної зміни розмірів і форми не можна задавати оскільки все прив'язано до системи зброї і повинен забезпечувати балістичні показники, особливо зовнішньої балістики, на яку впливає точність виготовлення (різностінність, циліндричність), центр ваги політної маси (гранати в зборі).

На даному етапі було запропоновано два типи конструкції корпусу, а саме за типом концентраторів: з кільцевими канавками та додатковими повздовжніми канавками. Крім того було запропоновано замінити матеріал корпусу гранати, оскільки за передбаченою технологією виготовлення методами обробки металів тиском проходить зміна механічних властивостей матеріалу. За рахунок холодної пластичної деформації відбувається зміцнення матеріалу. На сьогодні такі корпуси виготовляють із сталі 35, сталі 45 або сталі 40Х. Вказані матеріали не досить добре підлягають операціям обробки металів тиском оскільки мають значну межу течії та малий ступінь пластичності [16]. Тому ми запропонували використовувати більш пластичний матеріал, такий як сталь 10, який за рахунок холодної пластичної деформації зміцнюється за рахунок чого можна прогнозувати якісні та кількісні характеристики виробу в цілому.

Загальний вигляд корпусу з концентраторами наведено на рис. 2.1. Особливістю даного корпусу, є те що він має на внутрішній поверхні концентратори для більш рівномірного дроблення корпусу з ефективною масою осколку. За рахунок нанесених концентраторів їх кількістю можливо прогнозувати кількість, форму та масу осколка. Оптимальна вага елемента складає від 0,25 г. до 0,5 г. [10]. В даному випадку сітка з концентраторів (8 кільцевих та 20 повздовжніх), прогнозовано буде утворювати під час дроблення за даних параметрів сітки осколок орієнтовною масою 0,36 г. Така конструкція дозволяє прогнозовано формувати осколкове поле.

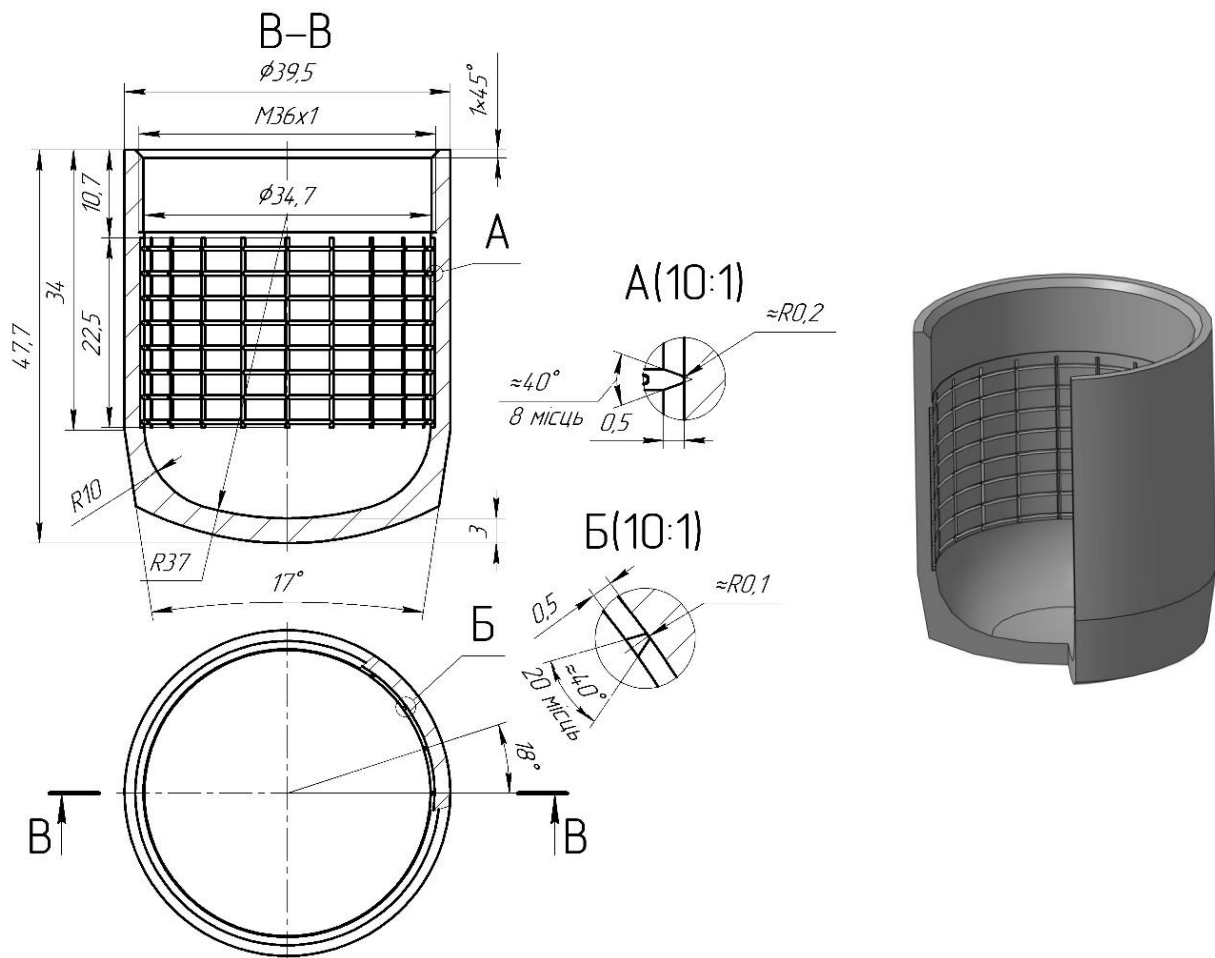


Рисунок 2.1 – Ескіз та загальний вигляд корпусу гранати з концентраторами

Запропонована наступна технологія виготовлення корпусу гранати до 40 мм гранатометного пострілу: вирубка з листа чи полоси заготовки, гаряче профілювання заготовки для оптимізації процесу витягування (зменшення кількості переходів), травлення від окалини та фосфатування поверхні заготовки під нанесення змащення, карбування на плоскій заготовці концентраторів, холодне витягування з потоншення заготовки, механічна обробка до кінцевої форми та розмірів деталі. На рис. 2.2 показано поопераційні переходи формозмінюючих операцій отримання заготовки.

Використовуючи програмне забезпечення DEFORM було проведено поопераційний аналіз можливості формоутворення заготовки корпусу гранати до 40 мм гранатометного пострілу.

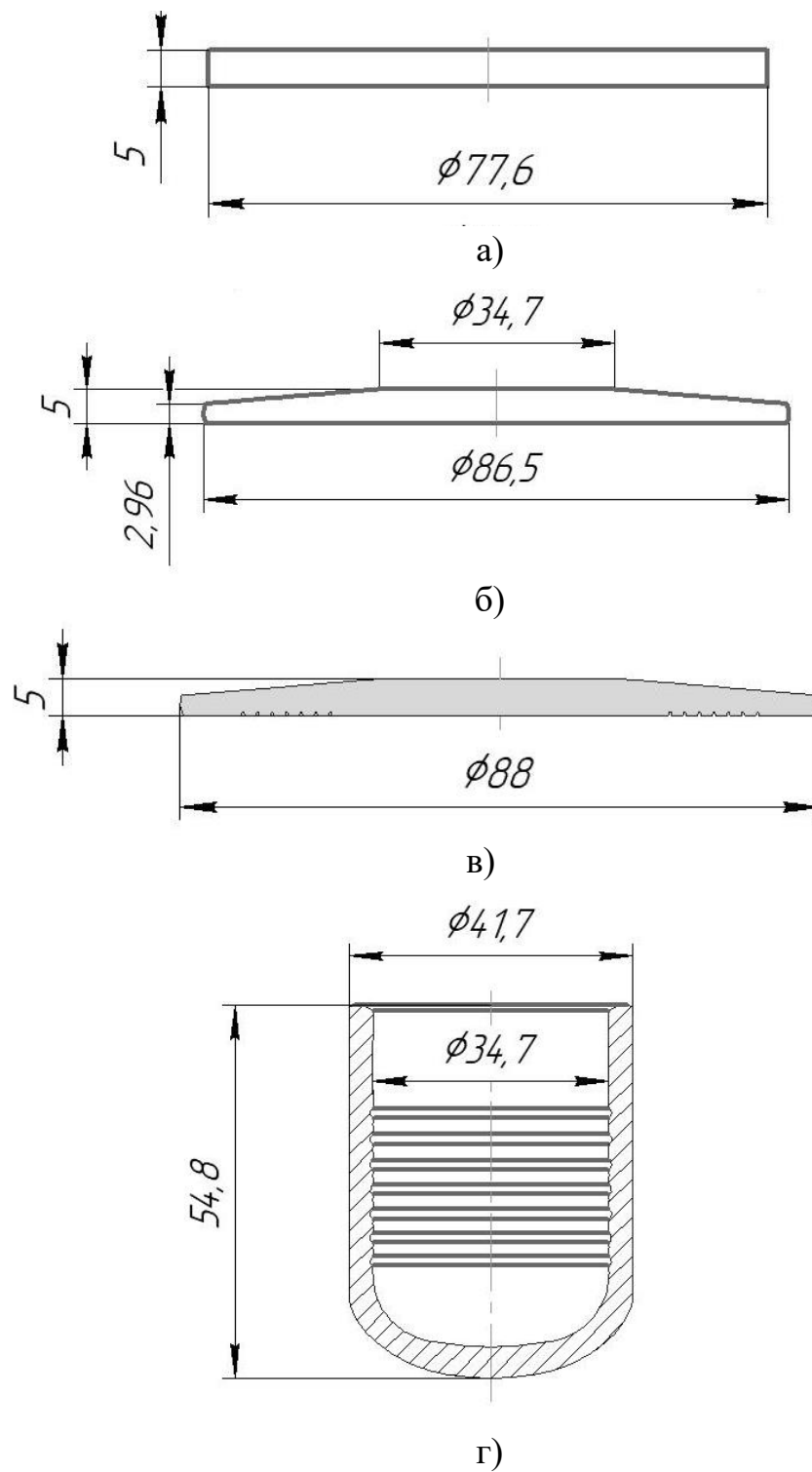


Рисунок 2.2 – Поопераційні переходи формозмінюючих операцій
отримання заготовки

Відповідно для перевірки можливості виготовлення необхідно провести технологічні розрахунки.

2.2 Розрахунок технології виготовлення.

На сьогодні відомо, що виготовлення таких корпусів в Україні здійснюють шляхом механічної обробки з прута на сучасних токарних автоматах, які забезпечують відповідну продуктивність [11]. Що з першого погляду є економічно ефективно. Але це не зовсім так. Оскільки дане виробництво є масовим і випускається в великих об'ємах, а цьому випадку треба розглядати максимально економічне виробництво. Одним з економічних показників є і коефіцієнт використання матеріалу. Тому що при різанні з прута відходить значний відсоток у відхід, при цьому стружка є значно дешевше чим компактний матеріал, що залишається у відходах при листовому виробництві.

Для забезпечення технологічності виготовлення заготовки корпусу гранати 40 мм гранатометного пострілу прийняли рішення отримувати заготовки з листового прокату. Крім того заготовку для інтенсифікації процесу витягування (зменшення кількості переходів) попередньо профілюємо. Попереднє профілювання заготовок є досить ефективний технологічний спосіб підготовки заготовки до наступної формозмінюючої операції [12-14].

Кінцеву форму та розміри профільованої заготовки підбирали експериментально розрахунковим шлях в програмному комплексі DEFORM. Форма та розміри профільованої заготовки показано на рис. 2 (б).

2.2.1 Розрахунок вихідної форми та розмірів заготовки

Основною задачею є спрощення конструкції, що забезпечить технологічність деталі. Форма та розміри заготовки визначаються виходячи з креслення деталі, необхідних технологічних припусків та напусків.

Ескіз заготовки, що отримується після витягування з накладеним контуром кінцевої деталі показано на рис. 2.3.

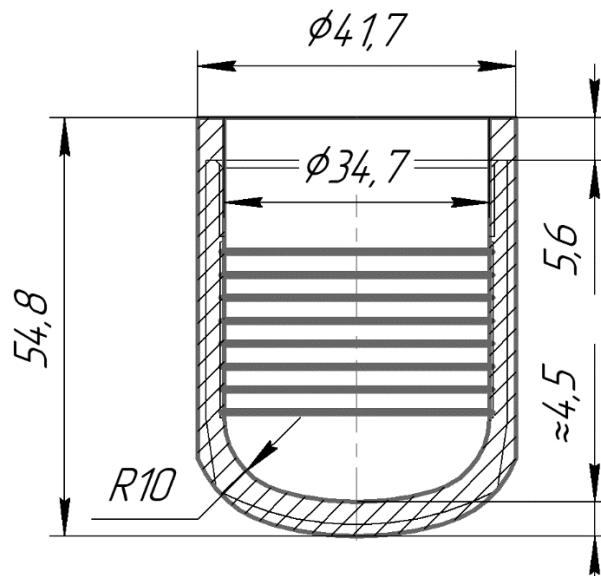


Рисунок 2.3 – Ескіз заготовки, що отримується після витягування з накладеним контуром кінцевої деталі

Попередньо приймаємо, що вихідна товщина листа з якого буде отримуватись заготовка 5 мм. Заготовка має технологічні та конструктивні припуски та напуски. Використовуємо сучасне програмне забезпечення, яке дозволяє з 3D моделі визначити об'єм заготовки, через який визначимо розміри вихідної заготовки (див. рис. 2.4).

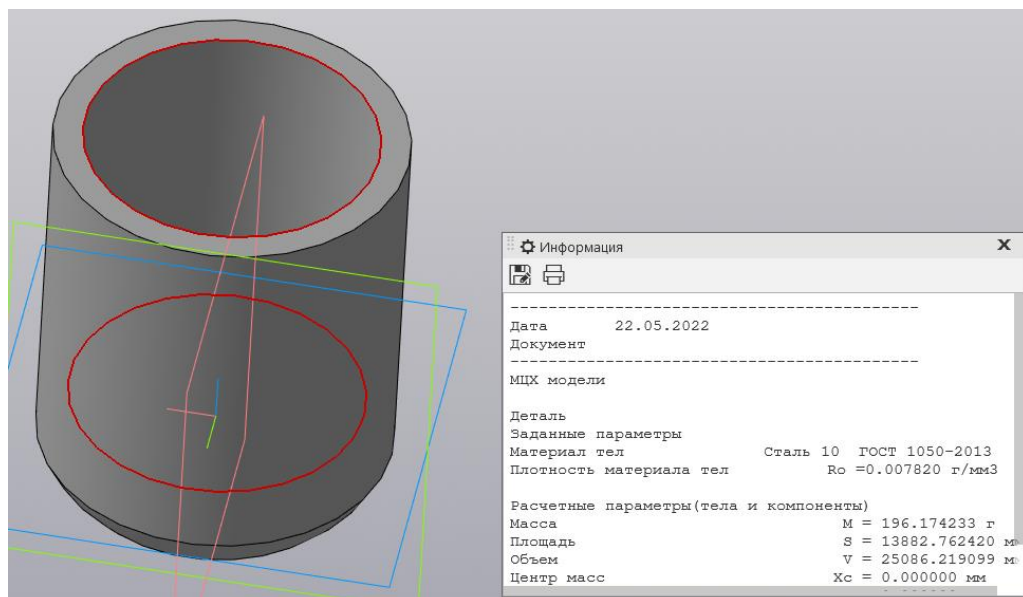


Рисунок 2.4 – Об'ємна модель з розрахунком об'єму.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot h}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 25086,2}{\pi \cdot 5}} = 79,9 \text{ мм} \quad (2.1)$$

Попередньо приймаємо розмір заготовки діаметром 80 мм. Але слід враховувати, що донна частина буде розтягуватись, і значно зменшиться товщина дна і місця переходу дна до циліндричної частини. Для цього попередньо провели моделювання операції витягування, щоб спрогнозувати кінцеві форми та розміри заготовки. Розміри заготовки показано на рис. 2.5.

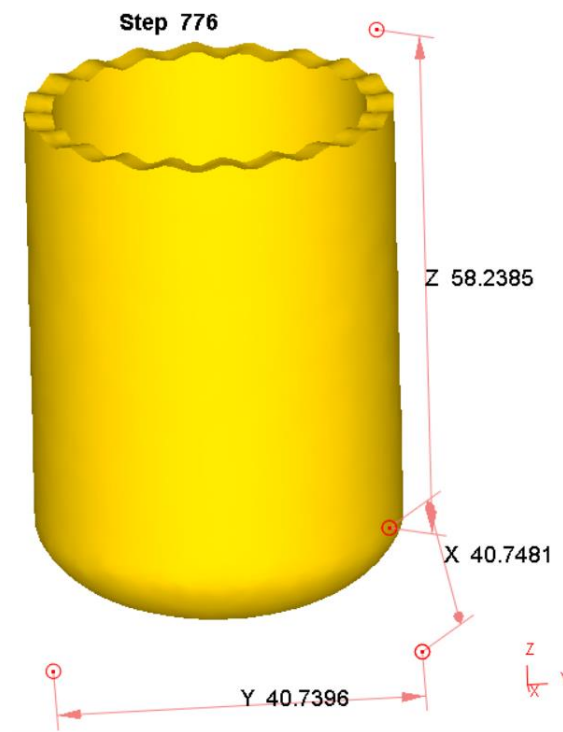


Рисунок 2.5 – Форма та розміри заготовки після витягування з розрахованого об'єму

За результатами попередніх експериментальних розрахунків було прийнято рішення зменшити розміри заготовки до 77,6 мм. За рахунок розтягнутої донної частини матеріал переходить до циліндричної стінки і збільшується висота заготовки після витягування. Таким чином було підібрано оптимальну форму та розміри заготовки. Розміри листової заготовки приведені на рис. 2.6.

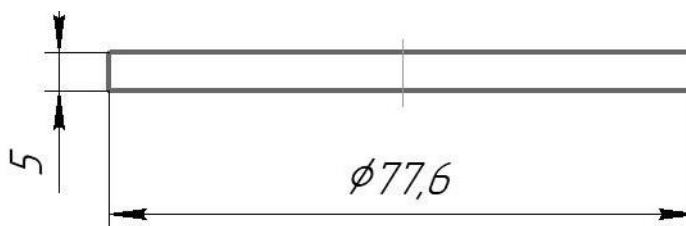


Рисунок 2.6 – Розміри листової заготовки

Отримання заготовки з листа можливо різними способами: вирубка в штампі, лазерна, плазмова чи гідроабразивна порізка. Кожний з способів має свої переваги чи недоліки. На етапі підготовки виробництва слід використовувати універсальний спосіб, наприклад лазерна порізка. Коли буде остаточно експериментально підтверджено розміри заготовки ефективніше і дешевше буде отримання заготовки вирубкою в штампі.

2.3 Розрахунок ефективності технології виготовлення

Порівняємо коефіцієнти використання матеріалу при виготовленні корпусу методом холодного листового штампування і різанням з прута. Він визначається за формулою 2.2:

$$K_B = \frac{V_d}{V_{заг}} \cdot 100\%, \quad (2.2)$$

де V_d – об’єм готової деталі, мм³;

$V_{заг}$ – об’єм заготовки, мм³.

Об’єм готової деталі можна визначити з 3D моделі, $V_d = 13\,935$ мм³.

Визначимо об’єм заготовок з 3D моделей при виготовленні корпусу точінням з прутка та методом холодного листового штампування. При точінні з врахуванням припусків $V_{заг1} = 77\,585$ мм³, а при штампуванні $V_{заг2} = 23\,647$ мм³.

Тепер розрахуємо коефіцієнт використання матеріалу при точінні:

$$K_{B1} = \frac{V_d}{V_{заг1}} \cdot 100\% = \frac{13\,935}{77\,585} \cdot 100\% = 17,96\%$$

Коефіцієнт використання матеріалу при використанні методу листового штампування буде комплексним, оскільки спочатку треба врахувати відхід матеріалу при різанні листа, а потім при подальшій механічній обробці.

$$K_{в2} = K_{різ} \cdot K_{м.об.}, \quad (2.3)$$

де $K_{різ}$ – коефіцієнт використання матеріалу при різанні листа;

$K_{м.об.}$ – коефіцієнт використання матеріалу при механічній обробці після операції витягування.

$$K_{різ} = \frac{F_{заг} \cdot m}{B_{л} \cdot L_{л}} \cdot 100\%, \quad (2.4)$$

де $F_{заг}$ – площа заготовки, $F_{заг} = 4\,729,5 \text{ мм}^2$;

m – кількість деталей в листі, шт.;

$B_{л}, L_{л}$ – ширина і довжина листа відповідно. Приймаємо, $B_{л} = 1000 \text{ мм}$;
 $L_{л} = 2000 \text{ мм}$;

$$m = N_{смуг} \cdot N_{дет.в смугі}, \quad (2.5)$$

$$N_{смуг} = \frac{B_{л} - a}{T}, \quad (2.6)$$

де a – розмір перемички, $a = 2 \text{ мм}$;

T – крок розташування заготовок у стрічці, $T = 79,6 \text{ мм}$.

$$N_{смуг} = \frac{1000 - 2}{79,6} = 12,54 \text{ (повних 12)};$$

$$N_{дет.в смугі_1} = \frac{L_{л} - a}{T}, \quad (2.7)$$

$$N_{дет.в смугі} = \frac{2000 - 2}{79,6} = 25,1 \text{ (повних 25)};$$

$$m = 12 \cdot 25 = 300 \text{ шт}$$

$$K_{різ} = \frac{4729,5 \cdot 300}{1000 \cdot 2000} \cdot 100\% = 70,94\%$$

$$K_{м.об} = \frac{V_{д}}{V_{заг_2}} \cdot 100\% = \frac{13\,935}{23\,647} \cdot 100\% = 58,93\%$$

$$K_{в2} = 70,94\% \cdot 58,93\% = 41,8\%$$

При виготовленні корпусу різанням з прутка коефіцієнт використання матеріалу є дуже низьким, тому цей спосіб не є ефективним для використання. В порівнянні з ним при штампуванні коефіцієнт використання матеріалу значно більший і є достатньо великим, враховуючи необхідну подальшу механічну обробку.

2.4 Розрахунок технологічних параметрів операційних переходів

2.4.1 Коефіцієнт витягування

Кількість переходів витягування визначається по допустимим коефіцієнтам витягування для даного матеріалу. Коефіцієнт витягування рахуємо за формулою 2.8:

$$m = \frac{d}{D} > [m] , \quad (2.8)$$

де d – діаметр заготовки, мм;

D – діаметр деталі, мм;

$[m]$ – допустимий коефіцієнт витягування.

Діаметри заготовки та потрібної витягнутої деталі вже пораховані раніше (див. рис. 2.2): $D = 88$ мм, $d = 41,7$ мм.

$$m = \frac{41,7}{88} = 0,47$$

Тепер визначимо чи потрібне використання притискача [15]:

$$D - d < 22 \cdot s , \quad (2.9)$$

де s – товщина заготовки, $s = 5$ мм.

$$88 - 41,7 = 46,3 \text{ мм} < 22 \cdot 5 = 110 \text{ мм}$$

Оскільки рівність виконується, то використання притискача не потрібне. Тепер можемо вибрати допустимий коефіцієнт витягування для першої операції витягування і перевірити чи можна витягнути деталь за 1 перехід [6]: $[m] = 0,46$.

$$m = 0,47 > [m] = 0,46$$

Оскільки рівність виконується, то витягування можна здійснити за 1 перехід.

2.4.2 Технологічне розрахункове зусилля

Розраховуємо зусилля для операції карбування [15]:

$$P_{\text{карб}} = q_{\text{чек}} \cdot F_{\text{чек}} , \quad (2.10)$$

де $q_{\text{чек}}$ – питоме зусилля картування, $q_{\text{чек}} = 2000 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$;

$F_{\text{чек}}$ – площа проекції деталі, $F_{\text{чек}} = 1484,4 \text{ мм}^2$;

$$P_{\text{карб}} = 2000 \cdot 1484,4 = 2\,969 \text{ кН}$$

Розраховуємо зусилля для операції витягування [15]:

$$P_{\text{вит}} = \pi \cdot d_{\text{сер}} \cdot s \cdot \sigma_B \cdot K_{\text{вит}} , \quad (2.11)$$

де $d_{\text{сер}}$ – діаметр деталі по середній лінії, $d_{\text{сер}} = 38,2 \text{ мм}$;

s – товщина заготовки, $s = 5 \text{ мм}$;

σ_B – границя міцності матеріалу, $\sigma_B = 380 \text{ МПа}$;

$K_{\text{вит}}$ – коефіцієнт, який залежить від коефіцієнта витягування. Для $m = 0,47$ коефіцієнт $K_{\text{вит}} = 1$.

$$P_{\text{вит}} = \pi \cdot 38,2 \cdot 5 \cdot 380 \cdot 1 = 228 \text{ кН}$$

2.5 Висновки до другого розділу

В другому розділі був проведений теоретичний аналіз методів отримання деталі, вибір конструкції корпусу, аналіз її технологічності та вибір технології для виготовлення корпусу. За результатами аналізу було вирішено виготовити корпус методом витягування у двохконусну матрицю попередньо спрофільованої заготовки. Також були обраховані коефіцієнти використання матеріалу для виготовлення деталі методом холодного листового штампування та точінням з прутка.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНКОВИЙ АНАЛІЗ ПООПЕРАЦІЙНИХ ПЕРЕХОДІВ

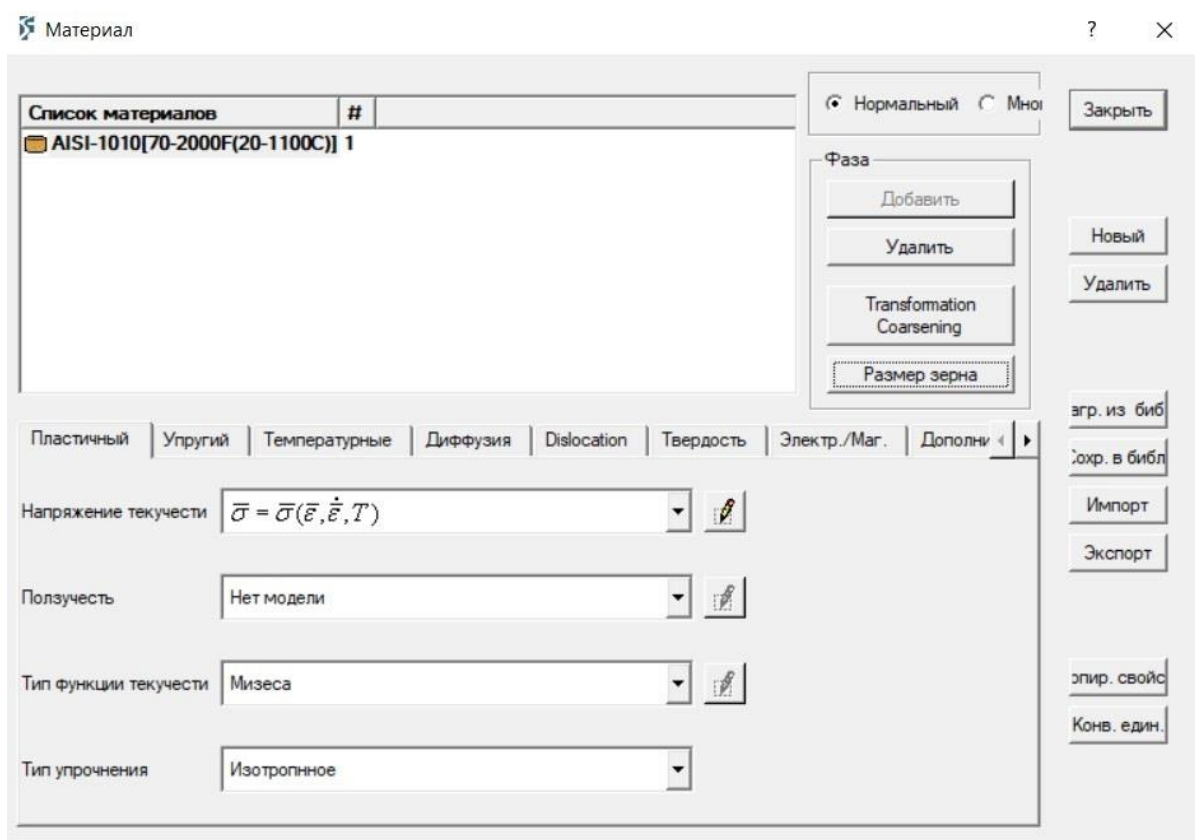
ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗАГОТОВКИ ДЛЯ КОРПУСУ ГРАНАТИ 40 ММ

ГРАНАТОМЕТНОГО ПОСТРІЛУ

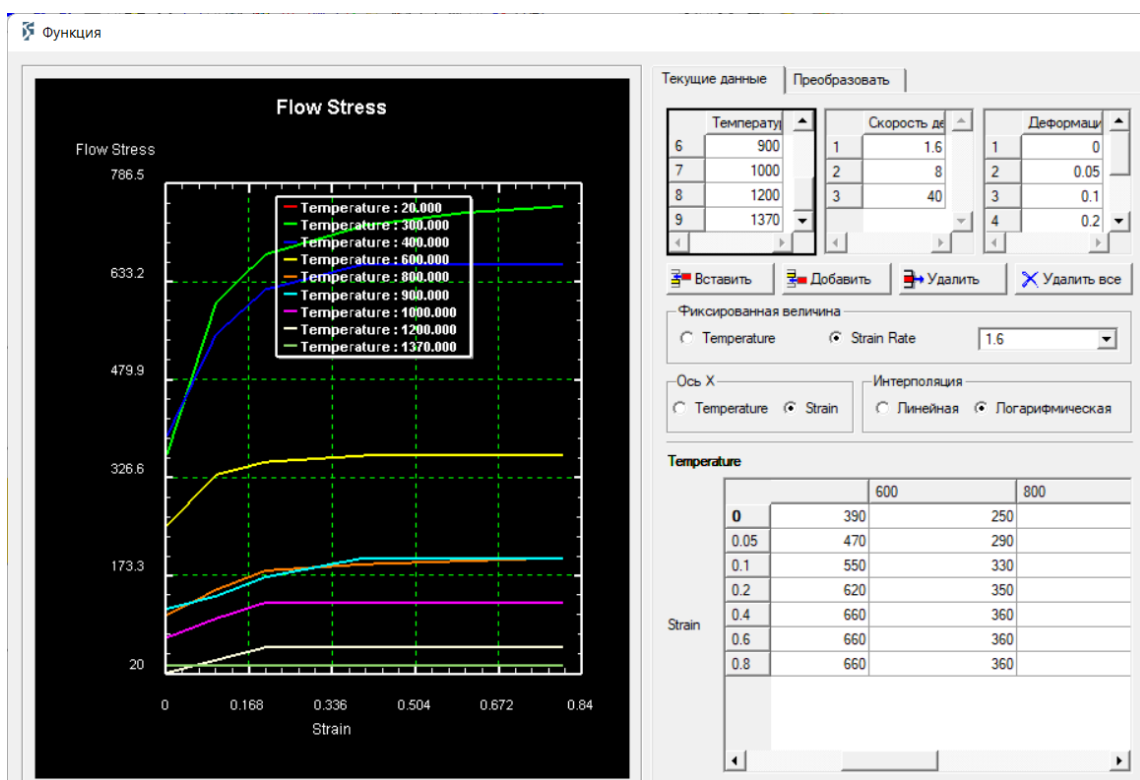
3.1 Моделювання поопераційних технологічних переходів

Використовуючи програмний комплекс DEFORM 2D/3D, який дозволяє моделювати формозмінюючі операції, дає можливість не тільки перевірки ймовірності отримання необхідної форми та розмірів, а також визначити енерго-силові параметри процесів та аналізуючи напружено-деформований стан, прогнозувати якісні характеристики виробів [17]. Вказана програма побудована на методі скінчених елементів (МСЕ). Даний метод дозволяє з достатньою точністю провести розрахунки формозмінних операцій за умови ведення правильних вихідних даних. Відповідно крім вихідних форми та розмірів об'єктів, які моделюють процес, досить важливим є модель матеріалу та граничні умови взаємодії об'єктів (тертя, термовіддача та ін.).

Для моделювання використовували матеріал AISI-1010 (закордонний аналог сталі 10). Відповідні параметри матеріалу завантажували з існуючої бібліотеки DEFORM. На рис. 3.1 наведено вказані параметри матеріалу який використовували при моделюванні. Для моделювання використовували пластичну модель матеріалу. Деформуючий інструмент враховували абсолютно жорстким. В процесі відповідно до технологічного переходу враховували тертя між деформуючим інструментом та заготовкою, також для гарячого процесу враховували тепловіддачу нагрітої заготовки між навколишнім середовищем та робочим інструментом. Для деформуючого інструменту задавали швидкість та величину переміщення за крок.



а) вікно введення параметрів



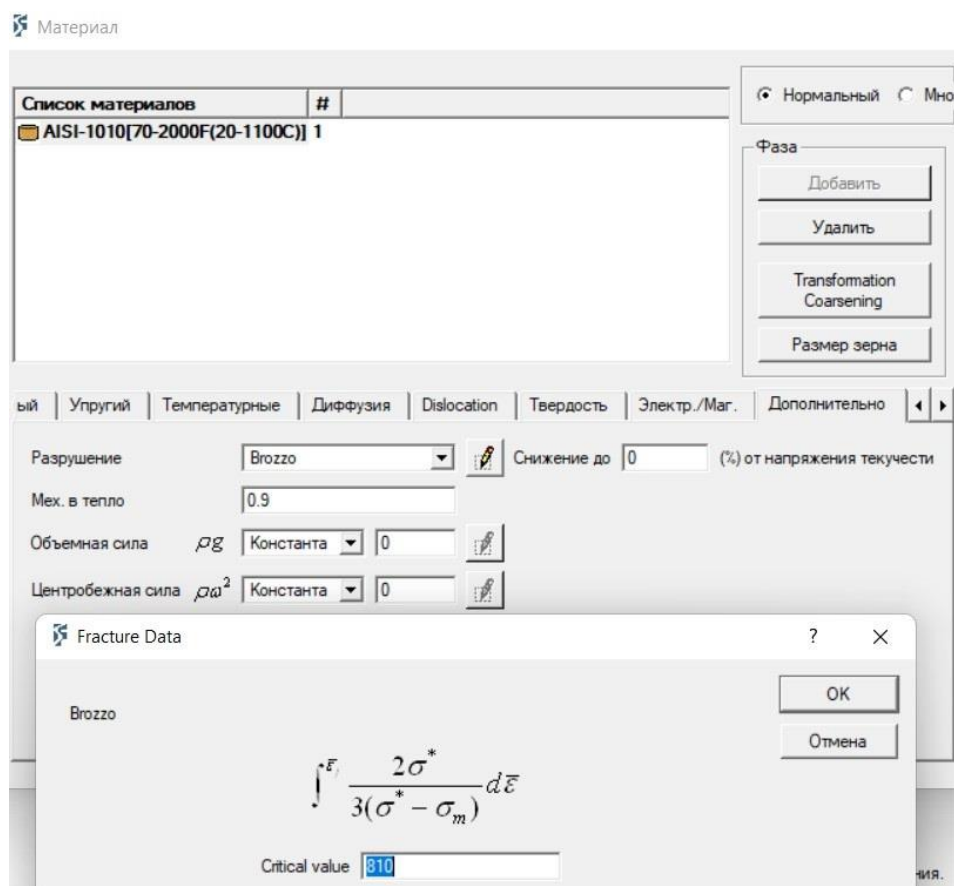
б) характеристики пластичності

Пластичный	Упругий	Температурные	Диффузия	Dislocation	Твердость	Электр./Маг.	Дополни
Модуль Юнга		Константа	210000				
Коеффициент Пуассона		Константа	0.3				
Коефф. термического расширения		Константа	1.2e-05				
Исходная темп.		20					

в) пружні характеристики

Пластичный	Упругий	Температурные	Диффузия	Dislocation	Твердость	Электр./Маг.	Дополни
Теплопроводность		f(Темп.)					
Теплоемкость		☒ Теплоемкость ☐ Специфический					
		f(Темп.)					
Коефф. черноты		Константа	0.7				
Плотность		Константа	7.87e-09				

г) температурні характеристики



д) критерій пошкоджуваності

Рисунок 3.1 – Параметри матеріалу який використовували при моделюванні

По результатам чисельного експерименту було встановлено розрахункову залежність зусилля процесу від переміщення деформуючого інструменту, питомі зусилля на деформуючому інструменті, ступінь використання ресурсу пластичності ψ та напружено-деформований стан в об'ємі zdeформованої заготовки, кінцеву форму та розміри заготовки.

3.2 Моделювання профілювання заготовки

Розрахунок форми та розмірів заготовки для витягування проводили експериментальним шляхом. На початковому етапі було експериментально підібрано геометрію заготовки під витягування. Оцінкою оптимальної геометрії профільованої заготовки була мінімальна кількість переходів формоутворення без проміжних операцій термообробок. Витягування проводили в двохконусній

матриці, яка дозволяє комбінувати процес витягування та витягуванням з потоншенням [14, 18, 44-46].

Підібрані форма та розміри заготовки показані на ескізі заготовки (рис. 3.2).

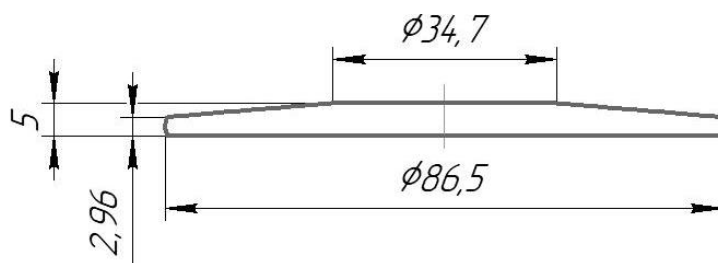
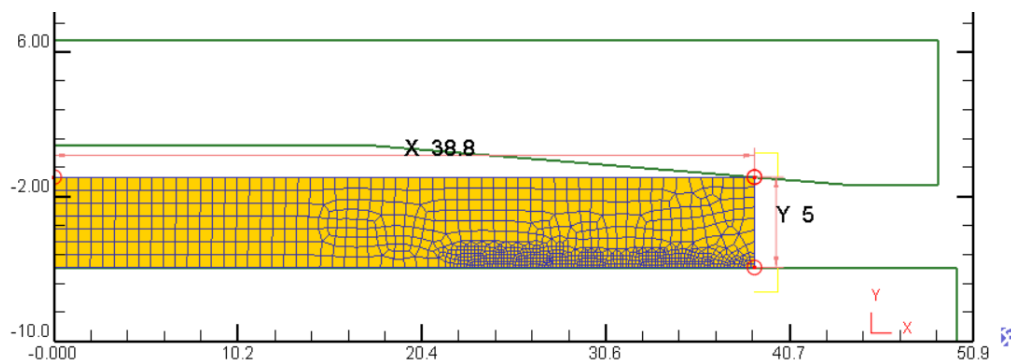


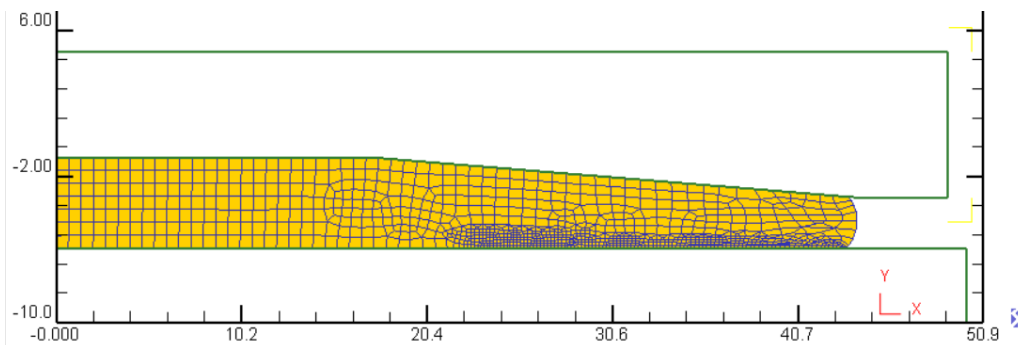
Рисунок 3.2 – Ескіз заготовки

Отримання наведеної заготовки пропонується гарячим штампуванням, шляхом профілювання конусним інструментом фланця заготовки. Вихідні розміри листової заготовки показано на рис. 2.6.

Розрахункова схема процесу профілювання заготовки наведена на рис. 3.3.



а) у вихідному положенні



б) у кінцевому положенні

Рисунок 3.3 – Розрахункова схема процесу профілювання заготовки

При моделюванні задавали початкову температуру заготовки 800°C, температура деформуючого інструменту 300°C. Залежність зусилля від переміщення пуансона показано рис. 3.4. При переміщенні пуансона 1,8 мм зусилля деформування склало 2,78 МН. При відповідному переміщенні заготовка набуває потрібних розмірів (див. рис. 3.2).

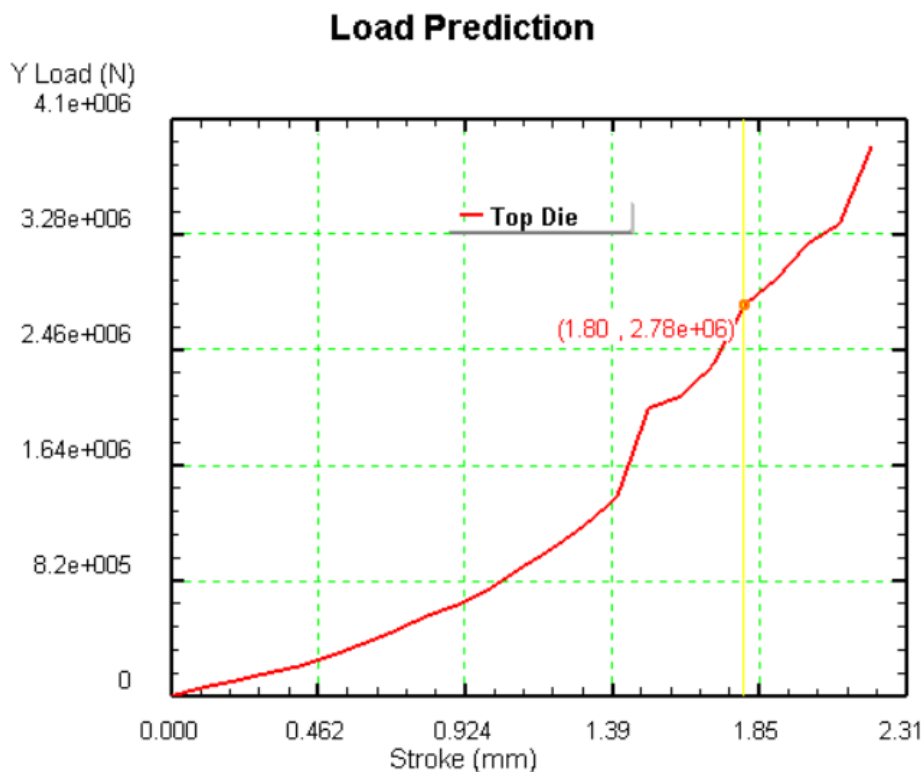


Рисунок 3.4 – Залежність зусилля профілювання від переміщення пуансона

За рахунок моделювання було встановлено оптимальні параметри процесу профілювання заготовки, а саме температурний режим. Розподіл зміни температури в об'ємі zdeформованої заготовки показано на рис. 3.5.

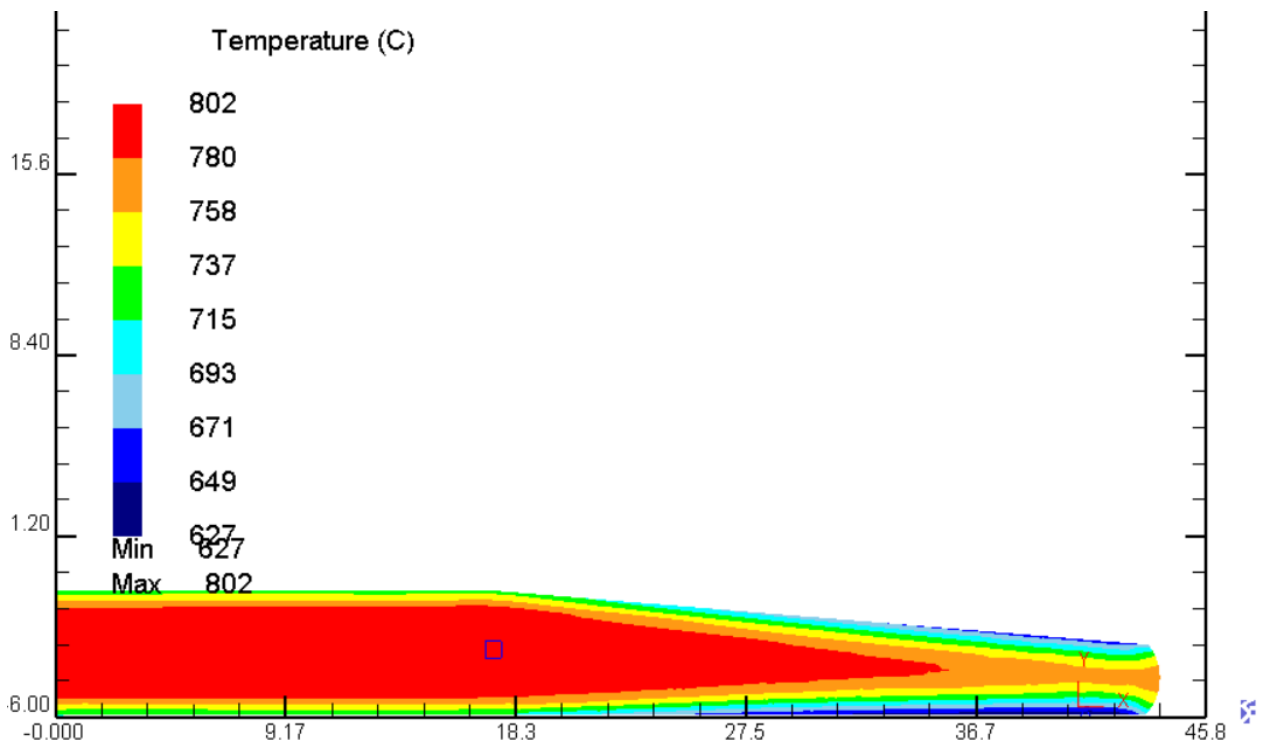


Рисунок 3.5 – Розподіл зміни температури в об’ємі здеформованої заготовки

На рис. 3.6 показано критерій пошкоджуваності в об’ємі здеформованої заготовки, який прогнозує ймовірне місце руйнування, або критичний ресурс пластичності матеріалу. В даному випадку процес формування гарячий, тому ми можемо спостерігати не значний осередок початку вичерпання ресурсу пластичності за рахунок охолодження локальної зони заготовки і досягнення відповідного ступеня деформації.

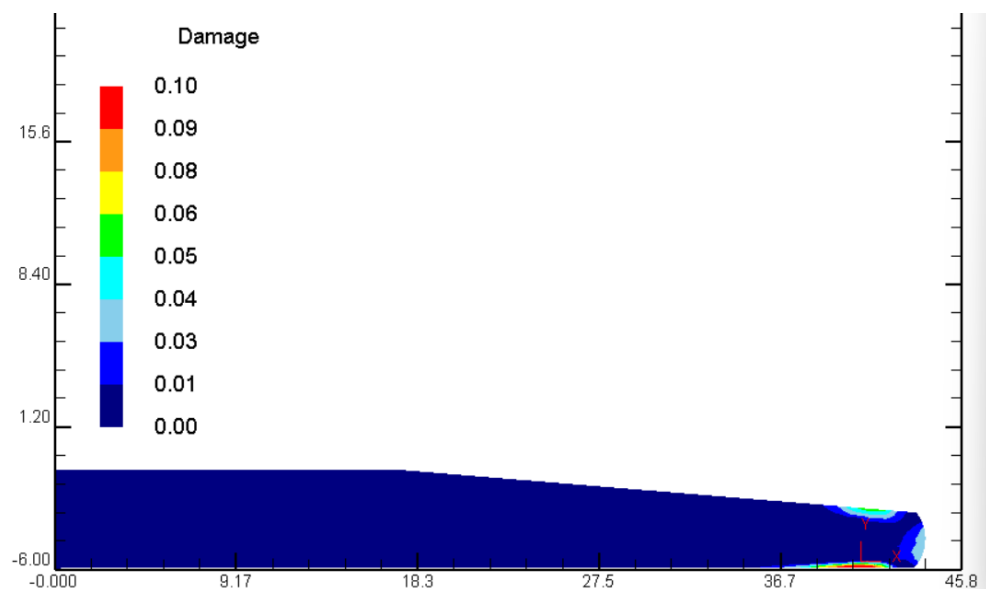


Рисунок 3.6 – Критерій пошкоджуваності в об'ємі здеформованої заготовки

Розподіл інтенсивності деформації в об'ємі здеформованої заготовки зображено на рис. 3.7. В місці формування потоншеного конічного фланця у найтоншому місці інтенсивність деформації досягає значення 0,6. Це характеризує пропрацювання структури матеріалу за рахунок пластичної деформації.

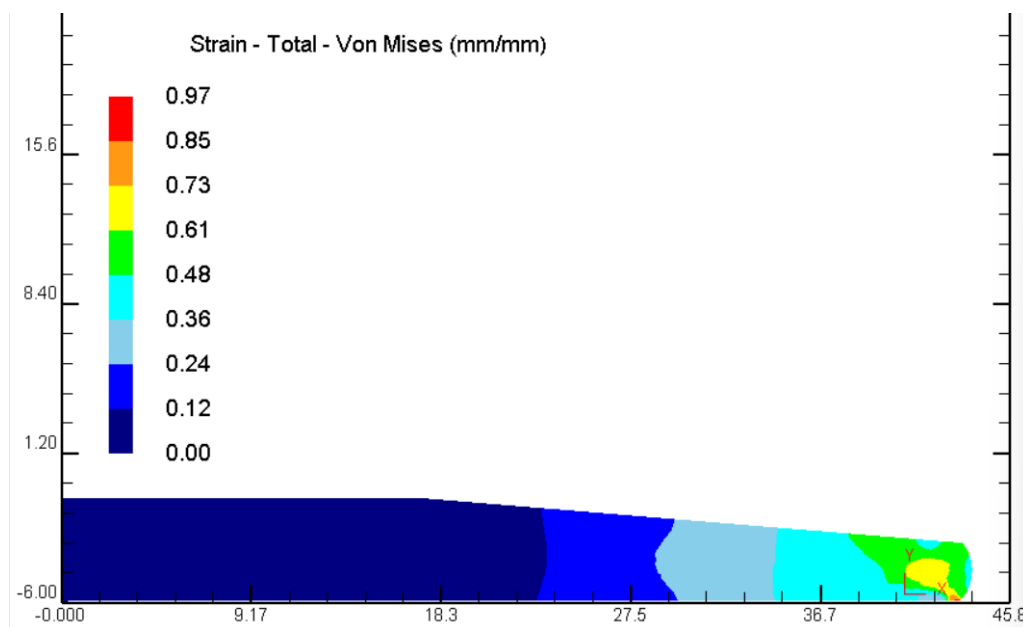


Рисунок 3.7 – Розподіл інтенсивності деформації в об'ємі здеформованої заготовки.

Розподіл інтенсивності напружень в об'ємі здеформованої заготовки показано на рис. 3.8. Значення інтенсивності напружень характеризує напружений стан заготовки в процесі деформування.

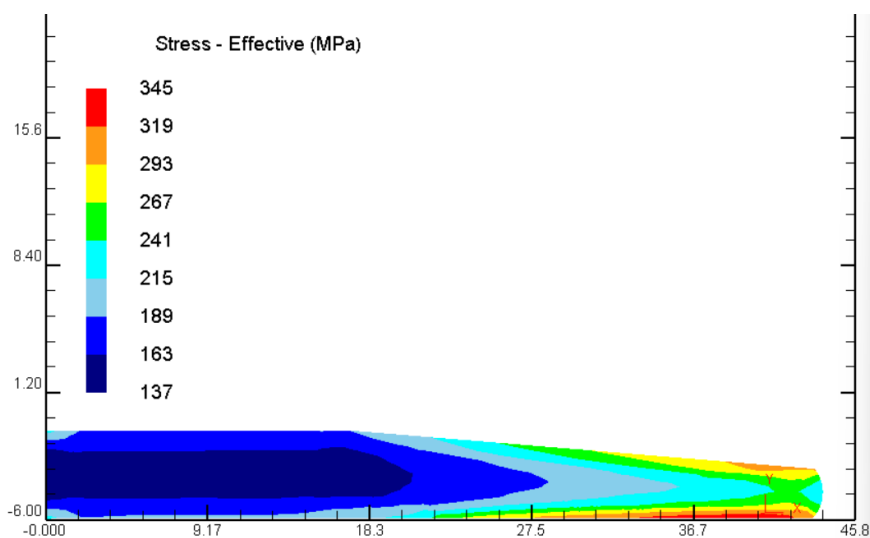


Рисунок 3.8 – Розподіл інтенсивності напружень в об'ємі здеформованої заготовки.

Крім того було встановлено розподіл нормальних напружень на контактних поверхнях заготовки з інструментом (див рис. 3.9). Максимальні значення досягають до 600 МПа на пуансоні.

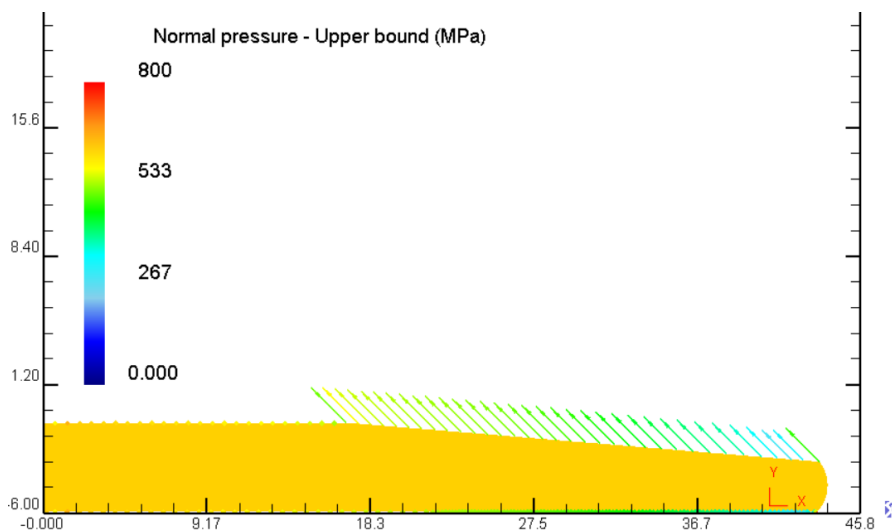


Рисунок 3.9 – Розподіл нормальних напружень на контактних поверхнях заготовки з інструментом

3.3 Моделювання процесу карбування концентраторів на спрофільованій заготовці

Підібрані форма та розміри заготовки для процесу карбування показані на ескізі заготовки (рис. 3.10).

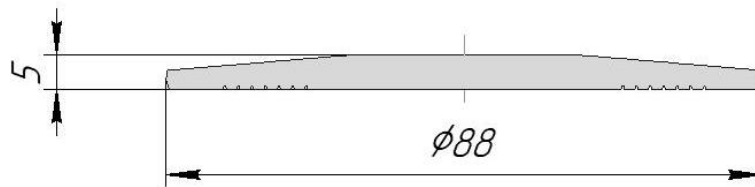
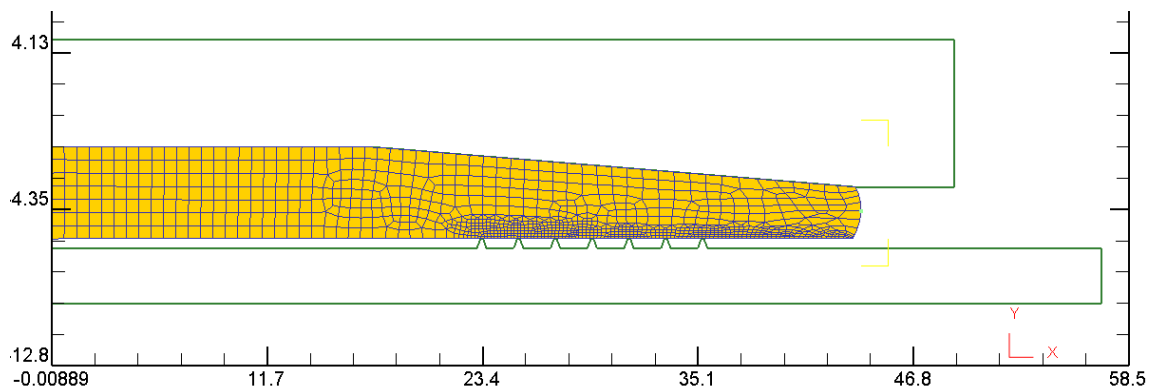
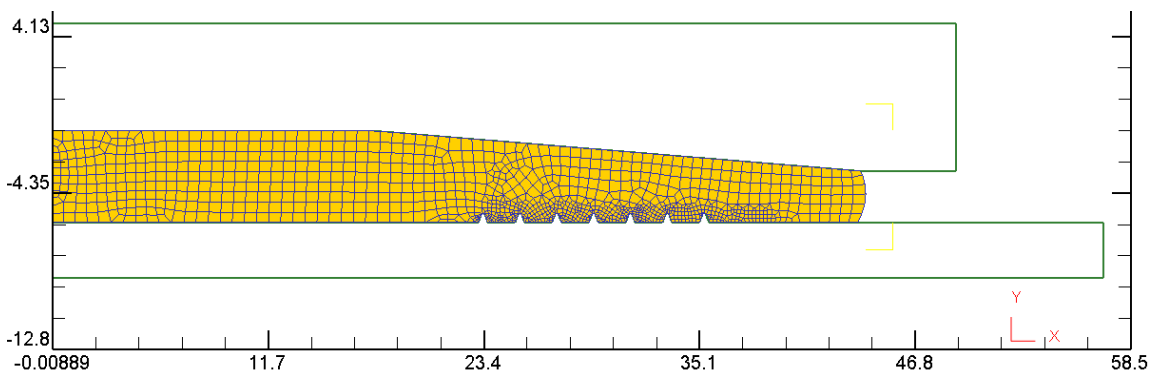


Рисунок 3.10 – Ескіз заготовки

Отримання наведеної заготовки з концентраторами пропонується карбуванням. Вихідні розміри спрофільованої заготовки показано на рис. 3.2. Розрахункова схема процесу карбування концентраторів наведена на рис. 3.11.



а) у вихідному положенні



б) у кінцевому положенні

Рисунок 3.11 – Розрахункова схема процесу карбування концентраторів на спрофільованій заготовці

Залежність зусилля від переміщення пуансона показано рис. 3.12. При переміщенні пуансона 0,47 мм зусилля деформування склало 3,41 МН. При відповідному переміщенні заготовка набуває потрібних розмірів (див. рис. 3.10).

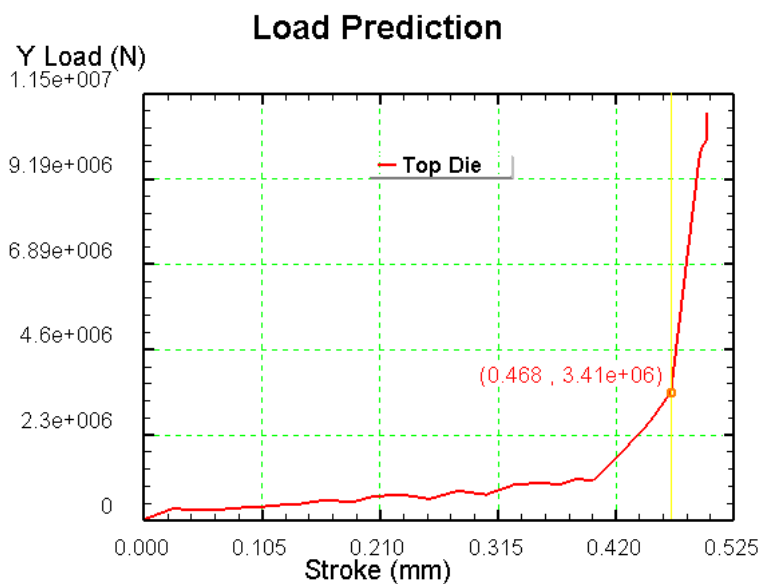


Рисунок 3.12 – Залежність зусилля карбування від переміщення пуансона

На рис. 3.13 показано критерій пошкоджуваності в об'ємі zdeформованої заготовки, який прогнозує ймовірне місце руйнування, або критичний ресурс пластичності матеріалу. В даному випадку процес формування холодний.

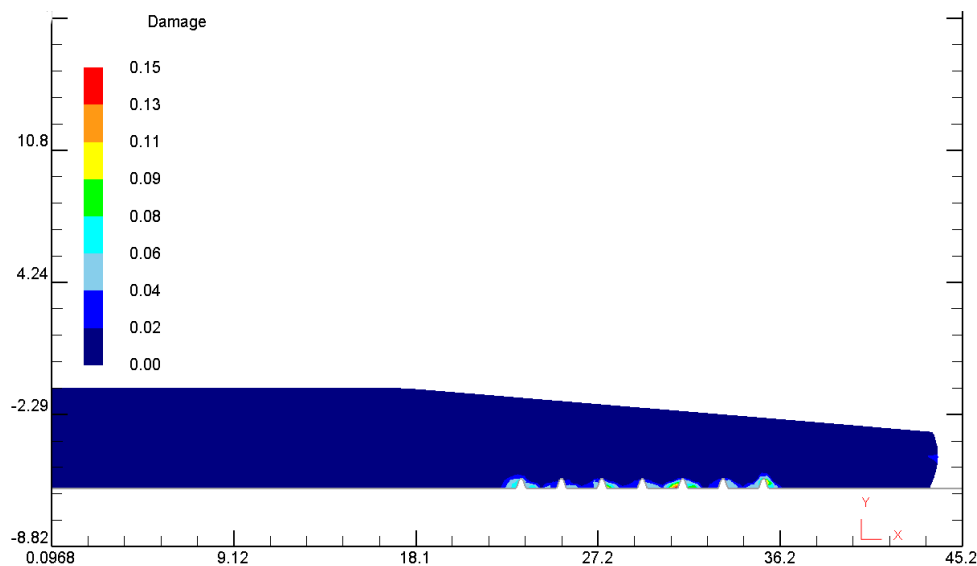


Рисунок 3.13 – Критерій пошкоджуваності в об'ємі zdeформованої заготовки

Розподіл інтенсивності деформації в об'ємі zdeформованої заготовки зображено на рис. 3.14. В місці формування концентраторів у найтоншому місці заготовки інтенсивність деформації досягає значення 0,74. Це характеризує пропрацювання структури матеріалу за рахунок пластичної деформації.

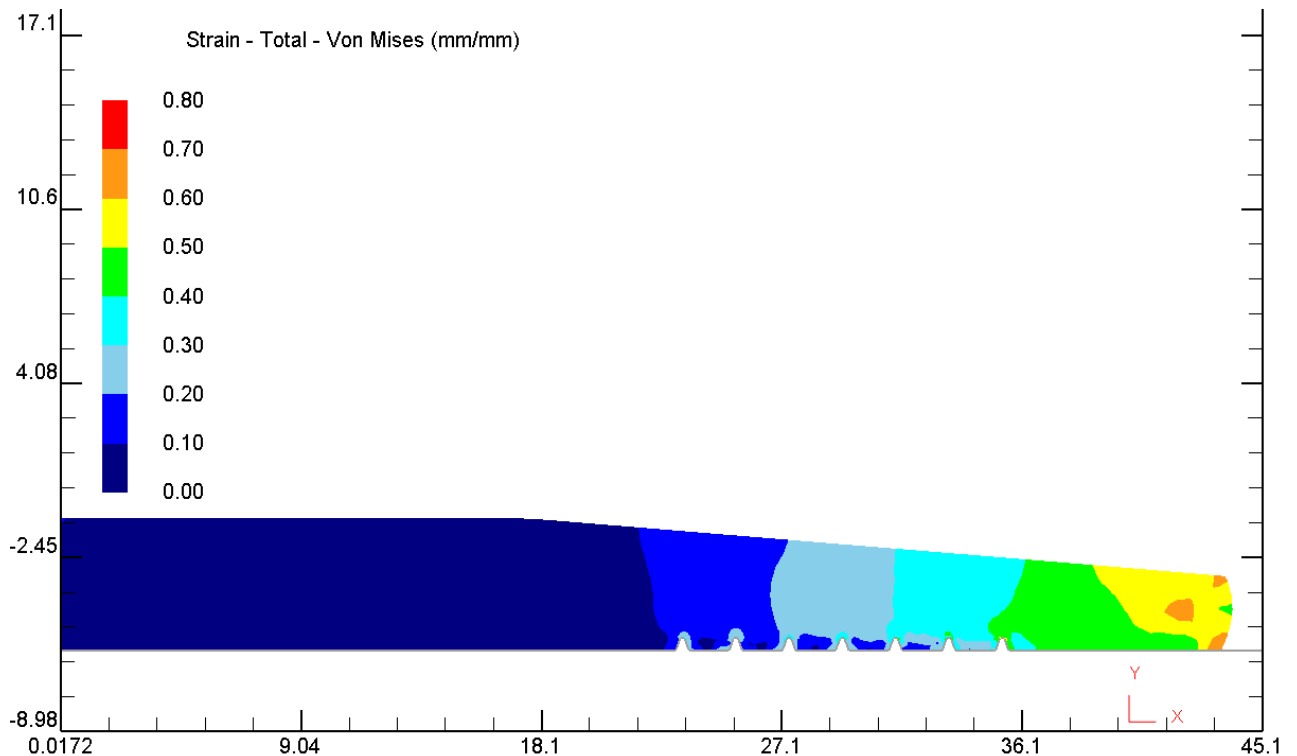


Рисунок 3.14 – Розподіл інтенсивності деформації в об'ємі zdeформованої заготовки

Розподіл інтенсивності напружень в об'ємі zdeформованої заготовки показано на рис. 3.15. Значення інтенсивності напружень характеризує напружений стан заготовки в процесі деформування.

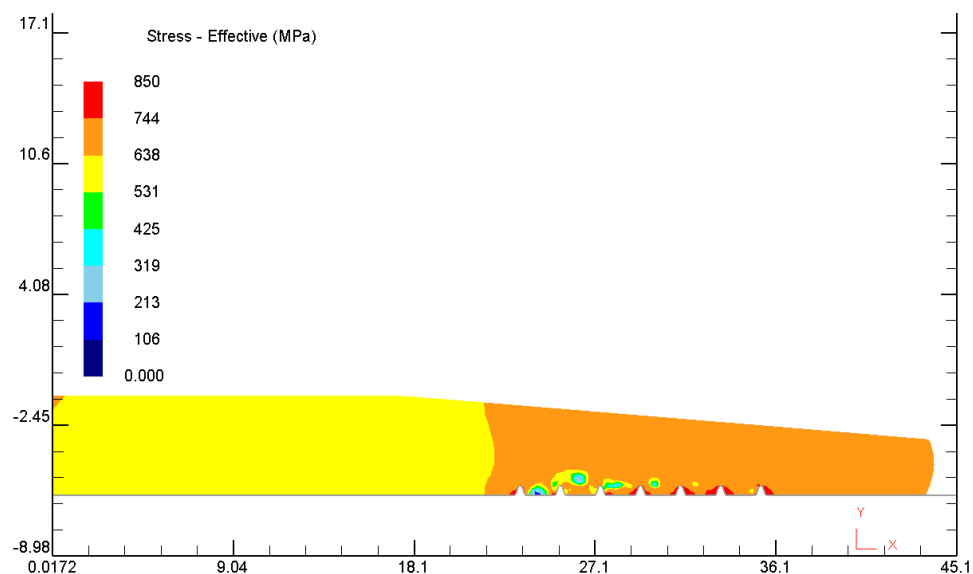


Рисунок 3.15 – Розподіл інтенсивності напружень в об’ємі zdeформованої заготовки

Крім того було встановлено розподіл нормальних напружень на контактних поверхнях заготовки з інструментом (див рис. 3.16). В місці контакту пуансона з заготовкою напруження складають 1000-1500 МПа. Максимальні значення досягають до 2200-2500 МПа в деяких точках поряд з концентраторами.

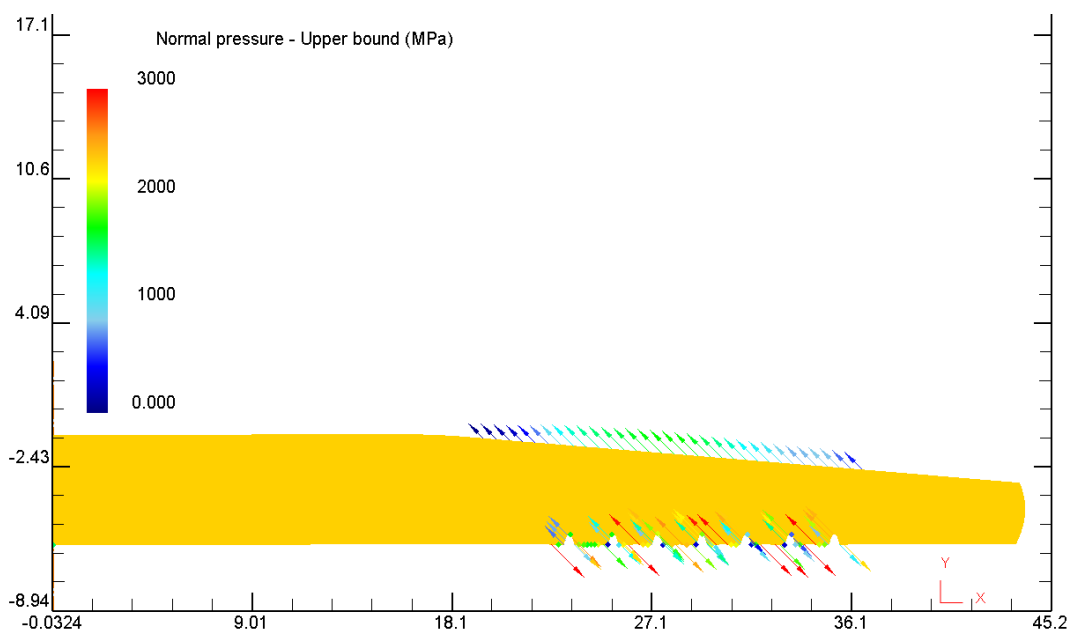


Рисунок 3.16 – Розподіл нормальних напружень на контактних поверхнях заготовки з інструментом

3.4 Моделювання витягування спрофільованої заготовки в 2D

Підібрані форма та розміри заготовки для процесу витягування показані на ескізі заготовки (рис. 3.17).

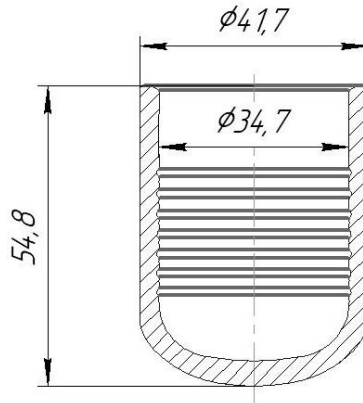
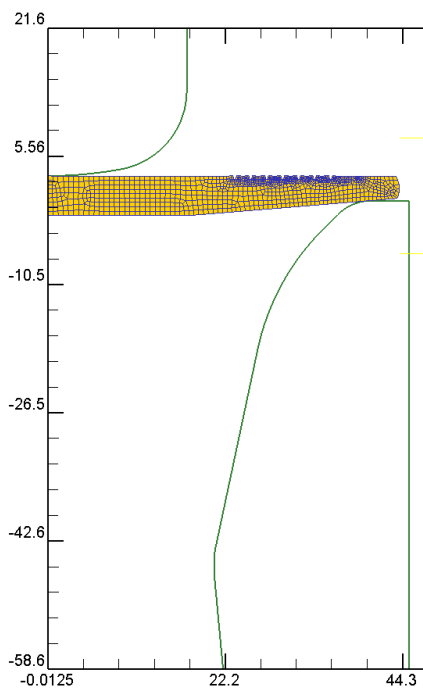
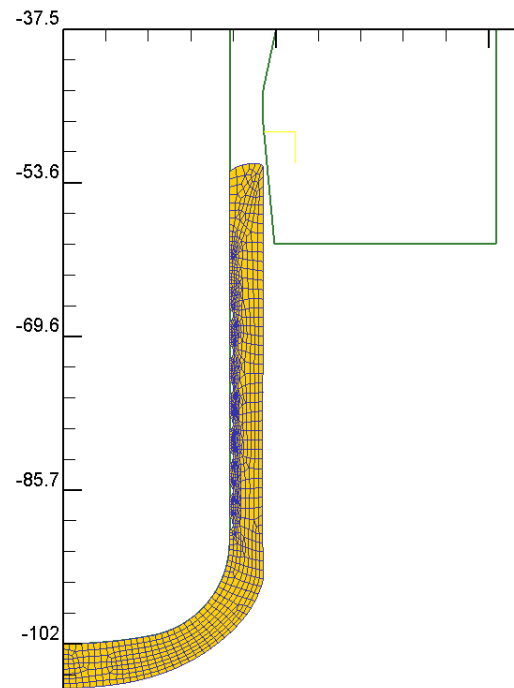


Рисунок 3.17 – Ескіз заготовки

Отримання наведеної заготовки пропонується витягуванням у двохконусну матрицю. Вихідні розміри спрофільованої заготовки показано на рис. 3.10. Розрахункова схема процесу витягування наведена на рис. 3.18.



а) у вихідному положенні



б) у кінцевому положенні

Рисунок 3.18 – Розрахункова схема процесу витягування спрофільованої заготовки

Залежність зусилля від переміщення пуансона показано рис. 3.19. З початку процесу зусилля поступово зростає і досягає максимального значення 290 кН при переміщенні пуансона на 54 мм, після чого заготовка повністю заходить у другий конус матриці і зусилля поступово спадає до нуля.

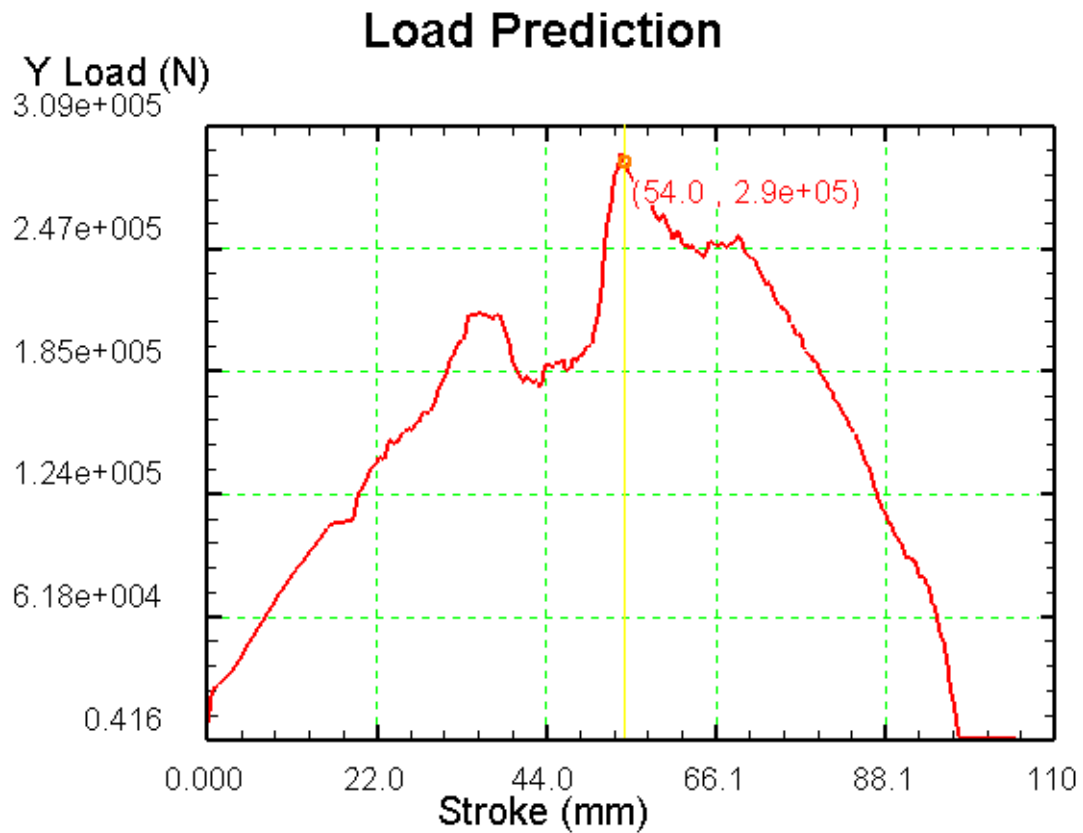


Рисунок 3.19 – Залежність зусилля витягування від переміщення пуансона

На рис. 3.20 показано критерій пошкоджуваності в об'ємі zdeформованої заготовки, який прогнозує ймовірне місце руйнування, або критичний ресурс пластичності матеріалу. В даному випадку процес формування холодний.

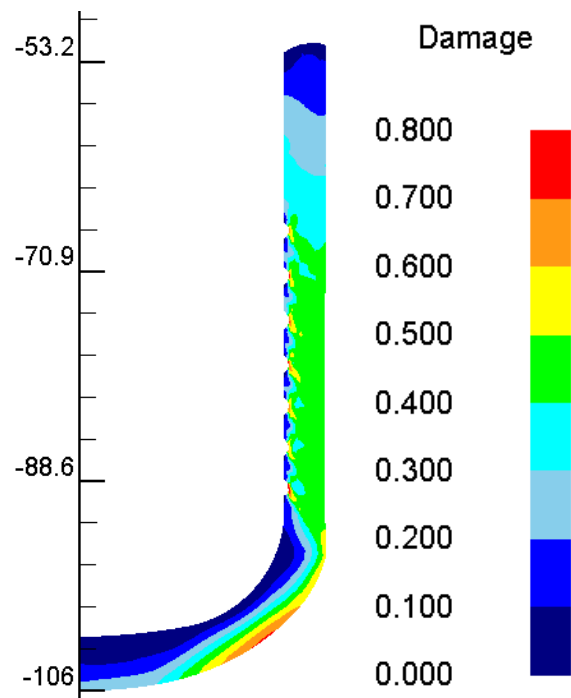


Рисунок 3.20 – Критерій пошкоджуваності в об'ємі zdeформованої заготовки

Розподіл інтенсивності деформації в об'ємі zdeформованої заготовки зображено на рис. 3.21. В місці радіусного переходу інтенсивність деформації досягає значення 0.3, а у стінці заготовки від 0,75 до 1,1.

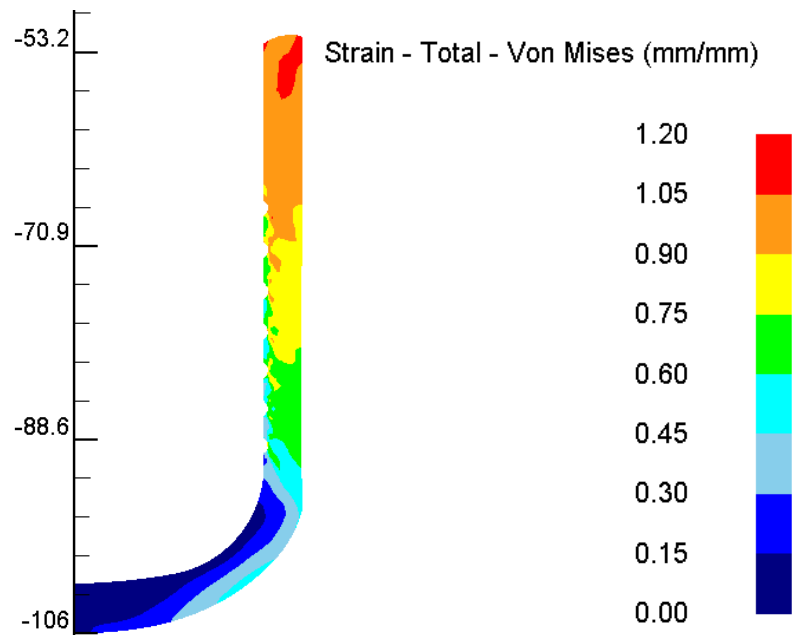


Рисунок 3.21 – Розподіл інтенсивності деформації в об'ємі zdeформованої заготовки

Розподіл інтенсивності напружень в об'ємі zdeформованої заготовки при максимальному зусиллі показано на рис. 3.22. Значення інтенсивності напружень характеризує напружений стан заготовки в процесі деформування.

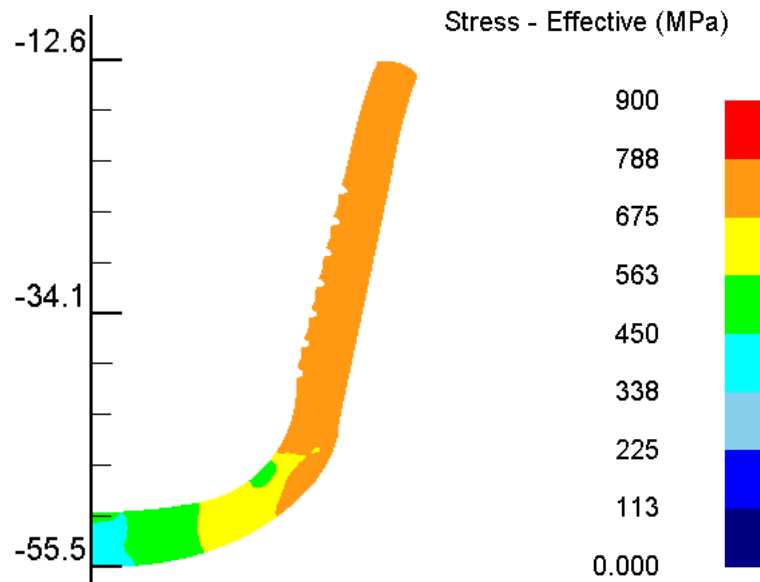


Рисунок 3.22 – Розподіл інтенсивності напружень в об'ємі zdeформованої заготовки при максимальному зусиллі

Було встановлено розподіл нормальних напружень на контактних поверхнях заготовки з інструментом при максимальному зусиллі (див рис. 3.23). В місці контакту пуансона з заготовкою зусилля складають 300-400 МПа. Максимальні значення досягають до 600 МПа в місці конусного переходу матриці.

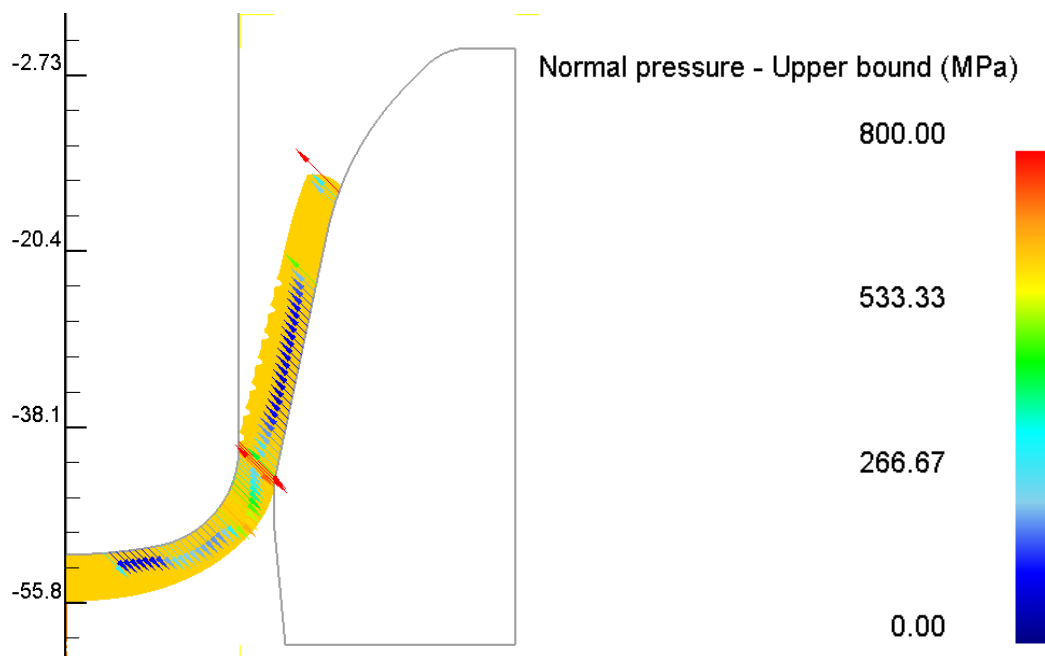


Рисунок 3.23 – Розподіл нормальних напружень на контактних поверхнях заготовки з інструментом при максимальному зусиллі

3.4.1 Моделювання витягування спрофільованої заготовки в 3D

Також було проведено моделювання витягування заготовки в 3D. Результат моделювання вказаний на рис. 3.24.

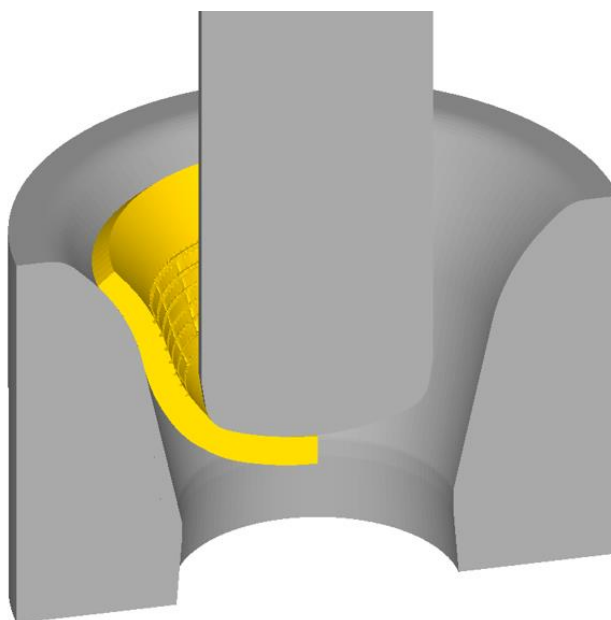


Рисунок 3.24 – Моделювання витягування заготовки в 3D

Моделювання проводили щоб перевірити процес витягування та виявити чи виникнуть при деформуванні гофри або інші дефекти. На рис. 3.24 ми можемо спостерігати їх відсутність. Моделювання проводили лише для четвертини заготовки, оскільки кількість елементів у сітці заготовки досить велика і моделювання займає багато часу. Але для перевірки на наявність гофр цього цілком достатньо.

На рис. 3.25 для порівняння показано критерій пошкоджуваності при однаковому переміщенні пуансона в об'ємі zdeформованої заготовки при моделюванні в 2D (рис. 3.25, а) та 3D (рис. 3.25, б). Як видно з рисунка, критерій пошкоджуваності є майже однаковим в 2D та 3D моделюванні.

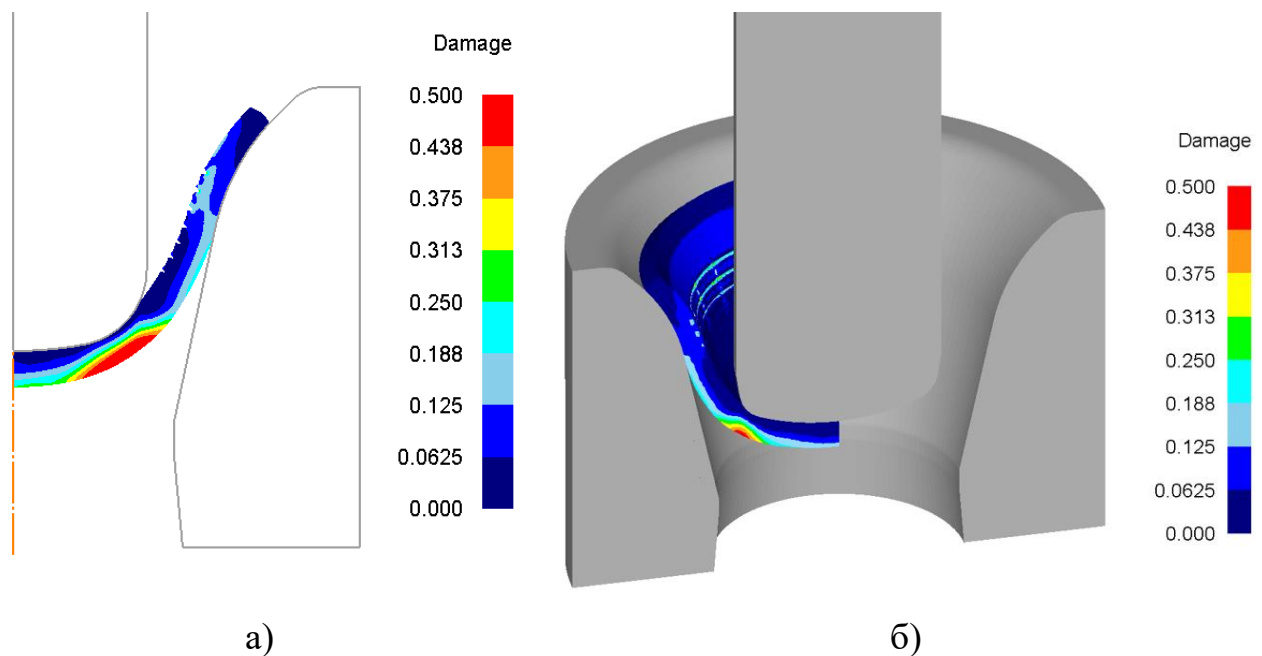


Рисунок 3.25 – Критерій пошкоджуваності в об'ємі zdeформованої заготовки при моделюванні в 2D (а) та 3D (б)

На рис. 3.26 для порівняння показано розподіл інтенсивності напружень при однаковому переміщенні пуансона в об'ємі zdeформованої заготовки при моделюванні в 2D (рис. 3.26, а) та 3D (рис. 3.26, б). Тут ми можемо спостерігати, що значення інтенсивності напружень в 2D моделюванні є дещо більшими, ніж в 3D.

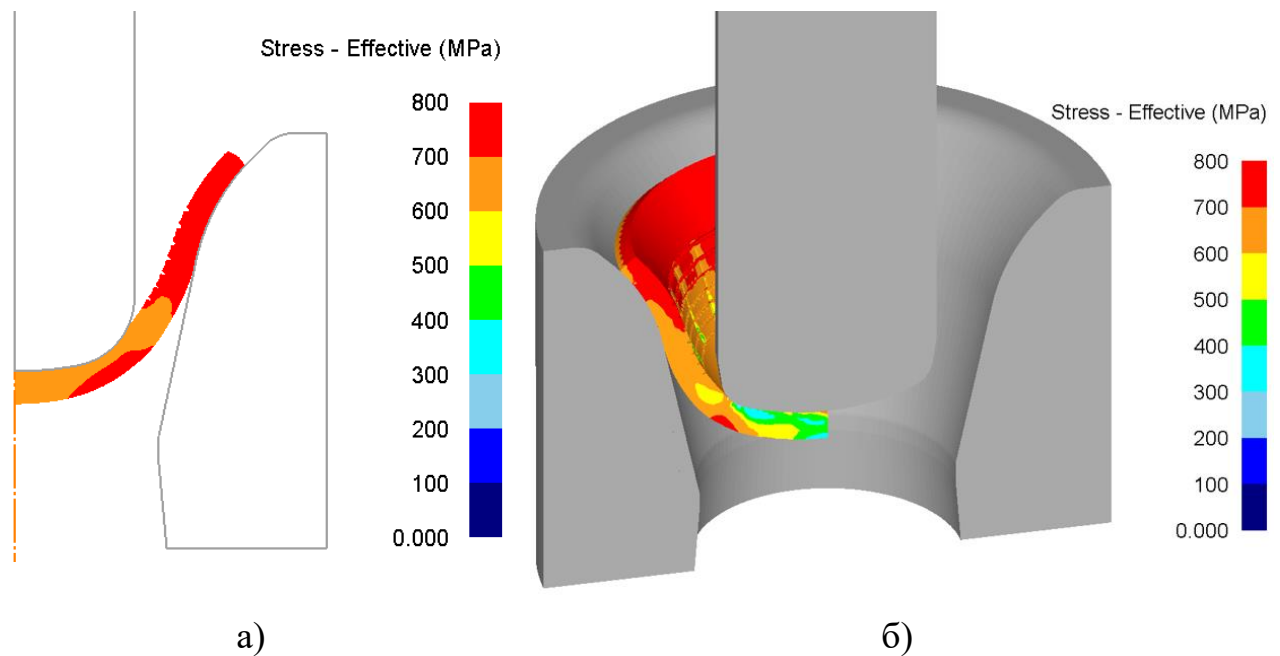


Рисунок 3.26 – Розподіл інтенсивності напружень в об’ємі zdeформованої заготовки при моделюванні в 2D (a) та 3D (б)

3.5 Висновки до третього розділу

В третьому розділі був проведений аналіз отримання деталі використовуючи метод скінченних елементів шляхом чисельного моделювання у середовищі Deform таких операцій:

- 1) Гарячого осадження листової заготовки;
- 2) Карбування концентраторів спрофільованої заготовки;
- 3) Витягування спрофільованої заготовки у двохконусній матриці.

В результаті було отримано графіки залежності зусиль процесів від переміщення інструменту. Також було отримано розподіл критерію руйнування, інтенсивності деформацій, інтенсивності напружень в об’ємі zdeформованої заготовки та розподіл нормальних напружень на контактних поверхнях заготовки з інструментом.

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОСКОЛКОВОСТІ КОРПУСУ 40 ММ ГРАНАТИ

4.1 Загальна теорія, матеріали та методи

Використання методів чисельного моделювання для задач високошвидкісного нелінійного деформування матеріалів дозволяє уникнути недоліків натурних випробувань і є одним з найбільш ефективних способів оцінки міцності, прогнозування стійкості й оптимізації конструкцій при ударних навантаженнях.

Саме тому, враховуючи сучасні можливості комп'ютерної техніки, все частіше вдаються до проведення чисельних експериментів, в тому числі при дослідженні динамічних процесів [19,20].

Зазвичай спочатку експериментально визначають параметри моделі поведінки матеріалу і на основі цих даних проводять чисельне моделювання, результати якого мають не тільки якісне, а й кількісне співпадіння з експериментальними даними. Детально послідовність створення та оцінки чисельної моделі наведена в роботах авторів [21-40], та застосовувалась й при проведенні цього дослідження.

Числове моделювання дроблення корпусу 40мм гранати проведене з використанням твердотільних скінченних елементів та урахуванням особливостей матеріалу та конструкції гранати.

Чисельне моделювання проводили з використанням моделі матеріалу Джонсона-Кука [41,42] і Купера-Саймондса [43] для деталей гранати, що не мають значного вкладу в процес дроблення. Ці моделі є одними з загальноновживаних для чисельних розрахунків динамічних процесів в металевих матеріалах.

Модель Джонсона-Кука описується рівняннями:

$$\sigma_y = \left(A + B \bar{\varepsilon}^{p^n} \right) \cdot \left(1 + c \ln \dot{\varepsilon}^* \right) \cdot \left(1 - T^{*m} \right), \quad (4.1)$$

де A, B, C, n і m – константи матеріалу;

$\bar{\varepsilon}^p$ – ефективна пластична деформація;

$\dot{\varepsilon}^* = \dot{\varepsilon}^p / \dot{\varepsilon}_0$ – швидкість ефективної пластичної деформації для $\dot{\varepsilon}_0 = 1 \text{ s}^{-1}$;

$T^* = (T - T_{room}) / (T_{melt} - T_{room})$ – гомологічна температура.

Деформація при руйнуванні задається залежністю:

$$\varepsilon^f = \left[D_1 + D_2 \exp D_3 \sigma^* \right] \cdot \left[1 + D_4 \ln \dot{\varepsilon}^* \right] \cdot \left[1 - T^* \right], \quad (4.2)$$

де $\sigma^* = p / \sigma_{eff}$ – співвідношення тиску до ефективних напружень.

Руйнування відбувається за умови, якщо параметр руйнування $D = \sum \bar{\varepsilon}^p / \varepsilon^f$ досягає значення 1.

При використанні об'ємних елементів застосовувалося рівняння стану Мі-Грюнайзена:

$$p = \left[\frac{\rho_0 \cdot C^2 \cdot \mu \left[1 + (1 - \gamma_0 / 2) \mu - a / 2 \mu^2 \right]}{\left[1 - (S_1 - 1) \mu - S_2 \frac{\mu^2}{\mu + 1} - S_3 \frac{\mu^3}{(\mu + 1)^2} \right]} \right] + (\gamma_0 + a \mu) E, \quad (4.3)$$

де C – кутовий коефіцієнт кривої $V_s - V_p$;

S_1, S_2, S_3 – коефіцієнти нахилу кривої $V_s - V_p$;

γ_0 – постійна Грюнайзена;

a – корекція об'єму першого порядку γ_0 ;

$\mu = \rho / \rho_0 - 1$.

Модель Купера-Саймондса описується наступними рівняннями:

$$\sigma_T = \left[1 + \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{C} \right)^{1/p} \right] (\sigma_0 + \beta E_p \varepsilon_{eff}^p); \quad (4.4)$$

$$E_p = E_{tg} E / (E - E_{tg}); \quad (4.5)$$

$$\varepsilon_{eff}^p = \int_0^t \left(\frac{2}{3} \dot{\varepsilon}_{ij}^p \right)^{1/2} dt, \quad (4.6)$$

де p і C – параметри швидкості деформацій;

$\dot{\varepsilon}$ – швидкість деформацій;

σ_0, σ_T – статична та динамічна границя плинності;

E – модуль пружності;

E_{tg} – модуль зміцнення.

Швидкість пластичних деформацій визначається як різниця між швидкостями повних і пружних деформацій $\dot{\varepsilon}_{ij}^p = \dot{\varepsilon}_{ij} - \dot{\varepsilon}_{ij}^e$.

При цих дослідженнях побудована тривимірна геометрична модель гранти. На основі геометричних моделей розроблені скінченно-елементні моделі гранати.

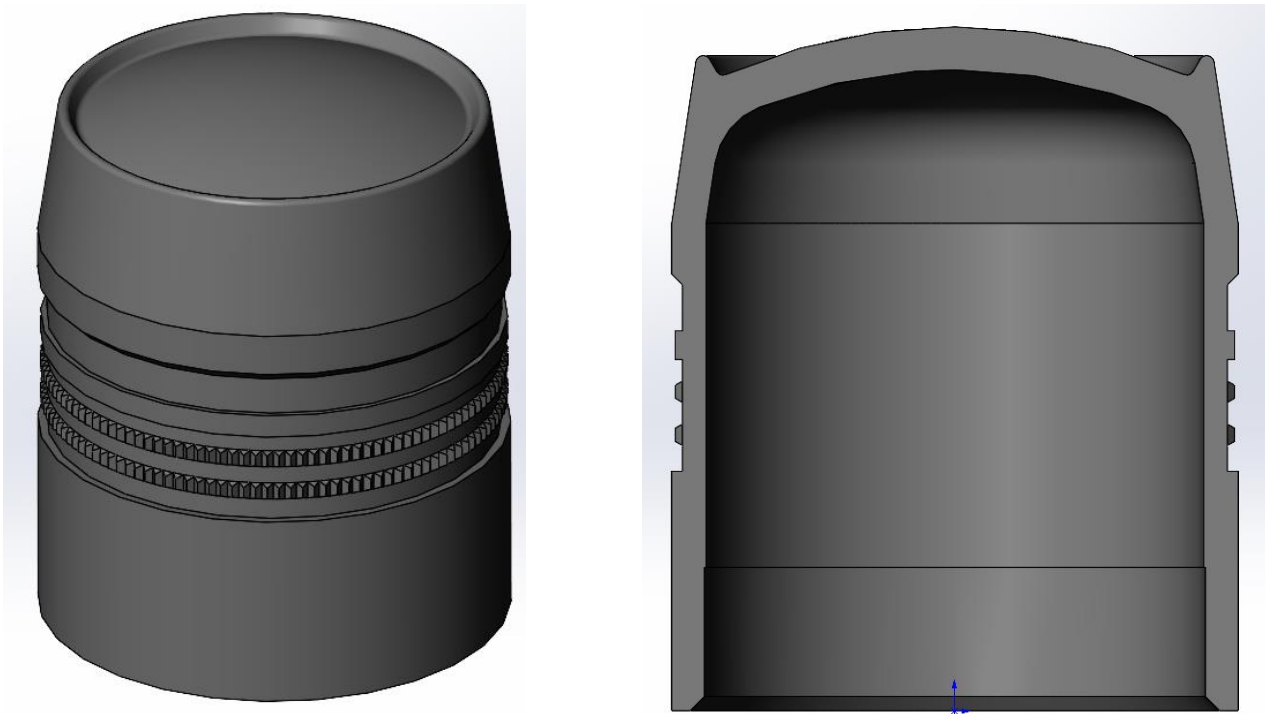


Рисунок 4.1 – Геометрична модель корпусу 40 мм гранати

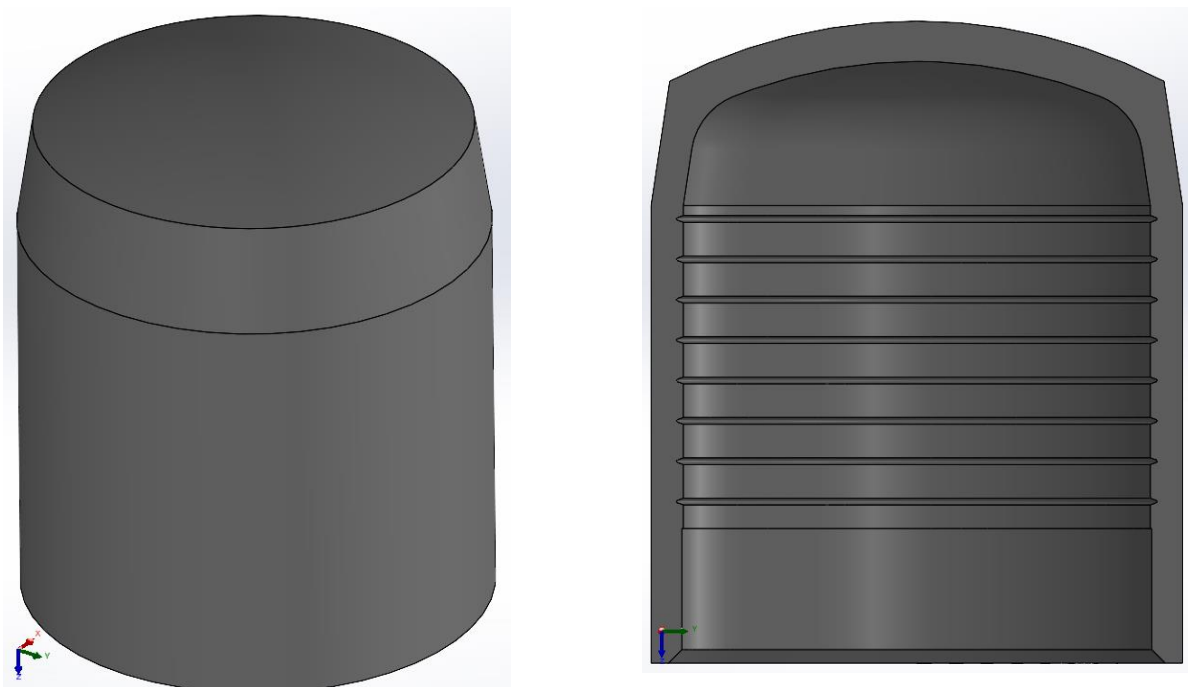


Рисунок 4.2 – Геометрична модель корпусу 40 мм гранати з радіальними концентраторами

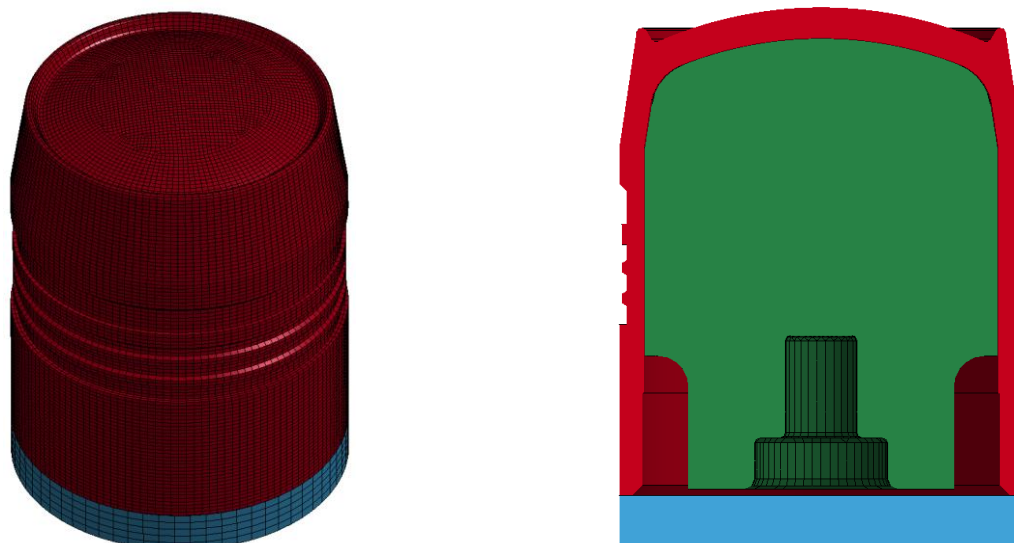


Рисунок 4.3 – Скінченно-елементна модель корпусу 40 мм гранати

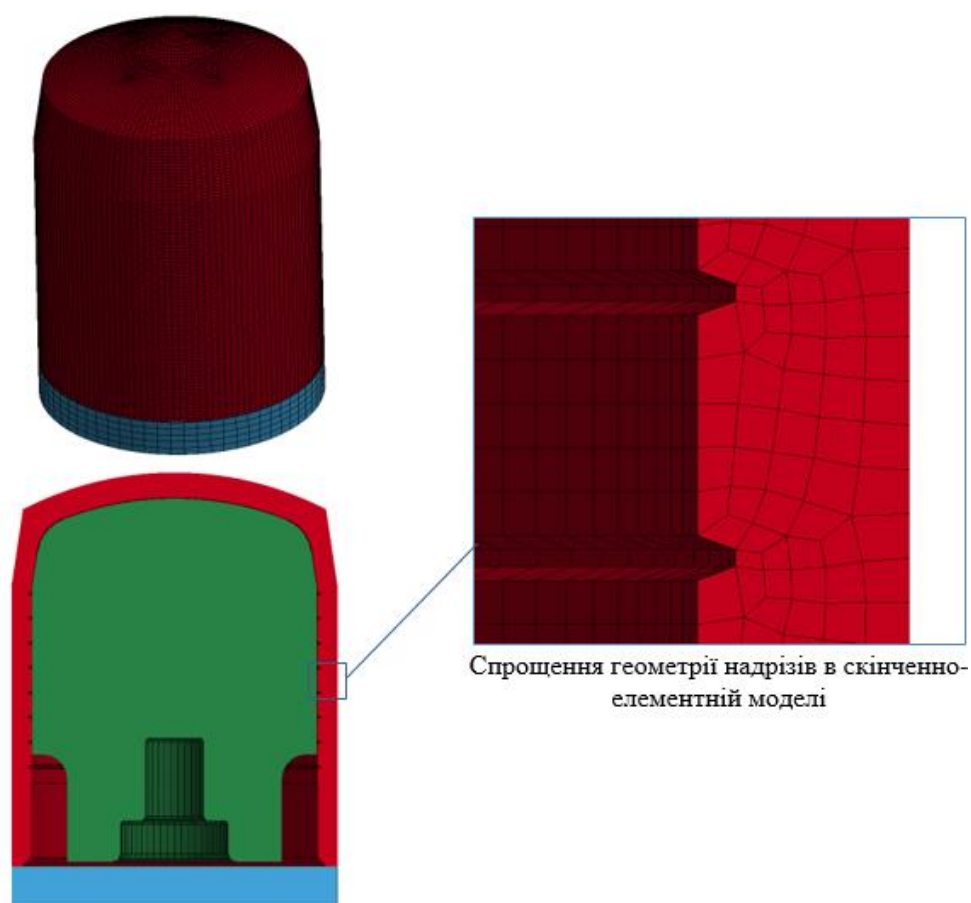


Рисунок 4.4 – Скінченно-елементна модель корпусу 40 мм гранати
з радіальними концентраторами

4.2 Моделювання дроблення корпусу

Оцінка впливу розмірів скінченно-елементної моделі на процес дроблення корпусу.

В першому випадку розміри скінченних елементів складають 0,4-0,6 мм.

В другому випадку розміри скінченних елементів складають 0,2-0,4 мм.

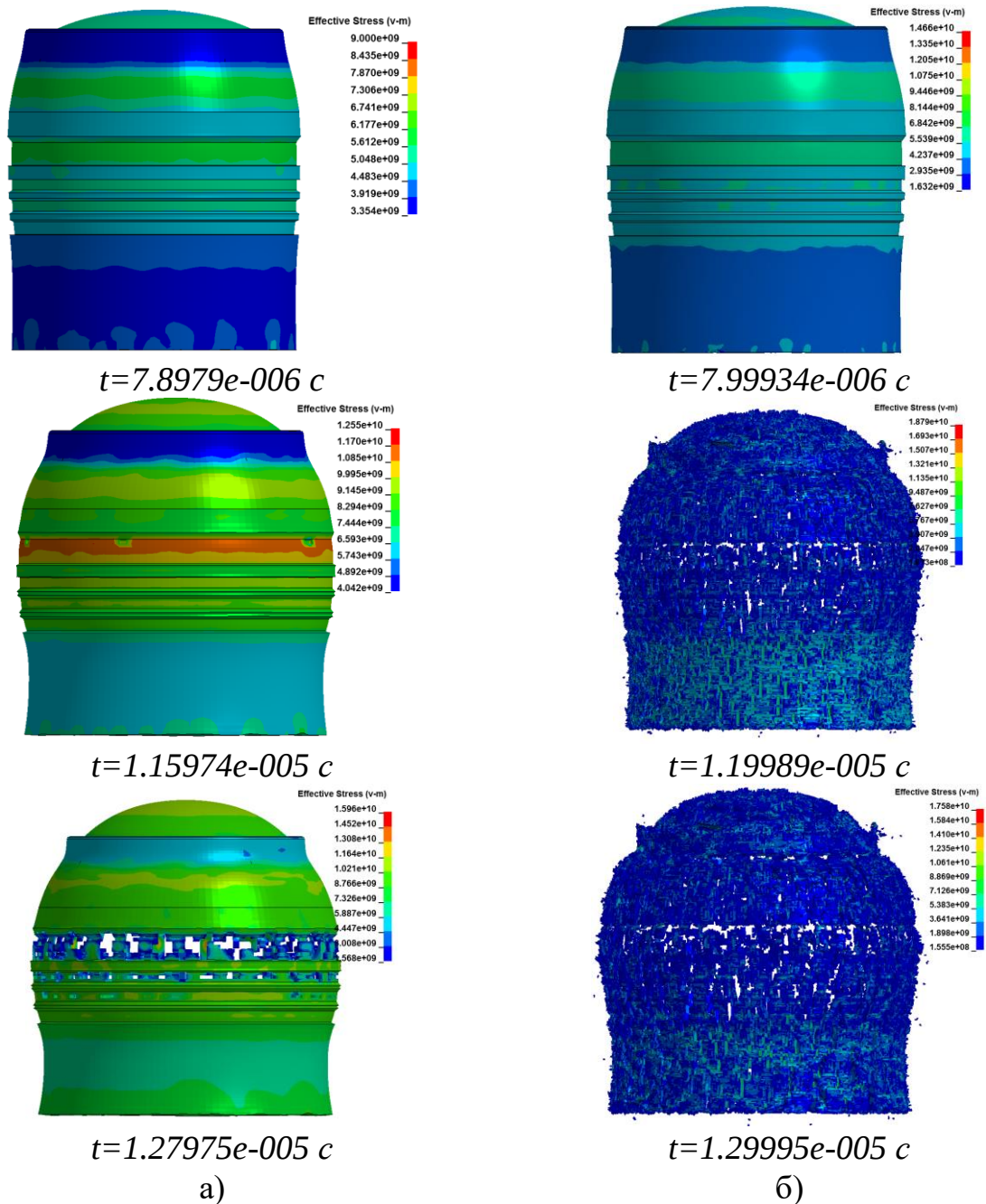
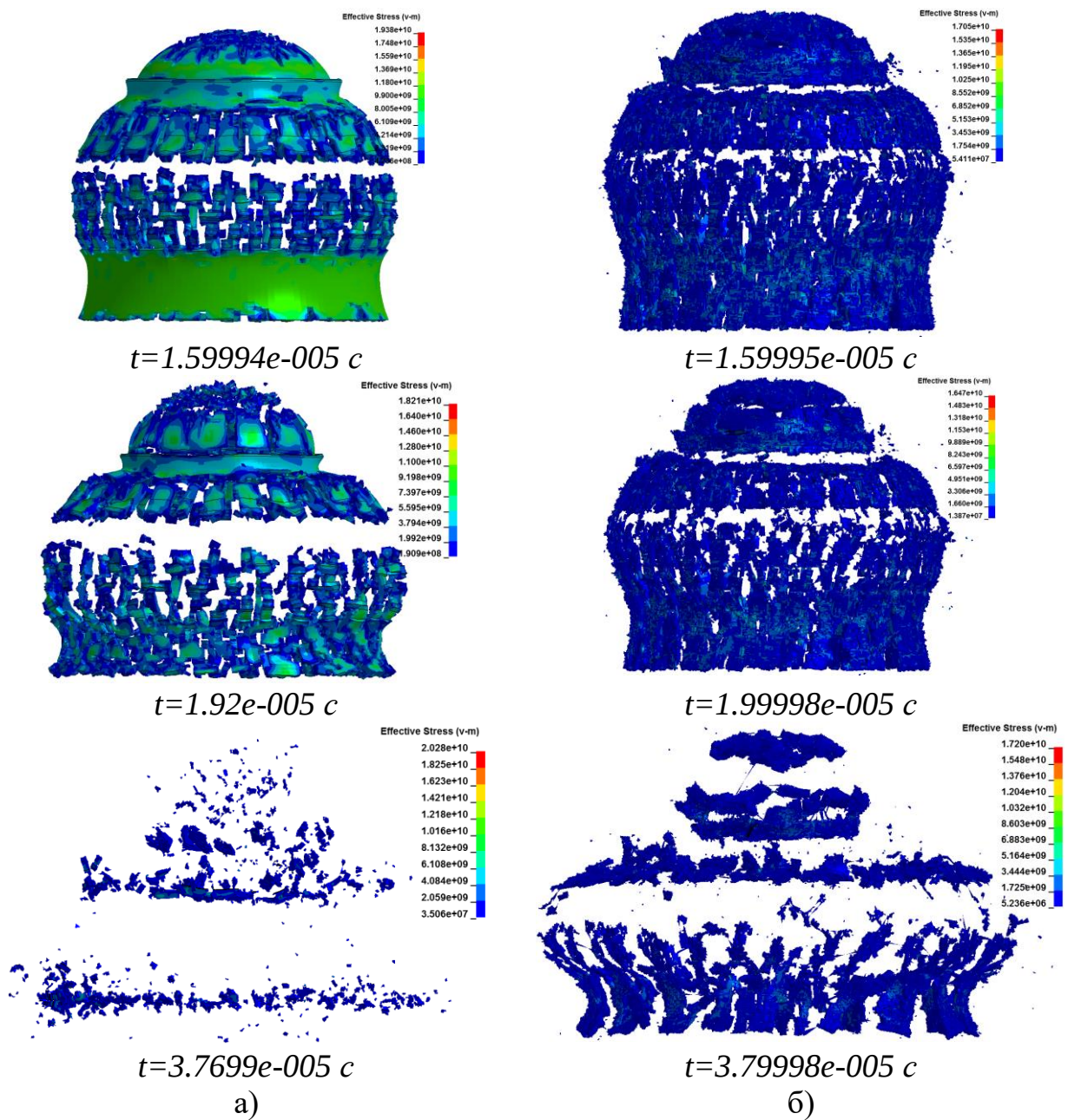


Рисунок 4.5 – Процес дроблення корпусу 40 мм гранати:

а – розміри скінченних елементів 0,4-0,6 мм;

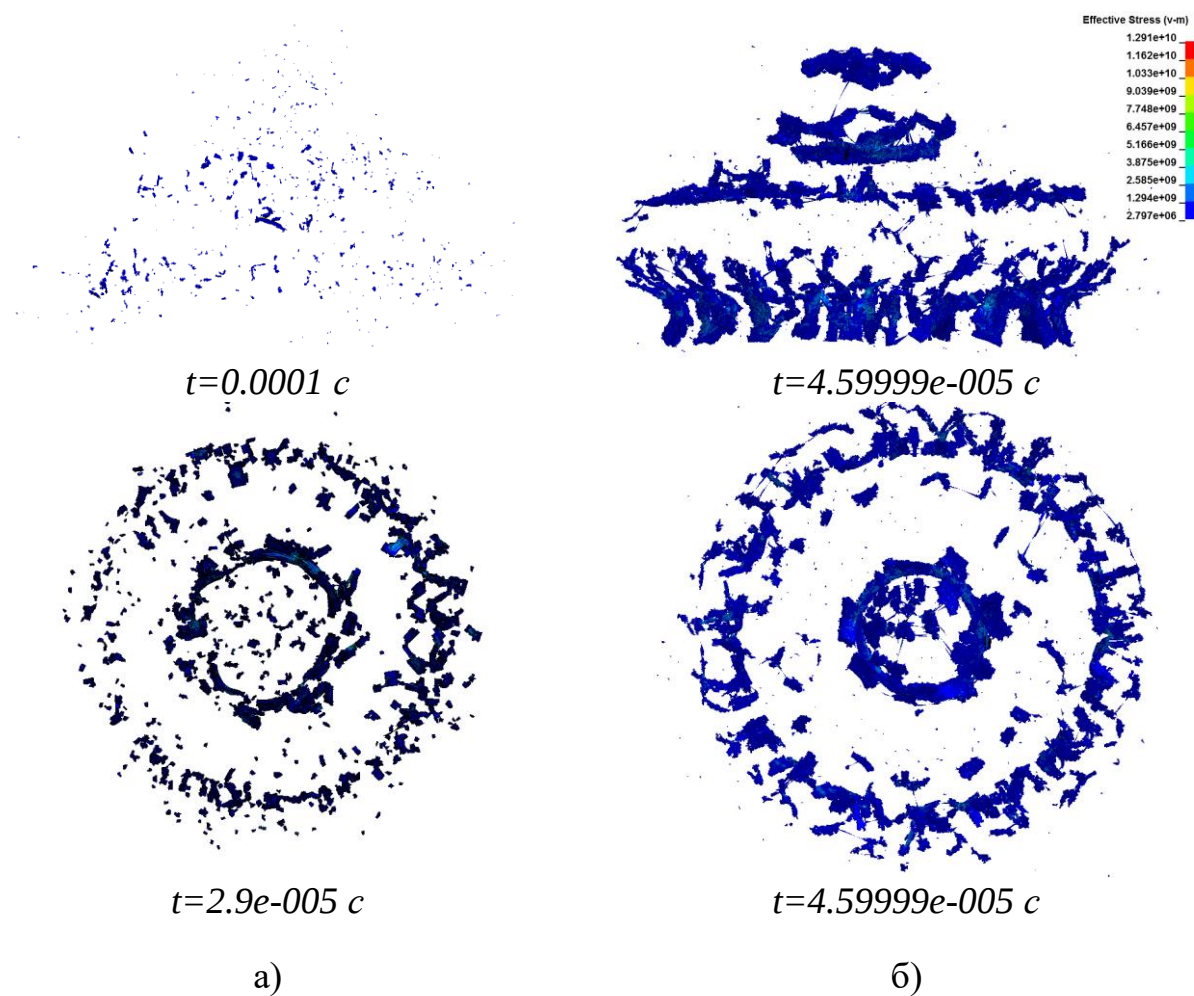
б – розміри скінченних елементів 0,2-0,4 мм



Продовження рис. 4.5 – Процес дроблення корпусу 40 мм гранати:

а – розміри скінченних елементів 0,4-0,6 мм;

б – розміри скінченних елементів 0,2-0,4 мм



Продовження рис. 4.5 – Процес дроблення корпусу 40 мм гранати:

а – розміри скінченних елементів 0,4-0,6 мм;

б – розміри скінченних елементів 0,2-0,4 мм

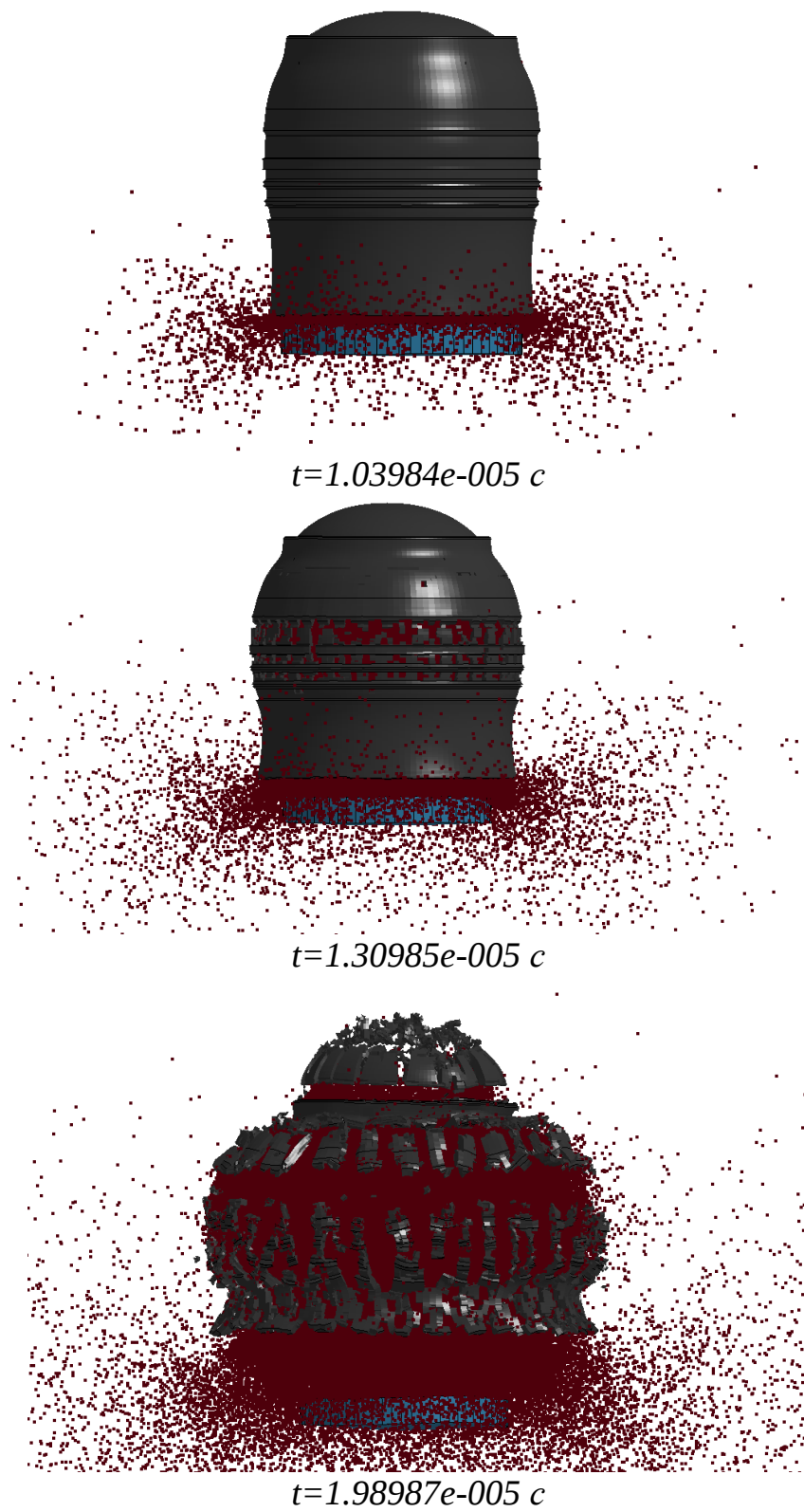
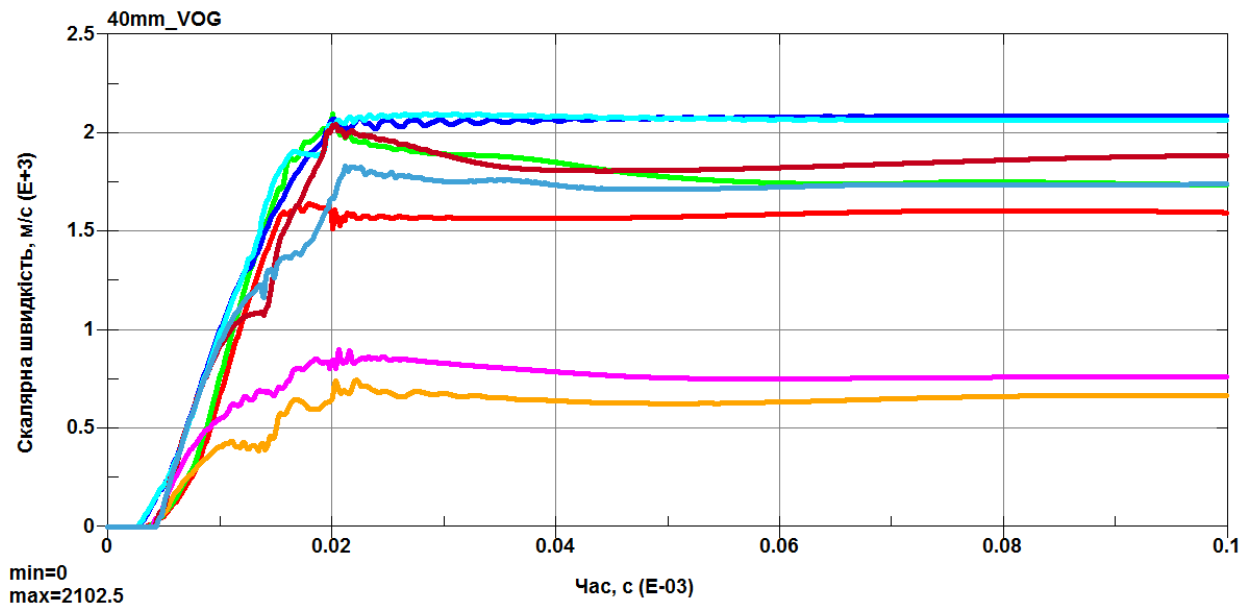
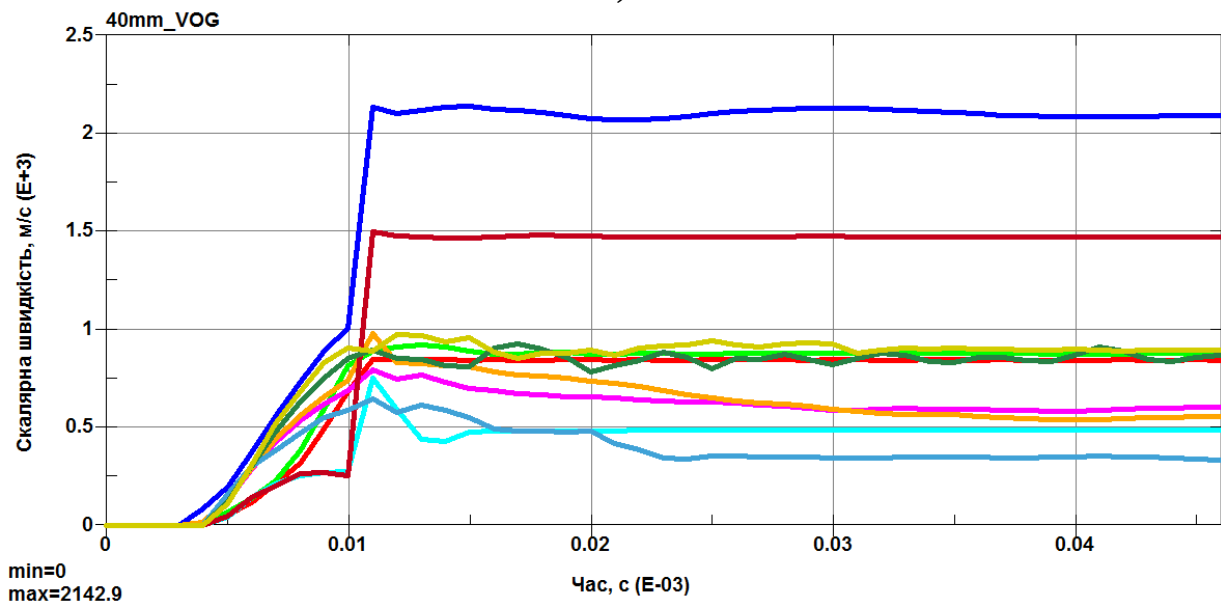


Рисунок 4.6 – Кадри процесу дроблення корпусу 40 мм гранати, що є характерні для різних варіантів чисельного моделювання



а)



б)

Рисунок 4.7 – Значення швидкості окремих осколків:

а – розміри скінченних елементів 0,4-0,6 мм;

б – розміри скінченних елементів 0,2-0,4 мм

Довідково:

імовірність ураження 0,7 – відповідає терміну **суцільне ураження**;

імовірність ураження 0,5 – відповідає терміну **ефективне ураження**;

імовірність ураження 0,2 – відповідає терміну **звичайне ураження**.

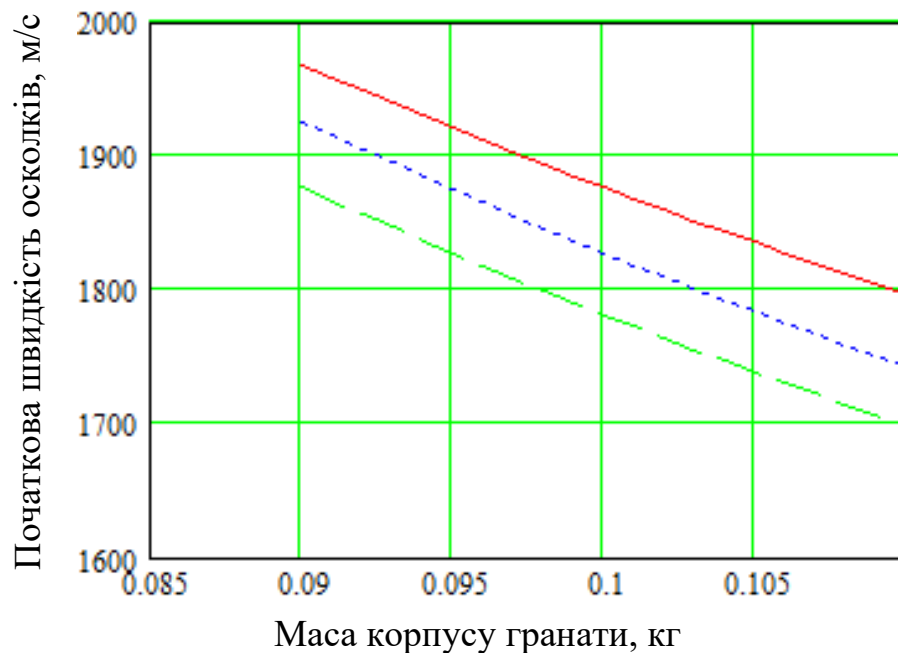


Рисунок 4.8 – Значення початкової швидкості осколків (штатний корпус), розраховане за аналітичними методиками різних авторів

Наведенні значення початкової швидкості осколків (див. рис. 4.8) для корпусу гранати розраховані для маси ВР 56 гр.

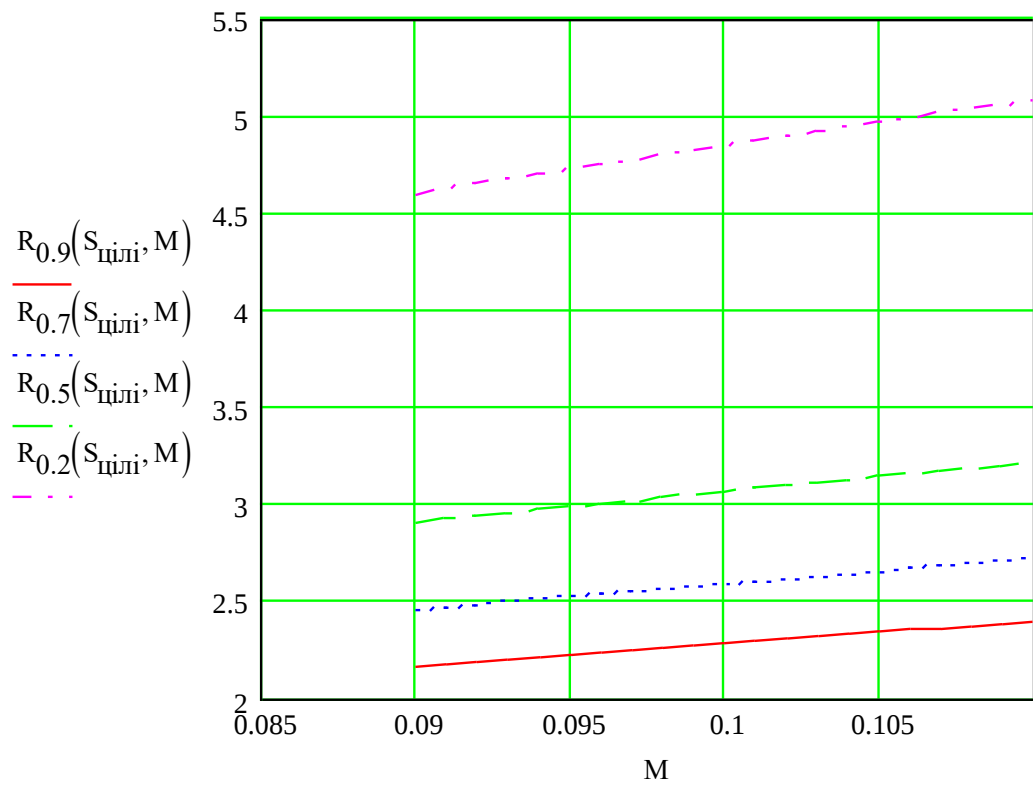
При проведенню аналітичному розрахунку маса корпусу (без урахування маси торцевої частини) складає 92 гр. Повна маса корпусу гранати складає близько 110 гр.

Отримані максимальні значення початкової швидкості осколків складають:

для корпусу, що **не** враховує масу торцевої частини – **1797 м/с;**

для корпусу, що враховує масу торцевої частини – **1675 м/с;**

Розрахунковий радіус уражену людини (мішень №8), м



Маса корпусу гранати, кг

Рисунок 4.9 – Значення радіусу ураження людини (мішень №8) при підриві гранати (штатний корпус) залежно від імовірності ураження

Сталь 10



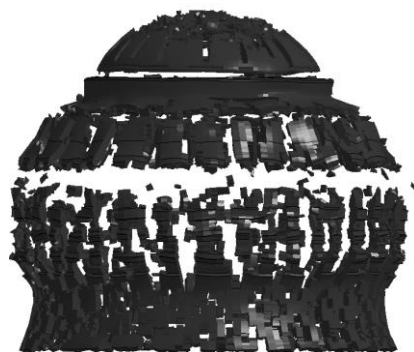
$t=1.10991e-005 \text{ c}$



$t=1.20987e-005 \text{ c}$



$t=1.30985e-005 \text{ c}$



$t=1.7098e-005 \text{ c}$

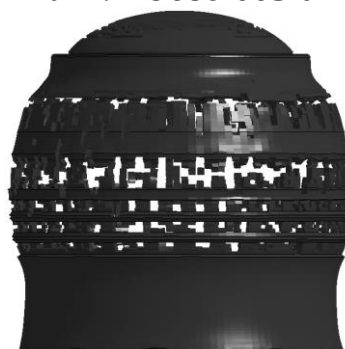
Сталь 45



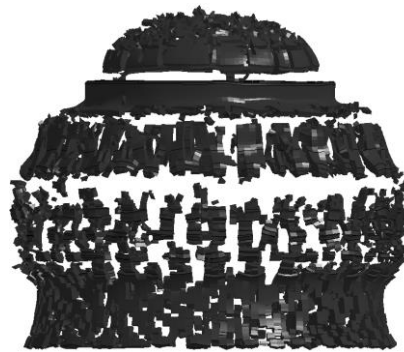
$t=1.11998e-005 \text{ c}$



$t=1.21968e-005 \text{ c}$

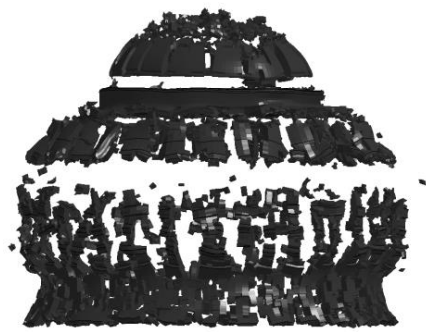


$t=1.31997e-005 \text{ c}$

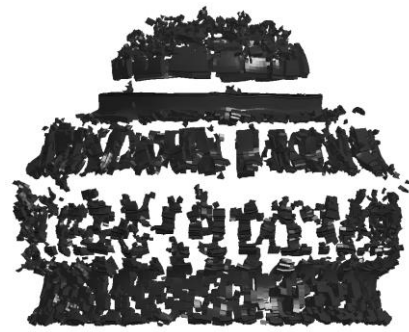


$t=1.71999e-005 \text{ c}$

Рисунок 4.10 – Кадри дроблення корпусу штатної гранати, що виготовлений із різних марок сталі



$t=1.90995e-005 \text{ c}$



$t=1.9198e-005 \text{ c}$



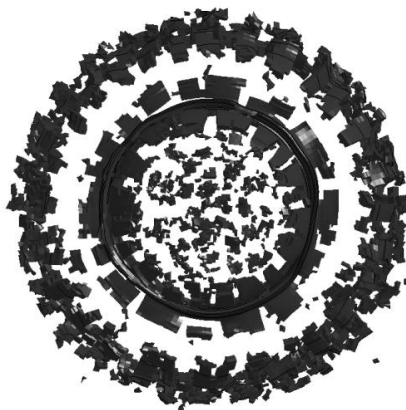
$t=2.00759e-005 \text{ c}$



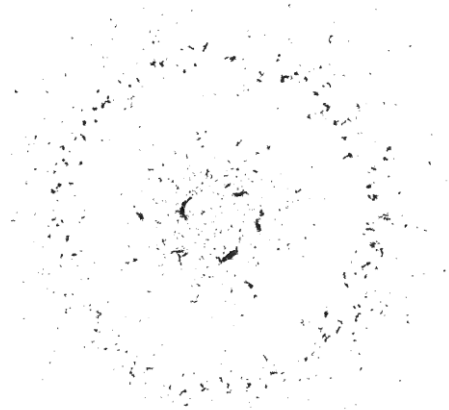
$t=3.56998e-005 \text{ c}$



$t=0.0001 \text{ c}$

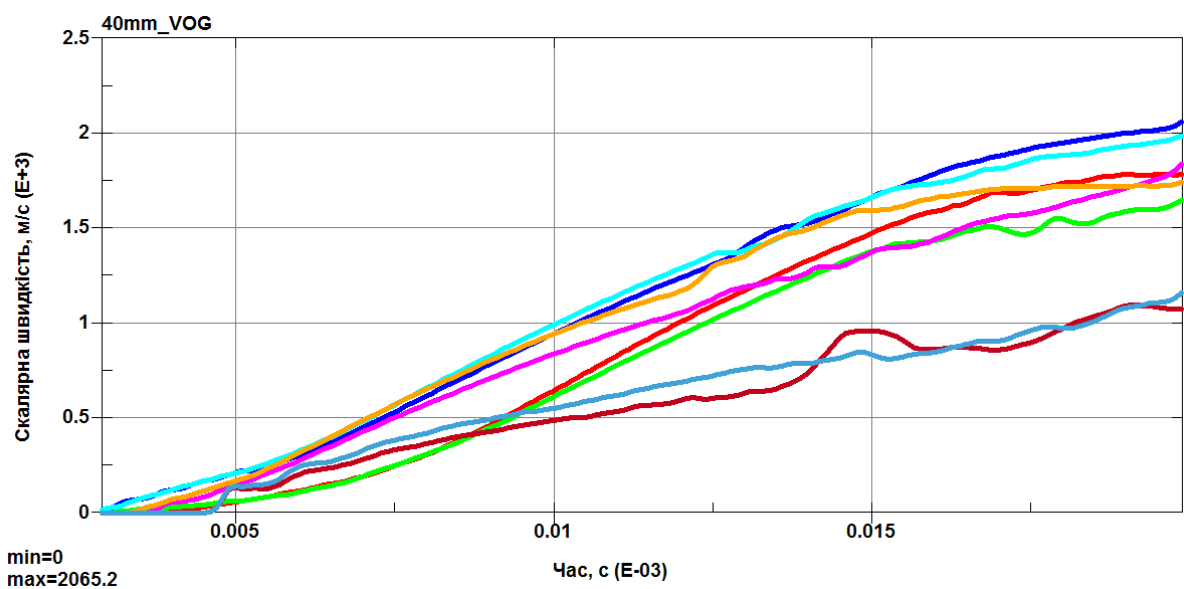


$t=2.00759e-005 \text{ c}$

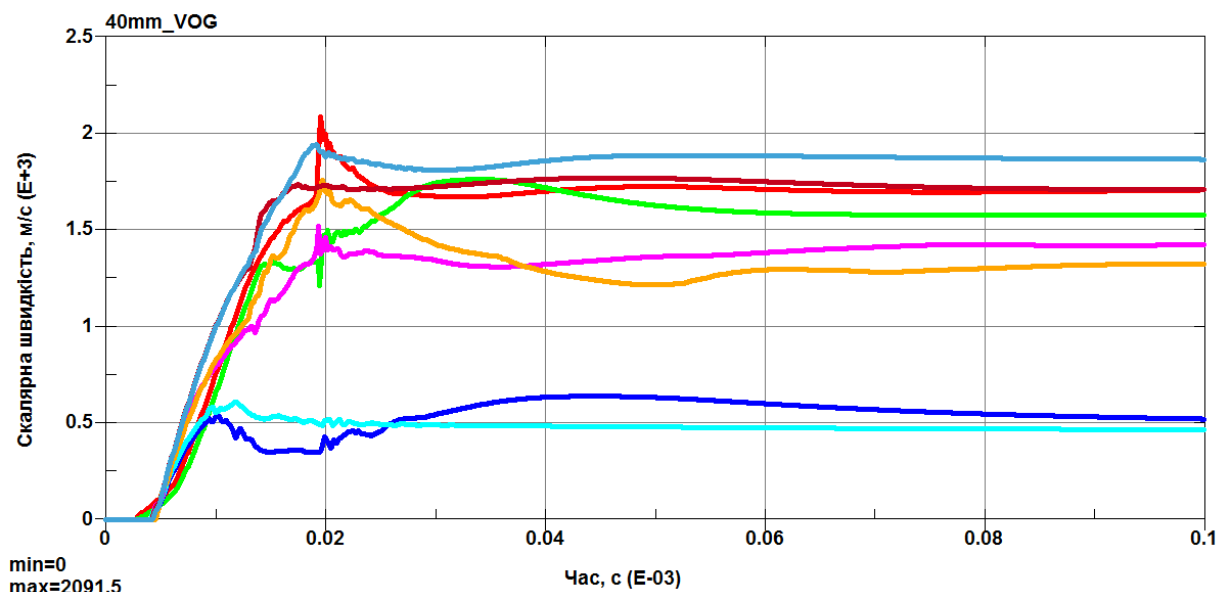


$t=0.0001 \text{ c}$

Продовження рис. 4.10 – Кадри дроблення корпусу штатної гранати, що виготовлений із різних марок сталі



Сталь 10



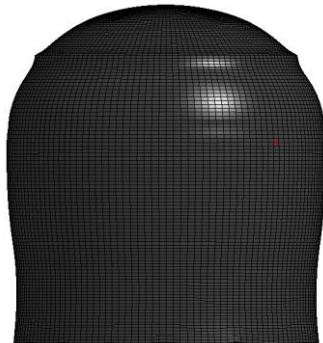
Сталь 45

Рисунок 4.11 – Значення швидкості окремих осколків в різних частинах (поясах) корпусу штатної гранати

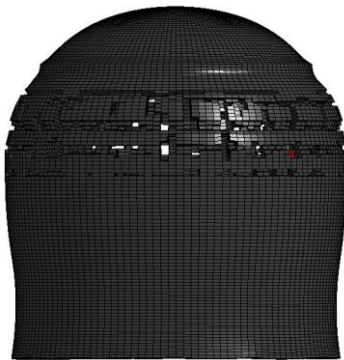
Сталь 10



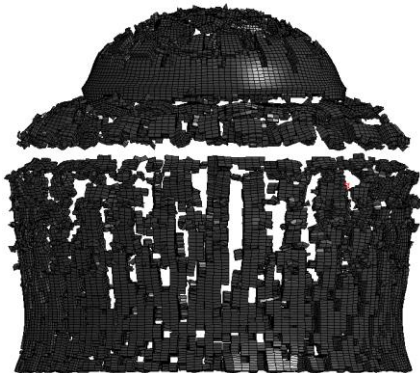
$t=1.10983e-05 \text{ c}$



$t=1.20998e-05 \text{ c}$

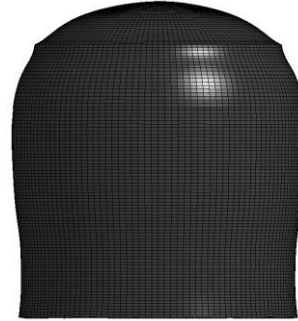


$t=1.30972e-05 \text{ c}$



$t=1.70983e-05 \text{ c}$

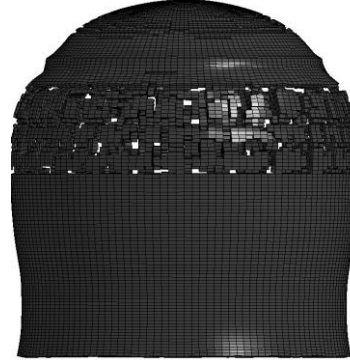
Сталь 45



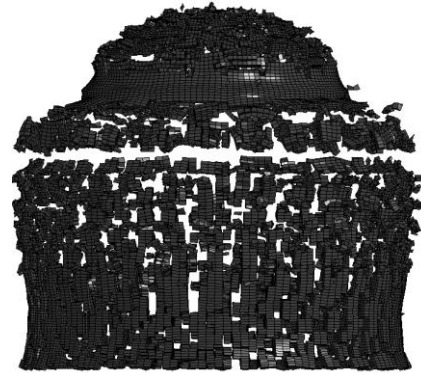
$t=1.10992e-05 \text{ c}$



$t=1.20968e-05 \text{ c}$

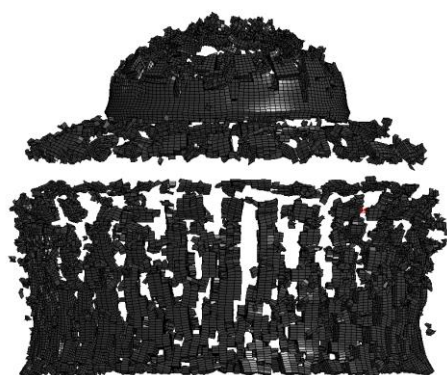


$t=1.30998e-05 \text{ c}$

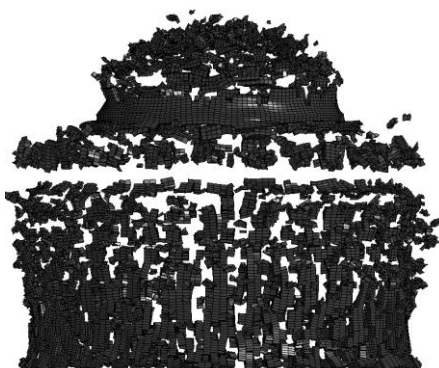


$t=1.70996e-05 \text{ c}$

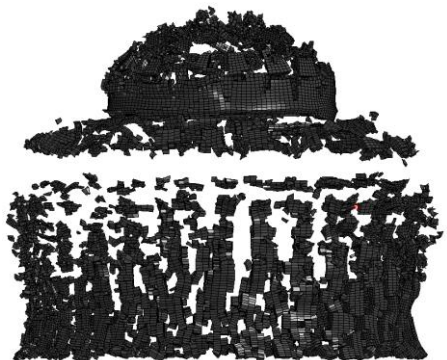
Рисунок 4.12 – Кадри дроблення корпусу гранати з концентраторами,
що виготовлений із різних марок сталі



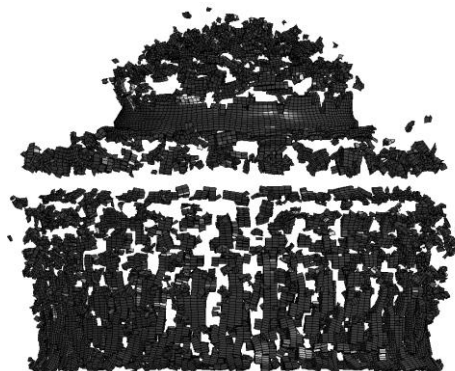
$t=1.90989e-05 \text{ c}$



$t=1.90991e-05 \text{ c}$



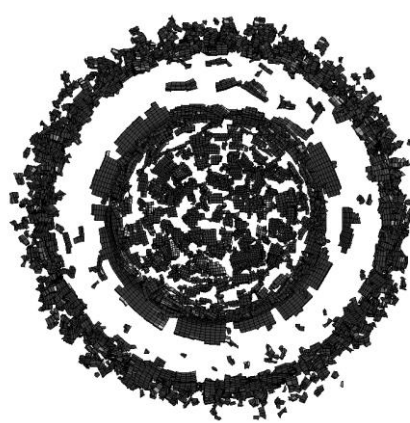
$t=1.99999e-05 \text{ c}$



$t=1.99995e-05 \text{ c}$

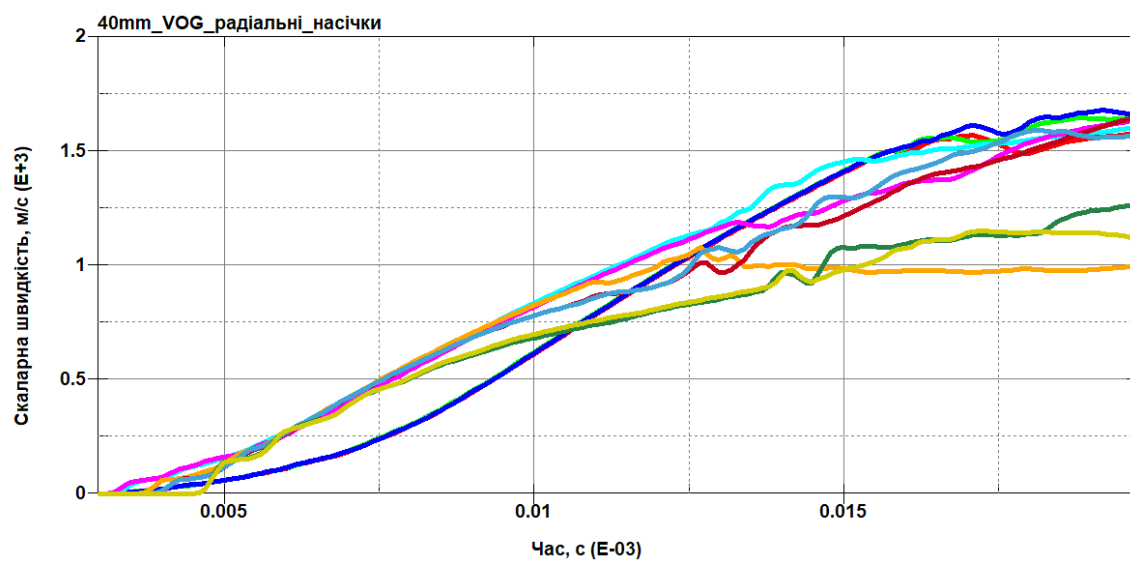


$t=1.99999e-05 \text{ c}$

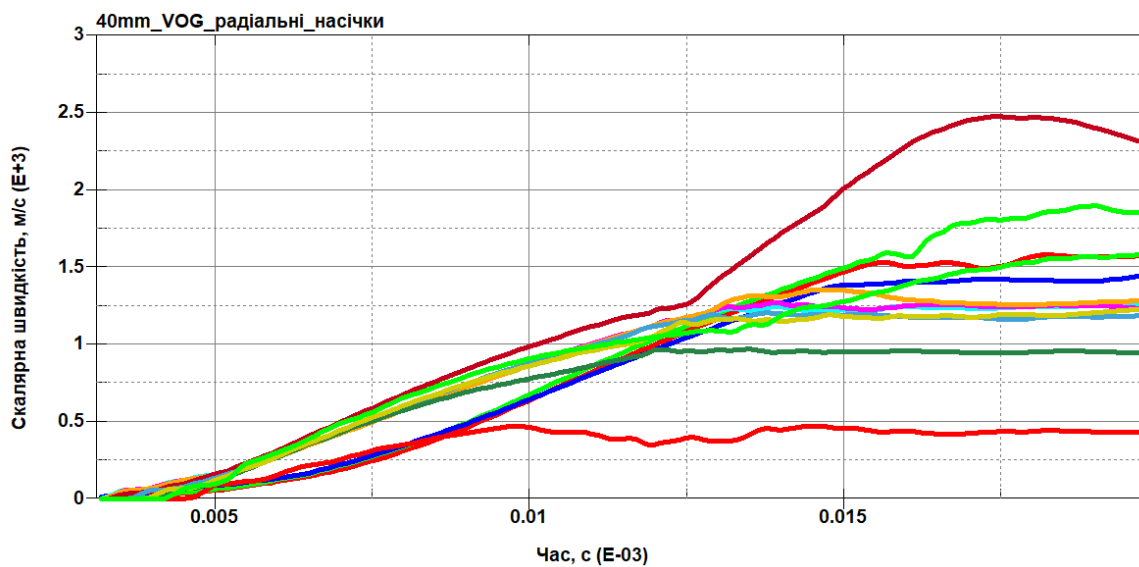


$t=1.99995e-05 \text{ c}$

Продовження рис. 4.12 – Кадри дроблення корпусу **гранати з концентраторами**, що виготовлений із різних марок сталі



Сталь 10



Сталь 45

Рисунок 4.13 – Значення швидкості окремих осколків в різних частинах (поясах) корпусу гранати з концентраторами

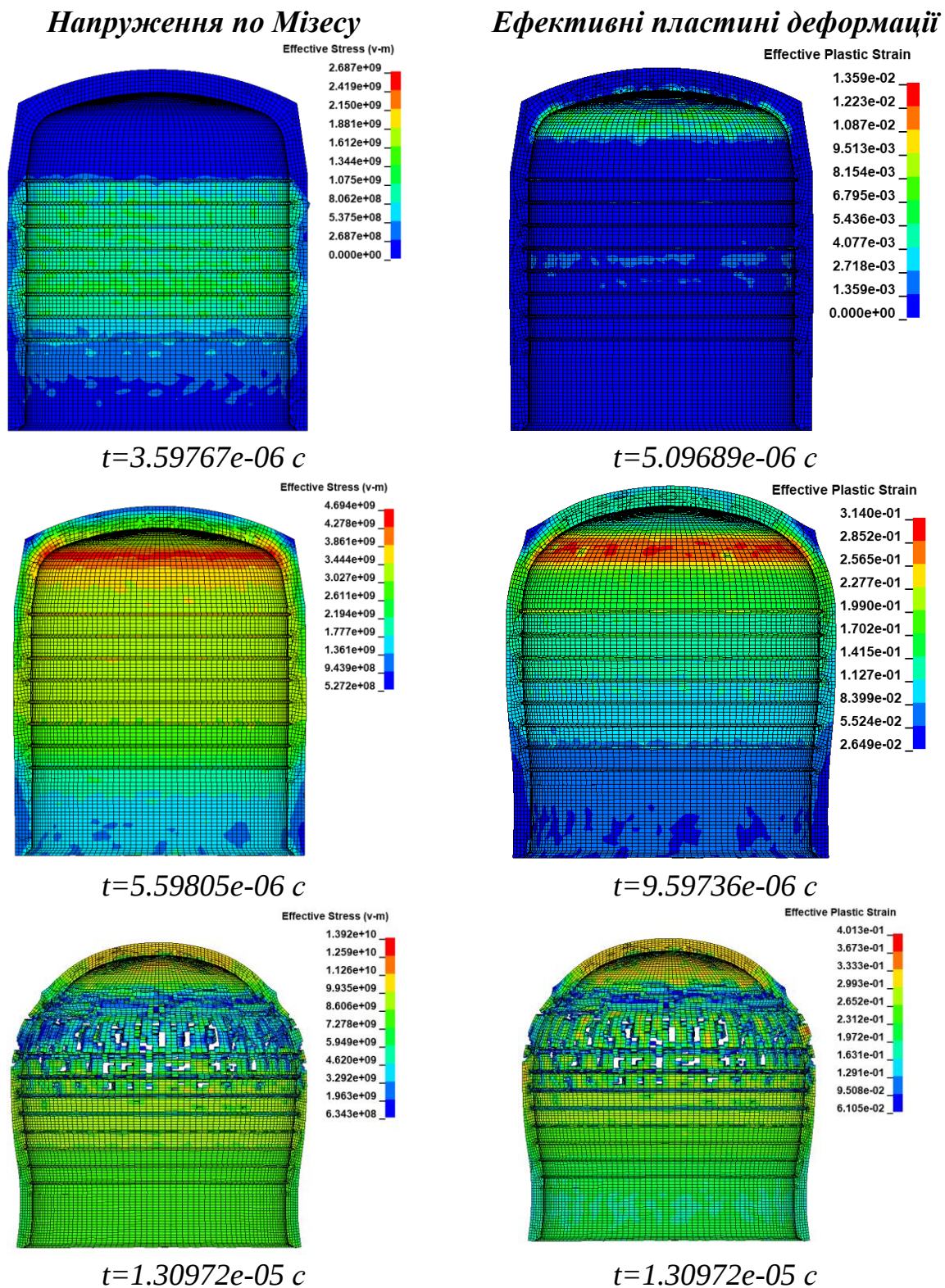


Рисунок 4.14 – Кадри зміни напружень корпусу **гранати з концентраторами (сталь 10)**

Сталь 10
Критерій руйнування 0,2



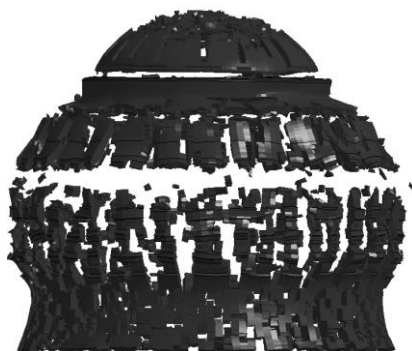
$t=1.10991e-005\ c$



$t=1.20987e-005\ c$

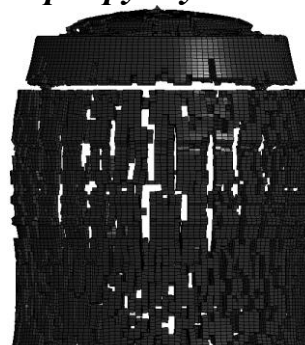


$t=1.30985e-005\ c$

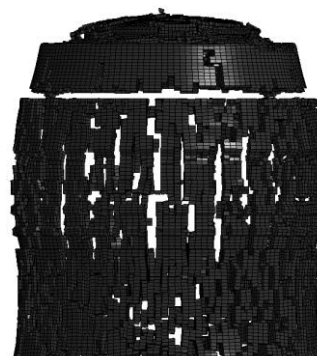


$t=1.7098e-005\ c$

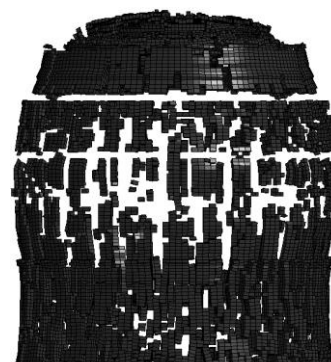
Сталь 10
Критерій руйнування 0,035



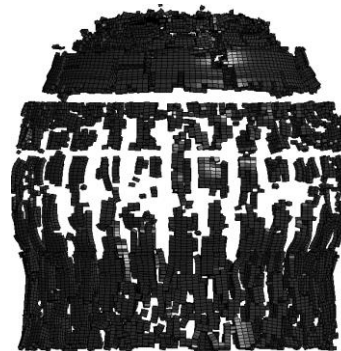
$t=1.11998e-005\ c$



$t=1.21968e-005\ c$

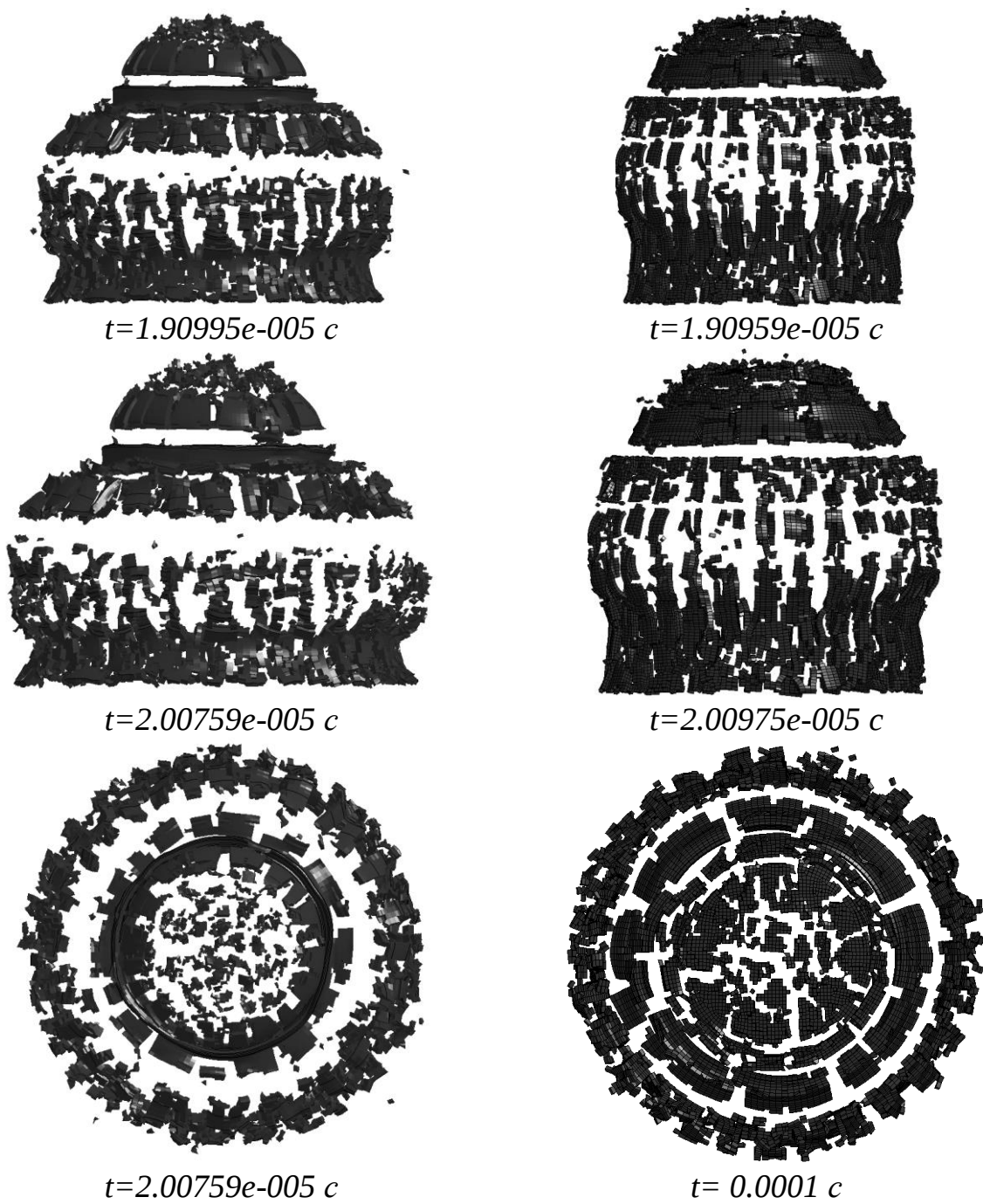


$t=1.31985e-005\ c$

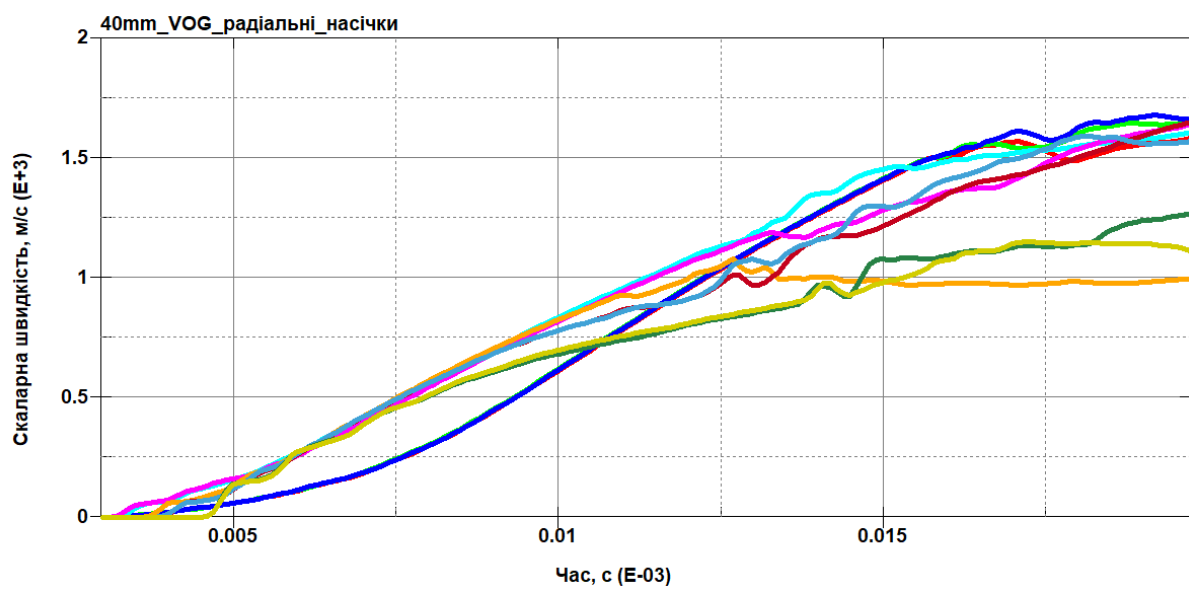


$t=1.70994e-005\ c$

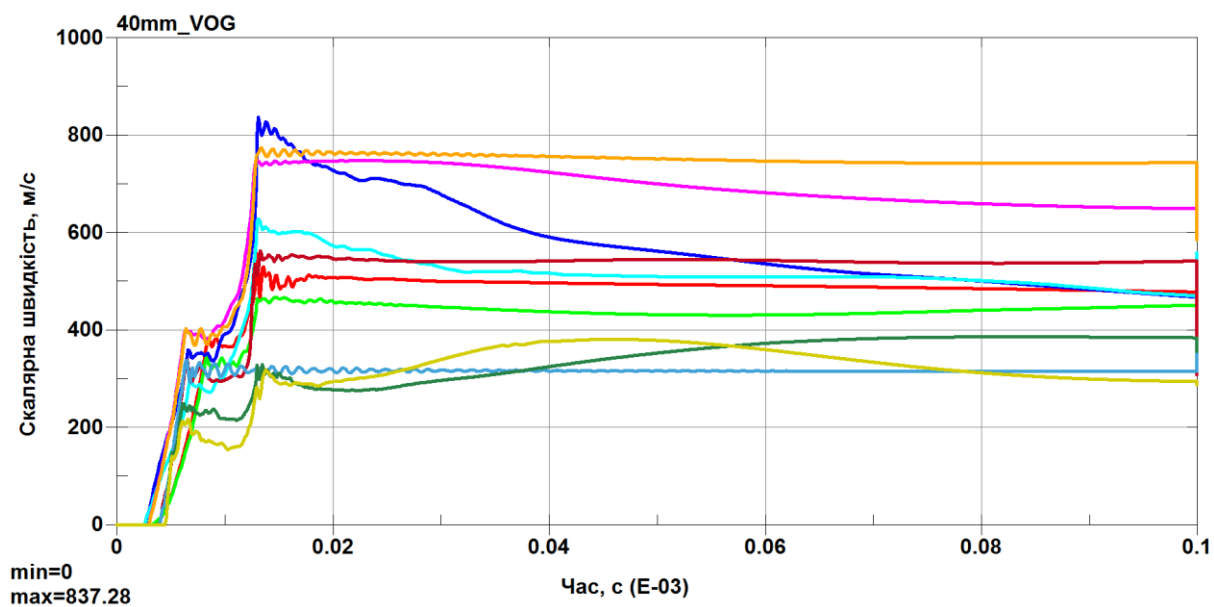
Рисунок 4.15 – Кадри дроблення корпусу штатної гранати, що виготовлений із різних марок сталі



Продовження рис. 4.15 – Кадри дроблення корпусу штатної гранати, що виготовлений із різних марок сталі



Сталь 10



Сталь 45

Рисунок 4.16 – Значення швидкості окремих осколків в різних частинах (поясах) корпусу гранати з концентраторами

4.3 Висновки до четвертого розділу

Розмірність сітки впливає на отриманні розрахункові значення початкової швидкості. Разом з тим, для двох варіантів типових розмірів скінченно-елементної моделі характер дроблення корпусу гранати є аналогічним для двох варіантів скінченно-елементної сітки. Зважаючи на значне зростання часу обчислення та об'єм отриманих розрахункових даних для подальшого моделювання обрано розмірність скінченно-елементної моделі 0,4-0,6 мм.

Важливим і не вирішеним питанням залишається критерій руйнування матеріалу, що є адекватним процесу, що досліджувався. Однак зважаючи на значну зміну (зменшенні) маси корпусу гранати при вибуховому навантаженні (до 40%) можна сказати, що обраний критерій руйнування не є досить коректним. Судячи з отриманих значень початкової швидкості осколків із використанням аналітичних моделей та їх порівняння із чисельним результатом можна сказати, що обраний критерій руйнування є прийнятним для оцінки початкової швидкості осколків. Але дуже грубо дозволяє оцінити кількість осколків їх масу та форму. Просторовий розподіл осколків є швидше орієнтовним.

Доцільно провести серію тестових чисельних моделювань дроблення корпусу, на примітивних геометричних формах (циліндр), рішення для яких має декілька аналітичних розв'язків та гарну достатню базу (доречно розпочати із двомірних вісесиметричних завдань). На першому етапі необхідно визначитись із розмірністю скінченно елементної моделі, що дозволяє отримувати результат із прийнятною похибкою, обрати критерій руйнування а далі переходити до оцінки окремих геометричних параметрів на параметри осколковості корпусу гранати.

РОЗДІЛ 5

КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

5.1 Штампове оснащення для гарячого профілювання

Розрахуємо опорну поверхню пуансона на зминання [6]:

$$\sigma_{зм} = \frac{P}{F_k} \leq [\sigma]_{зм}, \quad (5.1)$$

де F_k – площа контакту опорної поверхні пуансона; $F_k = 8497,87 \text{ мм}^2$;

P – зусилля, яке прикладене до пуансона, Н; $P = 2\,780\,000 \text{ Н}$;

$\sigma_{зм}$ – допустимі напруження на зминання сталюї плити; $\sigma_{зм} = 100 \text{ МПа}$.

$$\sigma_{зм} = \frac{P}{F_k} = \frac{2\,780\,000}{8497,87} = 327 \text{ МПа} > [\sigma]_{зм}$$

Оскільки умова не виконується і напруження досить високі, то для уникнення зминання верхнюї плити використовуємо сталюну підкладну плиту товщиною 20 мм.

Розрахуємо пуансон для карбування на стиск [6]:

$$\sigma_{ст} = \frac{P}{F} \leq [\sigma]_{ст}, \quad (5.2)$$

де P – зусилля, яке прикладене до пуансона, Н; $P = 2\,780\,000 \text{ Н}$;

F – площа найменшого перерізу пуансона, мм^2 ; $F = 7542,96 \text{ мм}^2$

$[\sigma]_{ст}$ – допустимі напруження на стиск, МПа; для сталі 5ХГС:
 $[\sigma]_{ст} = 1600 \text{ МПа}$.

$$\sigma_{ст} = \frac{2\,780\,000}{7542,96} = 369 \text{ МПа} \leq [\sigma]_{ст} = 1600 \text{ МПа}$$

Умова виконується.

Загальний вигляд штампу для гарячого профілювання зображено на рис. 5.1.

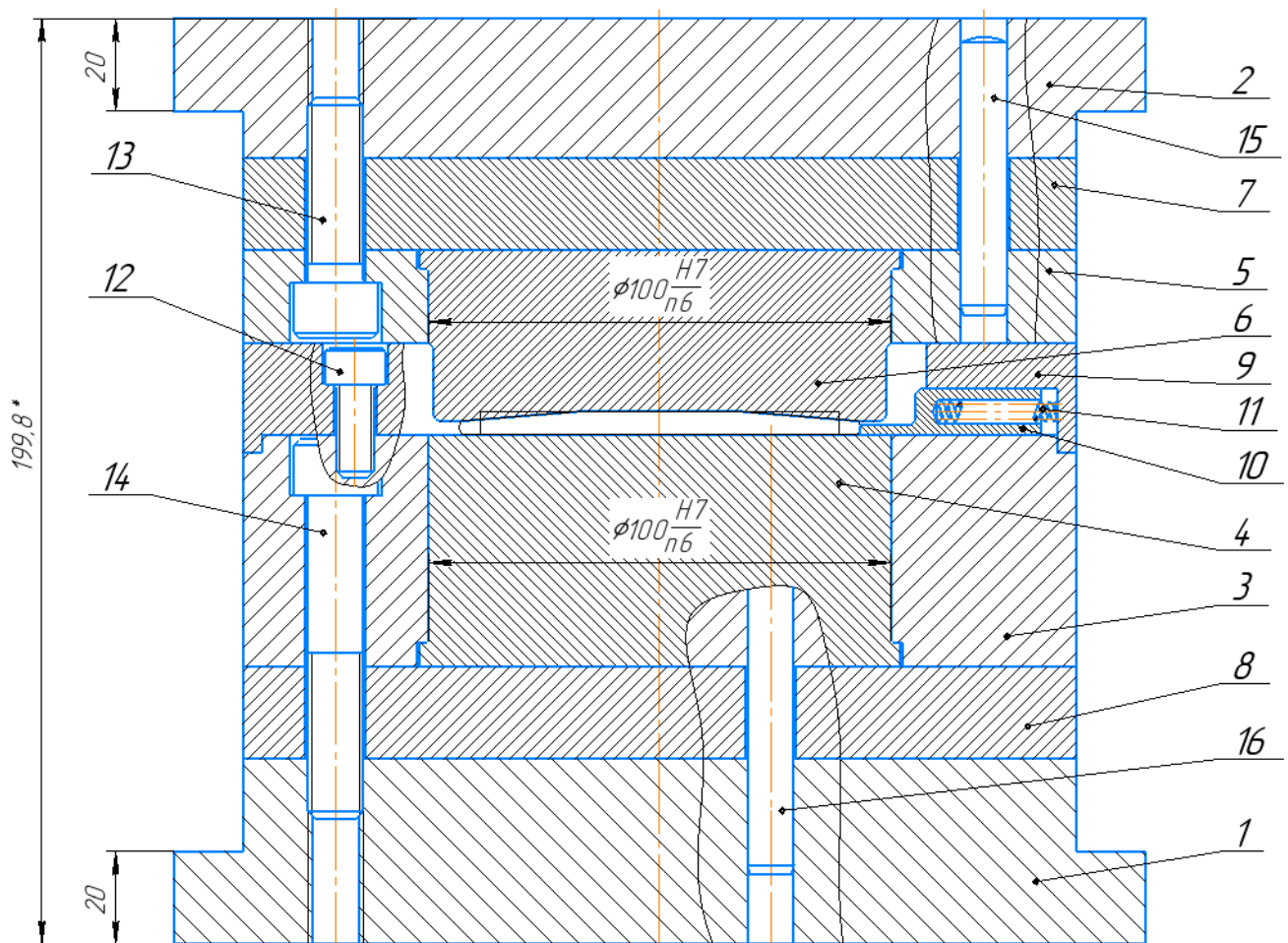


Рисунок 5.1 – Загальний вигляд штампу для гарячого профілювання

Конструкція штампу для гарячого профілювання:

Матриця (4) встановлена в матрицетримачі (3), які в свою чергу встановлені на нижній підкладній плиті (8). Нижня підкладна плита (8) встановлена на нижній плиті (1) і вони разом з матрицетримачем (3) з'єднані між собою гвинтами (14) та зцентровані штифтами (16). На матрицетримачі (3) встановлене кільце (9), яке закріплене гвинтами (12), разом з centruючими вставками (10) та пружиною (11). Пуансон (6) встановлено в пуансонотримач (5), який в свою чергу разом з верхньою підкладною плитою (7) та верхньою плитою (2) закріплені гвинтами (13) та зцентровані штифтами (15).

Робота штампу для гарячого профілювання:

Заготовку нагрівають до температури 800°C та встановлюють на матрицю (4), де вона центрується за допомогою чотирьох центруючих вставок (10), які підпружинені пружинами (11). При ході пуансона (6) вниз виконується гаряче профілювання заготовки. Хід пуансона для уникнення передавлення заготовки обмежується кільцем (9) з забезпеченням необхідних отриманих розмірів заготовки. Після руху пуансону вгору заготовка видаляється з робочої зони і процес повторюється.

Матеріали деталей штампу наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Матеріали деталей штампу для гарячого профілювання

Деталь	Матеріал	Термообробка	Твердість, HRC
Матриця	5ХГС	Загартування	40...45
Пуансон	5ХГС	Загартування	40...45
Плити підкладні	Сталь 45	Загартування	40...45
Плити блоку	Сталь 45	-	-
Пуансонотримач	Сталь 45	Загартування	-
Матрицетримач	Сталь 45	Загартування	-
Кільце	Сталь 40Х	Загартування	40...45
Вставка центруюча	У10А	Загартування	55...59

5.2 Штампове оснащення для карбування

Розрахуємо опорну поверхню пуансона на зминання за формулою 5.1:

$$F_k = 8497,87 \text{ мм}^2; P = 3\,410\,000 \text{ Н}; \sigma_{зм} = 100 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{зм} = \frac{P}{F_k} = \frac{3\,410\,000}{8497,87} = 401 \text{ МПа} > [\sigma]_{зм}$$

Оскільки умова не виконується і напруження досить високі, то для уникнення зминання верхньої плити використовуємо сталю підкладну плиту товщиною 20 мм.

Розрахуємо пуансон для карбування на стиск за формулою 5.2:

$$P = 3\,410\,000 \text{ Н}; F = 7542,96 \text{ мм}^2; [\sigma]_{cm} = 1600 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{cm} = \frac{3\,410\,000}{7542,96} = 452 \text{ МПа} \leq [\sigma]_{cm} = 1600 \text{ МПа}$$

Умова виконується.

Загальний вигляд штамп для карбування зображено на рис. 5.2.

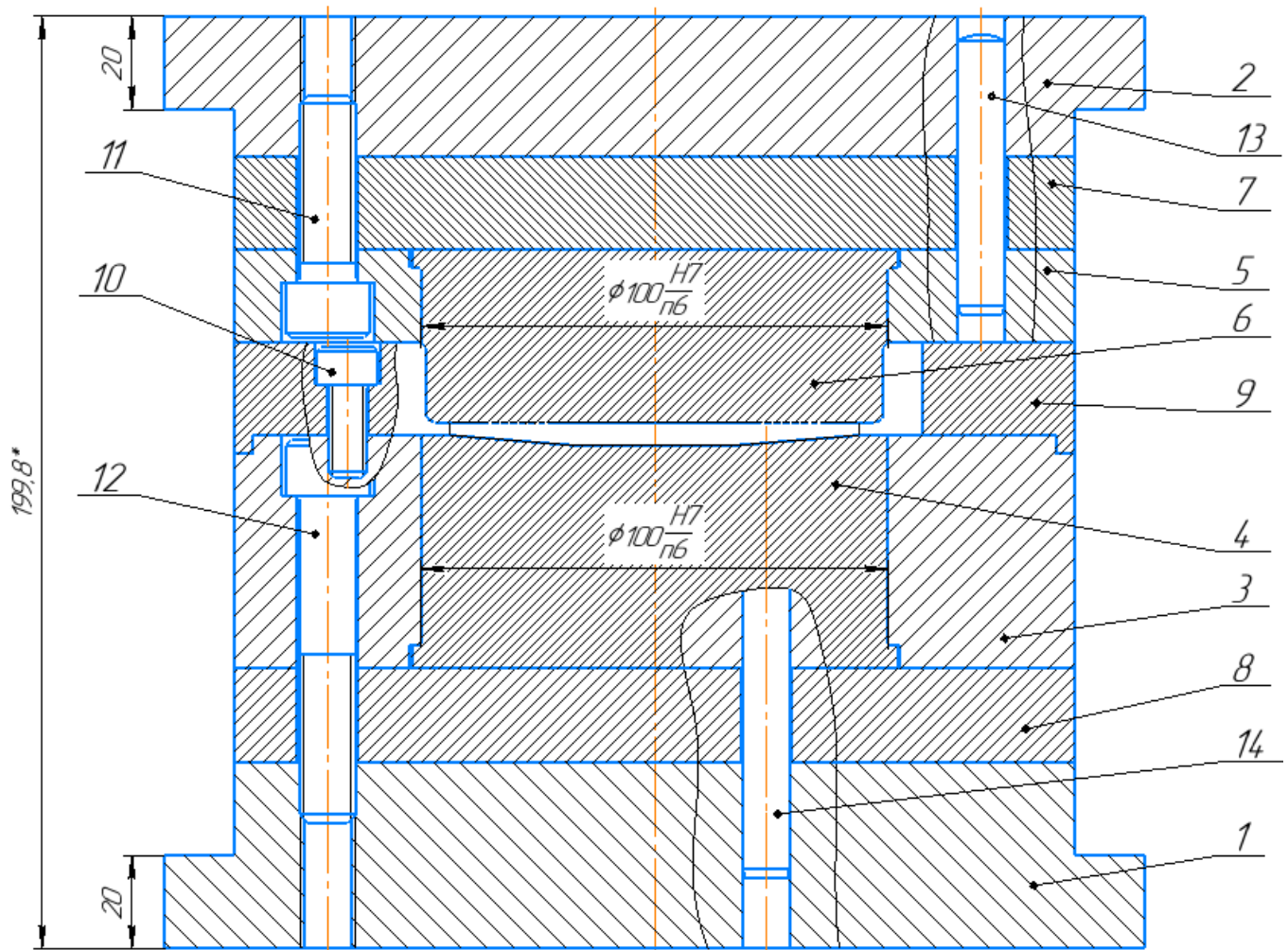


Рисунок 5.2 – Загальний вигляд штамп для карбування

Конструкція штампу для карбування:

Матриця (4) встановлена в матрицетримачі (3), які в свою чергу встановлені на нижній підкладній плиті (8). Нижня підкладна плита (8) встановлена на нижній плиті (1) і вони разом з матрицетримачем (3) з'єднані між собою гвинтами (12) та зцентровані штифтами (14). На матрицетримачі (3) встановлене кільце (9), яке закріплене гвинтами (10). Пуансон (6) встановлено в пуансонотримач (5), який в свою чергу разом з верхньою підкладною плитою (7) та верхньою плитою (2) закріплені гвинтами (11) та зцентровані штифтами (13).

Робота штампу для карбування:

Заготовку встановлюють на матрицю (4), де вона самоцентрується. При ході пуансона (6) вниз виконується карбування заготовки. Хід пуансона для уникнення передавлення заготовки обмежується кільцем (9) з забезпеченням необхідних отриманих розмірів заготовки. Після руху пуансону вгору заготовка видаляється з робочої зони і процес повторюється.

Матеріали деталей штампу наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Матеріали деталей штампу для карбування

Деталь	Матеріал	Термообробка	Твердість, HRC
Матриця	ШХ15	Загартування	59...63
Пуансон	ШХ15	Загартування	59...63
Плити підкладні	Сталь 45	Загартування	40...45
Плити блоку	Сталь 45	-	-
Пуансонотримач	Сталь 45	Загартування	-
Матрицетримач	Сталь 45	Загартування	-
Кільце	Сталь 40X	Загартування	40...45
Вставка центруюча	У10А	Загартування	55...59

5.3 Штампове оснащення для витягування

Приклад зображення двохконусної матриці зображено на рис. 5.3.

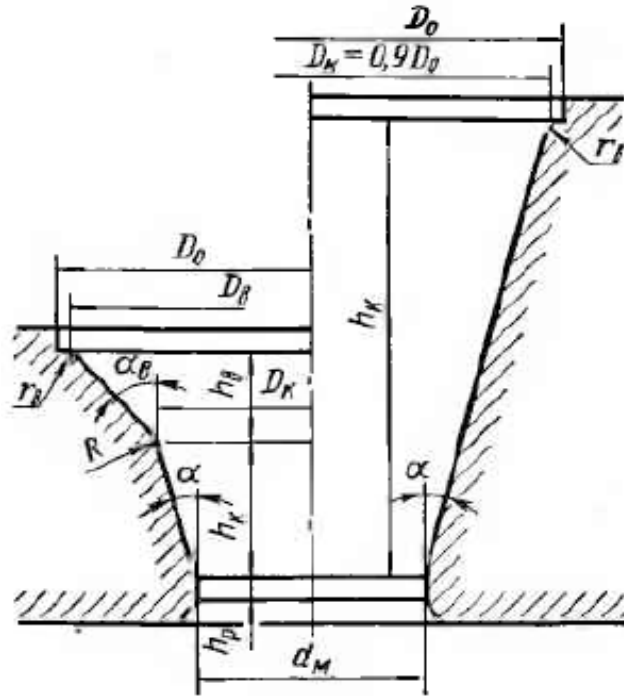


Рисунок 5.3 – Схема для розрахунку розмірів двохконусної матриці

Розрахуємо основні розміри двохконусної матриці. Відповідно до роботи [7] оптимальним кутом вхідного конусу матриці приймаємо $\alpha_B = 45^\circ$. Наступний кут матриці α рекомендується приймати $8 \div 18^\circ$. Приймаємо $\alpha = 12^\circ$.

Вхідний діаметр верхнього конуса D_B та його радіус r_B обчислюються за формулами 5.3 та 5.4 [18]:

$$D_B = 0,9 \cdot D_0, \quad (5.3)$$

де D_0 – діаметр заготовки, $D_0 = 88$ мм.

$$r_B = 0,05 \cdot D_0, \quad (5.4)$$

$$D_B = 0,9 \cdot 88 = 77,2 \text{ мм}$$

$$r_B = 0,05 \cdot 88 = 4,4 \text{ мм}$$

Приймаємо $D_B = 76$ мм та $r_B = 5$ мм.

Між двома конусами потрібно забезпечити плавний перехід по досить високому радіусу. Конструктивно приймаємо його $R = 30$ мм. Загальну висоту матриці приймаємо $H_M = 60$ мм.

Загальний вигляд штапу для витягування наведено на рис. 5.4.

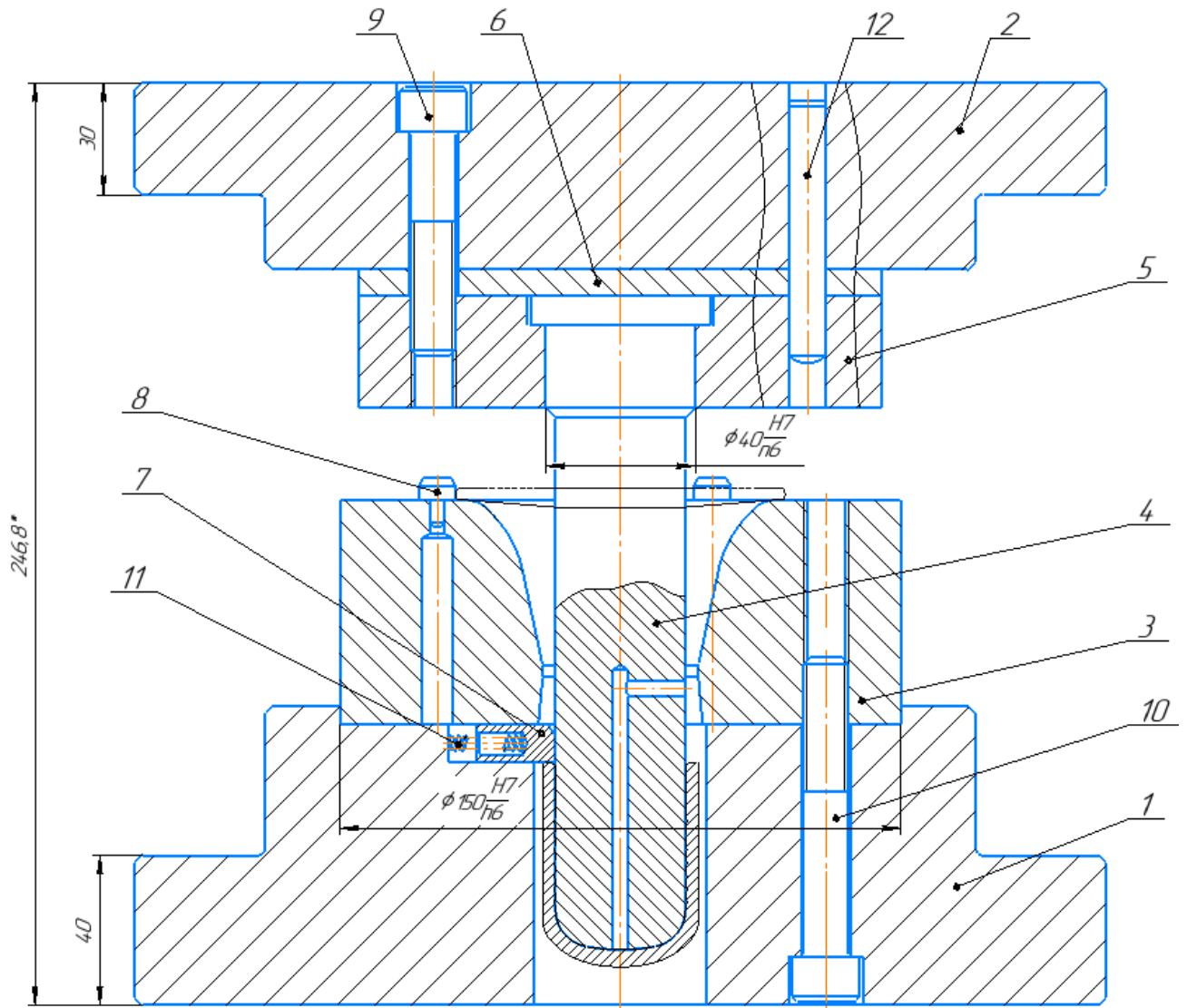


Рисунок 5.4 – Загальний вигляд штапу для витягування у
двохконусній матриці

Конструкція штапу для витягування:

Двохконусна матриця (3) разом з трьома фіксаторами (8), які призначені для центрування заготовки, встановлена на нижній плиті (1) і закріплена

гвинтами (10). Також на нижній плиті (1) встановлені три підпружинених виштовхувача (7) з пружинами (11). Пуансон (4) встановлено в пуансонотримач (5), який в свою чергу разом з підкладною плитою (6) та верхньою плитою (2) закріплені гвинтами (9) та зцентровані штифтами (12).

Робота штампу для витягування:

Заготовка встановлюється на двохконусну матрицю (3) і центрується трьома фіксаторами (8). При ході пуансона (4) вниз виконується витягування заготовки. Під час виконання витягування заготовка проходить через підпружинений виштовхувач (7), який в свою чергу після виконання витягування починає впирається в пуансон (4). Після руху пуансону вгору заготовка впирається в виштовхувач (7) і знімається з пуансона (4), а потім процес повторюється.

Матеріали деталей штампу наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Матеріали деталей штампу для витягування

Деталь	Матеріал	Термообробка	Твердість, HRC
Матриця	У10А	Загартування	57...61
Пуансон	У10А	Загартування	55...59
Плита підкладна	Сталь 45	Загартування	40...45
Плити блоку	Ст3	-	-
Пуансонотримач	Сталь 45	Загартування	-
Фіксатор	У8А	Загартування	40...45
Виштовхувач	У10А	Загартування	55...59

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

В даній роботі було розроблено конструкцію та технологію виготовлення корпусу осколкової гранати до пострілу калібром 40мм. Для досягнення поставленої цілі було виконано наступне:

1. Проведено аналіз існуючих конструкцій боеприпасів калібром 40x53 для автоматичних гранатометів стандарту НАТО та запропоновано конструкцію корпусу, яка має необхідну вражаючу силу при детонації. Розглянуто існуючі способи, які дозволяють виготовляти деталі або напівфабрикати методами обробки матеріалів тиском та методи їх розрахунків використовуючи сучасне програмне забезпечення. Ґрунтуючись на отриманих результатах було зроблено висновок щодо доцільності використання методів штампування для отримання напівфабрикатів.

2. Був проведений теоретичний аналіз методів отримання деталі, аналіз її технологічності та вибір технології для виготовлення корпусу. Для вибраної конструкції корпусу було обрано виготовлення за допомогою таких операцій: гаряче профілювання листової заготовки, карбування концентраторів та витягування у двохконусну матрицю.

3. Використовуючи метод скінчених елементів за допомогою програмного комплексу DEFORM проведено розрахунок з пружно-пластичною постановкою матеріалу, що дозволило встановити напружено-деформований стан zdeформованих напівфабрикатів за запропонованими схемами деформування, їх енергосилові параметри процесів, такі як залежність зусилля від переміщення деформуючого інструменту та питомі навантаження на деформуючому інструменті. Отримані показники дають можливість розрахувати деформуючий інструмент та підібрати пресове обладнання.

4. Було проведено моделювання дроблення двох варіантів корпусу, які виготовлені з двох різних сталей (Сталь 10 та Сталь 45) та різною розмірністю сітки.

5. Розроблено конструкції штампів для гарячого профілювання, карбування та витягування заготовки, крім того проведено всі необхідні конструкторські розрахунки важливих елементів штампів.

За результатами проведеної роботи під серійне виробництво було розроблено технологію та штампове оснащення для виготовлення напівфабрикату корпусу гранати до пострілу калібром 40мм стандарту НАТО.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Гранатомёт>
2. Зеленко В. К., Брызжев А. В., Злобин В. В., Королёв В. М. Выстрелы для автоматических гранатомётов // Пистолетные и снайперские патроны. Гранатомётные выстрелы. Учебное пособие. — Тула: Инфра, 2008. — 120 с.
3. https://ru.wikipedia.org/wiki/40_×_53_мм
4. http://btvt.narod.ru/4/rarn_airburst.htm
5. https://www.kuranty.pro/3D_PIM-tehnologiya/obzor/
6. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. — 6 - е изд., перераб. и доп. — Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд - ние, 1979 — 520 с., ил.
7. Калюжний В. Л. Визначення оптимального кута вхідного конуса двоконусної матриці для комбінованого витягування вісесиметричних порожнистих виробів / В. Л. Калюжний, А. С. Запорожченко // Збірник наукових праць Полтавського політехнічного університету ім. Ю. Кондратюка. Сер.: Галузеве машинобудування, будівництво. — 2013. — Вип 2. — с. 99 - 105.
8. Zecevic B. et al. Lethal influence factors of natural and preformed fragmentation projectiles //DAAAM International Scientific Book. — 2015. — С. 219-234.
9. Zecevic B. et al. Influencing parameters on HE projectiles with natural fragmentation //International Conference on New Trends in Research of Energetic Materials. — 2006. — С. 780-795.
10. Бісик С.П. Експериментальні дослідження основних показників ефективності гранат типу ВОГ-25 / С.П. Бісик, М.І. Васьківський, С.В. Журавський та ін.// ЦНДІ ОБТ ЗС України. Вип. 3 (74) 87-98с.
11. <https://mil.in.ua/uk/news/vyrobnytstvo-boyeprypasiv-impuls-zapustyv-novyj-tseh/>

12. Стеблюк В. І. Математичне моделювання процесу витягування виробів з профільної заготовки / В. І. Стеблюк, О. В. Калюжний // Вестн. двигателестроения. - 2005. - № 3. - С. 131-135. - Бібліогр.: 4 назв. - укр.

13. Орлюк М. В. Інтенсифікація витягування порожнистих тонкостінних виробів з використанням профільованих заготовок : Автореф. дис... канд. техн. наук / М. В. Орлюк; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т". - К., 2006. - 19 с. - укр.

14. Калюжний О. В. Удосконалення процесів витягування виробів зі змінною товщиною стінок і дна з профільних заготовок : Автореф. дис... канд. техн. наук / О. В. Калюжний; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т". - К., 2007. - 20 с. - укр.

15. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка/Под общ. Ред. Л.И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.: ил. – (Б - ка конструктора).

16. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. Третьяков А. В., Зюзин В. И. 2-е изд. М., «Металлургия», 1973, 224 с.

17. DEFORM Users Manual, 2000, Scientific Forming Technologies Corporation, Version 10

18. Валиев С. А. Комбинированная глубокая вытяжка листовых материалов. М., «Машиностроение», 1973, 176 с.

19. Ткачук Н.А. Компьютерный программно-аппаратный комплекс для анализа и синтеза моделей элементов объектов бронетанковой техники / Н.А. Ткачук, В.Ф. Климов, А.В. Хлань, А.И. Шейко, А.Н. Малакей, В.И. Кохановский, А.В. Грабовский, А.Ю. Танченко, А.Ю. Васильев, М.А. Бондаренко, А.А. Зарубина, А. В. Набоков // Вісник НТУ "Харківський Політехнічний Інститут": Серія: Машинознавство та САПР. Харків: НТУ "ХПІ", 2017 - №12 (1234). С. 96-109.

20. Бондаренко, М. О. Розрахунково-експериментальна верифікація динамічної моделі макета корпусу бронетранспортера / М.О. Бондаренко, Є.В. Пелешко, А.Ю. Васильєв, А.В. Грабовський, Р.В. Граборов, Ю.В. Веретельник, В.В. Посохов // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – №32 (1254). – С. 5-13. – doi:10.20998/2413-4295.2017.32.01

21. Бісик С. П. Числове вирішення задачі ударно-хвильового навантаження пластини / С.П. Бісик, В.А. Голуб, В.Г. Корбач // Військово-технічний збірник / Академія Сухопутних військ. №2(5). – Львів: АСВ, 2011. – С. 3-6.

22. Бісик С.П. Дослідження вибухового навантаження V-подібної моделі днища бойової машини/ С.П. Бісик, І.Б. Чепков, В.А. Голуб, О.Ю. Ларін // Зб. наук. праць ЦНДІ ОВТ ЗСУ. – Вип. 1 (22) – К.: ЦНДІ ОВТ, 2012. – С. 232-240.

23. Бісик С.П. Підхід до оцінки протимінної стійкості корпусів бойових броньованих машин з урахуванням зварних з'єднань // Наука і техніка Повітряних Сил ЗС України / ХНУПС ім. Кожедуба. Вип. 3(28). Х. : ХНУПС ім. Кожедуба, 2017. С. 121-127. - DOI: 10.30748/nitps.2017.28.15.

24. Бісик С. П. Дослідження навантаження вибухом макетів днищ бойових машин / С.П. Бісик, К.Б. Круковський-Сіневич, І.Б. Чепков, Л.О. Волгін, В.А. Голуб, О.Ю. Ларін // Механіка та машинобудування // Науково-технічний журнал. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012-№2. – С. 110-118.

25. Бісик С.П. Дослідження конструкції захисного протимінного екрана / Бісик С.П. // Військово-технічний збірник. – №12/2015. – Львів: АСВ, 2015. – С. 110-117.

26. Бісик С.П. Теоретична оцінка протимінної стійкості багатоцільового тактичного автомобіля «Козак-2»/ Бісик С.П., Чепков І.Б., Васьківський М.І., Давидовський Л.С., Корбач В.Г., Висоцький О.М., Захаревич Д.М. // Озброєння та військова техніка : щокв. наук.-техн. журн. / ЦНДІ ОВТ ЗСУ. 2016. №1 (9). С. 26-31.

27. Бісик С.П. Методика дослідження ефективності енергопоглинаючого елемента / С.П. Бісик, Л.С. Давидовський, В.Г. Корбач // Технологические системы – 2016. – №4(77). – С. 103-112.

28. Давидовський Л.С. Дослідження енергопоглинаючого елемента протимінного сидіння бойової броньованої машини / Давидовський Л.С., Бісик С.П., Корбач В.Г. // Озброєння та військова техніка : щокв. наук.-техн. журн. / ЦНДІ ОВТ ЗСУ. 2017. №1 (13). С. 24-33.

29 Бісик С.П. Аналіз пріоритетних напрямів вдосконалення протимінного захисту бойових броньованих машин // Зб. наук. праць ЦНДІ ОВТ ЗСУ. – Вип. 19(41). – К.: ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2011. – С. 77-81.

30. Бісик С. П. Оцінка впливу способу кріплення протимінного екрана на протимінну стійкість бойових броньованих машин / С.П. Бісик, І.Б. Чепков, В.А. Голуб, В.Г. Корбач // Системи озброєння і військова техніка. Щоквартальний науковий журнал. – Х.: ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2013-№1(33). – С. 8-12.

31. Бісик С.П. Оцінка протимінної стійкості легкої бойової колісної машини / С.П. Бісик, О.М. Купріненко, В.Г. Корбач // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Машинознавство та САПР. –Х.: НТУ «ХПІ». – 2015-№ 31 (1140). – С. 11-20.

32. Бісик С.П. Аналіз механогенезу травмування екіпажу бойових броньованих машин при підриві на мінно-вибухових пристроях / С.П. Бісик, Л.С. Давидовський // Військово-технічний збірник. – №13/2015. – Львів: НАСВ, 2015. – С. 34-40.

33. Бісик С.П. Дослідження поведінки та характеру руйнування зварних з'єднань зі сталі НВ 500Mod при навантаженні вибухом / С.П. Бісик, О.А. Сливінський, Л.С. Давидовський // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2018. – № 3(32). – С. 102-112. DOI: <https://doi.org/10.30748/nitps.2018.32.14>.

34. С.П. Бісик, І.Б. Чепков, М.І. Васьківський, В.Г. Корбач, О.А. Сливінський, Л.С. Давидовський, О.М. Арістархов. Порівняння методів моделювання дії вибуху на захисні конструкції // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Транспортне машинобудування. Харків: НТУ «ХПІ», 2018. № 29 (1305). С. 15-24. URI: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/39199>

35. Methods for modelling Air blast on structures in LS-DYNA. Comparison and analysys / S.P. Bisyk, I.B. Chepkov, M.I. Vaskivskyu, L.S. Davydovskyi, O.A. Slyvinskyu, O.M. Aristarkhov // Weapons and Military Equipment: Scientific Journal. – 2019. – № 1(21)/2019. – С. 22-31. DOI: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.1\(21\).22-31](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.1(21).22-31)

36. Визначення ударної в'язкості сталі Weldom 460-E за допомогою чисельного моделювання / С.П. Бісик, А.В. Широков, О.А. Сливінський, О.М. Арістархов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Машинознавство та САПР. Харків: НТУ «ХПІ», 2019. № 7 (1332) 2019. С. 13-17. DOI: [10.20998/2079-0775.2019.7.03](https://doi.org/10.20998/2079-0775.2019.7.03)

37. Davydovs'kyi, L.S., Bisyk, S.P., Chepkov, I.B. et al. Alternatives of Energy Absorption Element Design Parameters for an Armored Combat Vehicle Seat Under Explosive Loading. Strength Materials (2019), №6. <https://doi.org/10.1007/s11223-020-00140-7>

38. Bisyk S., Davydovskyi L., Hutov I., Slyvinskyi O., Aristarkhov O., Lilov I. Comparison of Numerical Methods for Modeling the Effect of Explosion on Protective Structures. Trans & Motauto World. 2019. Vol. IV, No.1/2019 P. 20-23

39. Bisyk, S.P., Korbach, V.G., Davydovskyi, L.S. et al. Assessment of the Armor Plate Response to the Blast Action of Differently-Shaped Charges in Air and in a Metallic Container. Strength Mater 52, 900–907 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11223-021-00243-9>.

40. Бісик С. П., Корбач В.Г., Давидовський Л.С., Нагорський О.Г., Арістархов О. М., Котляренко А.А. Оцінка реакції броньової пластини до дії вибуху зарядів різної форми та при розміщенні їх у металевому контейнері.

Проблеми міцності. Київ, 2020. № 6. С. 91–99. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11223-020-00140-7>.

41. Бісик С.П., Чернозубенко О.В., Схабицький В.Р., Сливінський О.А., Ханюков В.А. Числове моделювання пробиття гомогенної перешкоди ударниками з різною формою головної частини // Озброєння та військова техніка. – 2017. №2 (14). – С. 17-22.

42. Бісик С.П., Чернозубенко О.В., Сливінський О.А., Схабицький В.Р., Корбач В.Г. Порівняння ефективності підходів до числового моделювання пробиття ударником гомогенної перешкоди // Озброєння та військова техніка. – 2017. – №3 (15). – С. 8-15.

43. Škrlec A. Estimating the Strain-Rate-Dependent Parameters of the Cowper-Symonds and Johnson-Cook Material Models using Taguchi Arrays // Journal of Mechanical Engineering. – 2016. – 62 (4). – P. 220-230.

44. Бурко В. А. Основные способы получения профилированных заготовок в ресурсосберегающих технологиях объемной штамповки // ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет». 2012. №24.

45. Є. В. Щіпковський, В. В. Драгобецький, Р. Г. Пузир, Р. В. Левченко Зміна конструкції обладнання і оснащення для попереднього профілювання і штампування заготовок дисків колес транспортних засобів // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії, № 41(1317), 2018.

46. О. В. Калюжний, А. С. Пахолко Силіві режими та формозміна металу при відбортунні отворів у попередньо зпрофільованій заготовці в матриці з різним радіусом заокруглення // Вісник НТУ «ХПІ». 2014. № 43 (1086)