

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Кваліфікаційна робота / проект

Другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему **Отримання двошарових композиційних матеріалів на основі системи титан-алюміній**

Виконав: студент II курсу, групи 8.1361-омт

Жолобка Б.О.

(Прізвище та ініціали)

(підпис)

спеціальності (напряму підготовки)

136 Металургія

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

Обробка металів тиском

(шифр і назва)

Керівник

Доц.каф МТЕТБ. Доц. к.т.н

А.В. Явтушенко

Рецензент

Доц.каф МТЕТБ. Доц. к.т.н

Кругляк Д.О.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім Ю.М.
ПОТЕБНІ

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти другий магістерський рівень

(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 136 Металургія

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма обробка металів тиском

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри **МТЕТБ**

Ю.О. Бєлоконь

“ ___ ” _____ 2022 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Жолобка Богдан Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) *Отримання двошарових композиційних матеріалів на основі системи титан-алюміній*

керівник проекту (роботи) *Явтушенко Анна Володимірівна* *к.т.н, доцент*

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “02” 06 2022 року №597-с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) *13.12.2022*

3. Вихідні дані до проекту (роботи) *принципи виконання моделювання у системах САПР, технологія аналізу високошвидкісних ударних навантажень*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Реферат. Вступ. Аналіз наукової інформації і стан проблеми, Обґрунтування задачі і методика дослідження, Охорона праці та техногенна безпека, Висновки. Перелік літературних посилань.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Моделі конфігурацій композитних матеріалів, модель кулі, графічні зображення процесу влучання кулі у композит, графічний матеріал на 12 слайдах.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<i>Аналіз наукової інформації і стан проблеми</i>	<i>Явтушенко А.В., доцент</i>	
<i>Обґрунтування задачі і методика дослідження</i>	<i>Явтушенко А.В., доцент</i>	
<i>Обробка і обговорення результатів</i>	<i>Явтушенко А.В., доцент</i>	
<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	<i>Явтушенко А.В., доцент</i>	
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Белоконь Ю.О., завідувач кафедри</i>	

7. Дата видачі завдання 16.12.2021

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>08-15.04.2021</i>	
2	<i>Реферат</i>	<i>27-29.04.2021</i>	
3	<i>Аналіз наукової інформації</i>	<i>16-26.04.2021</i>	
4	<i>Обґрунтування задачі і методика дослідження</i>	<i>1-17.05.2021</i>	
4	<i>Обробка і обговорення результатів</i>	<i>20-31.05.2021</i>	
5	<i>Охорона праці та техногенна безпека</i>	<i>27-31.05.2021</i>	
6	<i>Висновки</i>	<i>04.06.2020</i>	

Студент _____ Б.О. Жолобка
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ Явтушенко А.В.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи містить: 85 с., 24 рис., 13 табл., 1 додаток використано; літературних джерела 33;

Об'єкт дослідження - Процес влучання кулі у титан-алюмінієвий КОМПОЗИТ.

Метою роботи є програмне тестування композитного матеріалу на основі системи Ti/Al з метою визначення його балістичної стійкості.

В магістерській роботі поставлені й вирішені такі задачі:

- Створення експериментальних конфігурацій композитного матеріалу;
- Дослідження впливу принципу організації композиту на його фізико-механічні властивості;
- Створення моделі-двійника 4-х варіантів виконання титан-алюмінієвого композитного матеріалу;
- Аналіз літературних джерел і визначення вектору дослідження;

Практичне значення отриманих результатів.

Проведене дослідження призначене для доповнення існуючої дослідної бази у вивченні ефективності та доцільності використання багат шарових металічних композитних матеріалів в противагу з існуючими монометалічними сталевими та шаруватими металокерамічними бронеплитами.

КУЛЯ, СНАРЯД, КОМПОЗИТ, КОМПОЗИТНА БРОНЯ, АЛЮМІНІЙ, ТИТАН, МКЕ, АЛЕ, УДАРНЕ НАВАНТАЖЕННЯ, ЗІЗ.

ABSTRACT

The explanatory note of the master degree work contains: 83 pages, 24 figures, 13 tables, 1 addition; 33 literary sources were used.

Object of research is the process of hitting a bullet into a titanium-aluminum composite plate.

The purpose of the work is software testing of a composite material based on the Ti/Al system in order to determine its ballistic resistance.

The following tasks were completed in the work:

- Creation of experimental configurations of composite material;
- Study of the influence of the principle of composite organization on its physical and mechanical properties;
- Creation of a clone model of 4 versions of the titanium-aluminum composite material;
- Analysis of literary sources and definition of research vector;

Practical application of the obtained results:

The conducted research is intended to complement the existing research base in studying the effectiveness and feasibility of using multilayer metal composite materials in contrast to the existing monometallic steel and layered metal-ceramic armor plates.

BULLET, PROJECTILE, COMPOSITE, COMPOSITE ARMOR, ALUMINUM, TITANIUM, FEM, ALE, IMPACT LOAD, PPE.

ВСТУП	9
1. АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ І СТАН ПРОБЛЕМ	10
2. ОБГРУНТУВАННЯ ЗАДАЧІ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ	21
2.1 ТЕОРЕТИЧНА СКЛАДОВА	21
2.1.1. <i>Принцип роботи МКЕ</i>	21
2.1.2. <i>Метод SPH (Метод згладжених часток)</i>	23
2.1.3. <i>Модель міцності Джонсона-Кука (Johnson – Cook Strength model)</i>	25
2.2 ПАРАМЕТРИ ЕКСПЕРИМЕНТУ	26
2.2.1. <i>Характеристика використовуваних матеріалів</i>	28
2.2.2. <i>Налаштування процесу рішення задачі і аналізу</i>	31
3. ОБРОБКА І ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	33
3.1 АНАЛІЗ КМ СМ 88	34
3.2 АНАЛІЗ КМ СМ 5353	37
3.3 АНАЛІЗ КМ СМ 611	41
3.4 АНАЛІЗ КМ СМ 22	44
3.5 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ	47
4. ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	51
4.1 ІНСТРУКЦІЯ ІЗ ЗАХОДІВ БЕЗПЕКИ ПРИ ПОВОДЖЕННІ ЗІ ЗБРОЄЮ	51
<i>Загальні положення</i>	51
4.2 ІНСТРУКТАЖ З ПИТАНЬ ДОТРИМАННЯ ЗАХОДІВ БЕЗПЕКИ ПРИ ПОВОДЖЕННІ ЗІ ЗБРОЄЮ	54
4.3 ПОРЯДОК ДІЙ ТА ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПОВОДЖЕННІ З ВОГНЕПАЛЬНОЮ ЗБРОЄЮ І БОЄПРИПАСАМИ ПІД ЧАС ЇХ ОТРИМАННЯ ТА ЗДАЧІ ДО ЧЕРГОВОЇ СЛУЖБИ	56
4.4 ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПОВОДЖЕННІ З ВОГНЕПАЛЬНОЮ ЗБРОЄЮ ПІД ЧАС НЕСЕННЯ СЛУЖБИ	59

4.5	ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПОВОДЖЕННІ ЗІ ЗБРОЄЮ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ НАВЧАЛЬНО-ТРЕНУВАЛЬНИХ СТРІЛЬБ _____	61
4.6	ОРІЄНТОВАНИЙ ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ПЕРВИННОГО ІНСТРУКТАЖУ ____	63
4.7	АНАЛІЗ ПОТЕНЦІЙНИХ ТЕХНОГЕННИХ НЕБЕЗПЕК _____	64
4.8	ПРАВИЛА ТА ПРОТОКОЛИ ОБЛАДНАННЯ ЕРГОНОМІЧНОЇ ТА ЕФЕКТИВНОЇ РОБОЧОЇ ЕКОСИСТЕМИ _____	65
	<i>Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці</i> ____	68
4.9	ЗАХОДИ З ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ _____	74
	<i>Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях</i> _____	75
	ВИСНОВКИ _____	78
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ _____	80

ПЕРЕКЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

КМ – композитний матеріал;

БП – бронепластина;

ЗІЗ – засіб індивідуального засобу;

САПР – система автоматизованого проектування і розрахунку;

HESH – high-explosive squash head (броньбійно-фугасний снаряд);

SPH – smooth particle hydrodynamics (метод згладжених часток);

СКЕ – сітка кінцевих елементів;

МКЕ – метод кінцевих елементів;

БЕБ – бюро економічної безпеки;

ВСТУП

Актуальність теми.

Створення нових композитних матеріалів викликано постійно зростаючими технічними вимогами при проектуванні та виробництві новітнього устаткування, об'єктів аерокосмічної промисловості, гірничої промисловості, машинобудуванні, тощо. Механічні властивості деяких композитів можуть значно перевершувати їх аналоги по багатьом характеристикам, але абсолютну позицію композити поки що не можуть зайняти по причинам великої вартості прототипів, відносно малої ефективності при відносній складності виготовлення, слабкій дослідній базі для використання у потрібній області.

Використання комп'ютерного моделювання – вигідне рішення при дослідженні будь-яких експериментальних матеріалів, або виробів з них. Комп'ютерне моделювання дає можливість значно зекономити значні ресурси, що потрібні на виготовлення прототипів, забезпечення відповідних умов практичного експерименту, сертифікації обладнання, тощо. Однак стандарти до створення цифрових двійників не менш вимогливі. Для побудови та виконання коректних розрахунків від дослідника вимагається: вміння працювати з середовищем виконання розрахунків, розуміти фізичні принципи та процеси які протікають, вміти опрацювати отримані данні .

1. АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ І СТАН ПРОБЛЕМ

Загальним принципом виготовлення титанових композитних матеріалів є утворення КМ у вигляді шаруватого поєднання з іншими металами, армування волокнистими матеріалами, методом комбінування спрямованості шарів [1]. Прикладом використання одночасно шаруватого і армованого КМ є різноманітні бронеплити, що використовуються у якості засобів індивідуального захисту.

Відомо, що параметром керування властивостями композитного Al/Ti пакету є його нагрів після дифузійного зварювання до температури вище 550°C для утворення інтерметалідів на межі фаз [1,2]. Перераховані параметри можуть дозволити виготовлення захисного шару характеристик якого буде достатньо, для проведення балістичних тестів і визначення точних значень ударної в'язкості, твердості, опору втоми тощо. Використання викликаних інтерметалідних фаз у складі КМ, ціллю якого є його використання як ЗІЗ індивідуального складу, є недостатньо вивченою тематикою, і об'єм можливих наукових досліджень у напрямку є не вичерпаним. При існуючій науковій базі [1-4] є доцільним звернути увагу на можливість детальнішого вивчення механічних властивостей КМ, та виконання низки комп'ютерних моделювань при різних вихідних умовах, за для перевірки властивостей не тільки отриманих КМ, а й можливих виробів з них у різних стаціонарних умовах.

Спосіб організації КМ може бути не тільки у вигляді гомогенної багатокомпонентної системи, а й гетерогенного шаруватого пакету з відмінними фізико-механічними властивостями у різних шарах матеріалу [4,5]. Гарним прикладом роботи метало-керамічним КМ є широке використання алюмокераміки у багатьох фабричних бронепластинах для ЗІЗ

багатьма країнами світу. Приклад роботи метало-керамічного композиту на основі титану наведено на рисунку 1.1.

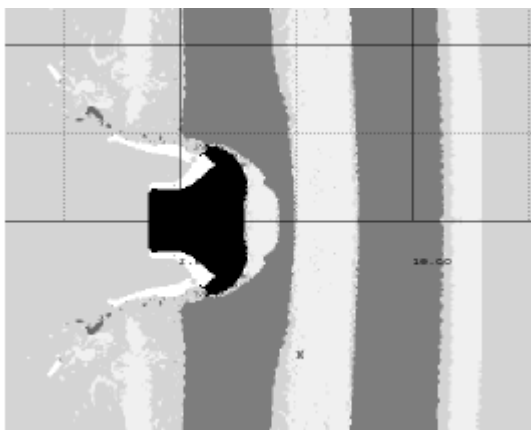


Рис.1.1 – модель з шаруватою металокерамічною структурою (зліва на право: $2x[\text{Al}_2\text{O}_3(2 \text{ мм})+\text{сплав В95}(6 \text{ мм})+ \text{Al}_2\text{O}_3(2 \text{ мм})]$),

Зазначається, що використання кераміки доцільно при товщині шару не менше 2 мм.

Цільовим призначенням використання кераміки у комбінованому ЗІЗ у якості фронтального покриття є прискорення руйнування кулі до проникнення в металічну частину бронепластины, що значно знижуватиме бронепробивну здатність за рахунок її значної деформації та руйнування, і як наслідок збільшенням опору деформації металічного шару бронезахисту.

Аналогічне дослідження було проведене у роботі [6]. У роботі наявне порівняння влучання кулі калібру 7.62x39 мм у композитну бронепластину, 4-х конфігурацій: шар SiC фіксованої товщини та пластину зі сталі 4340 товщиною 2,4,6 і 8 мм відповідно.

При фіксованому часі кінця розрахунку, однозначного пробиття зазнала лише конфігурація №1. При зазначенні описаних умов, тест має відповідність до 4-го класу захисту у конфігураціях 3 та 4, тому при збільшенні кінцевого

часу розрахунку результат повинен бути передбачувано позитивним у користь ефективності стійкості композиту.

У роботі використана методика будування СКЕ градієнтом збільшення розміру окремого елемента при віддаленні від обраної точки (геометричний центр композиту).

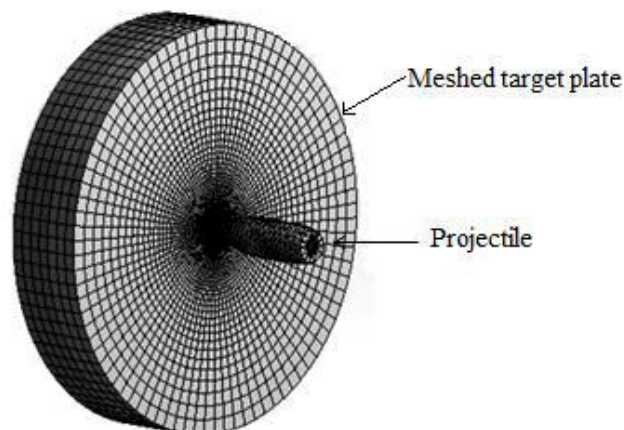


Рис.1.2. – Модель сітки кінцевих елементів у дослідженні [6]

У роботі [7] Досліджувалась ефективність армування титанового КМ за допомогою кевлару 29 у кількості 10 шарів, та загальною товщиною 2,4 мм. Моделювання мало гарну сумісність з проведеними балістичними тестами виготовленого випробуваного зразка (рис.1.3).

Створений код для рішення задачі також має можливість виконувати розрахунки й інших напруг, включаючи еквівалентну напругу Фон Мізеса та напругу зсуву. Для точності та коректного відображення балістичної поведінки системи, у роботі також були додані параметри загальної деформації за осями координат (Z) для усього КМ.

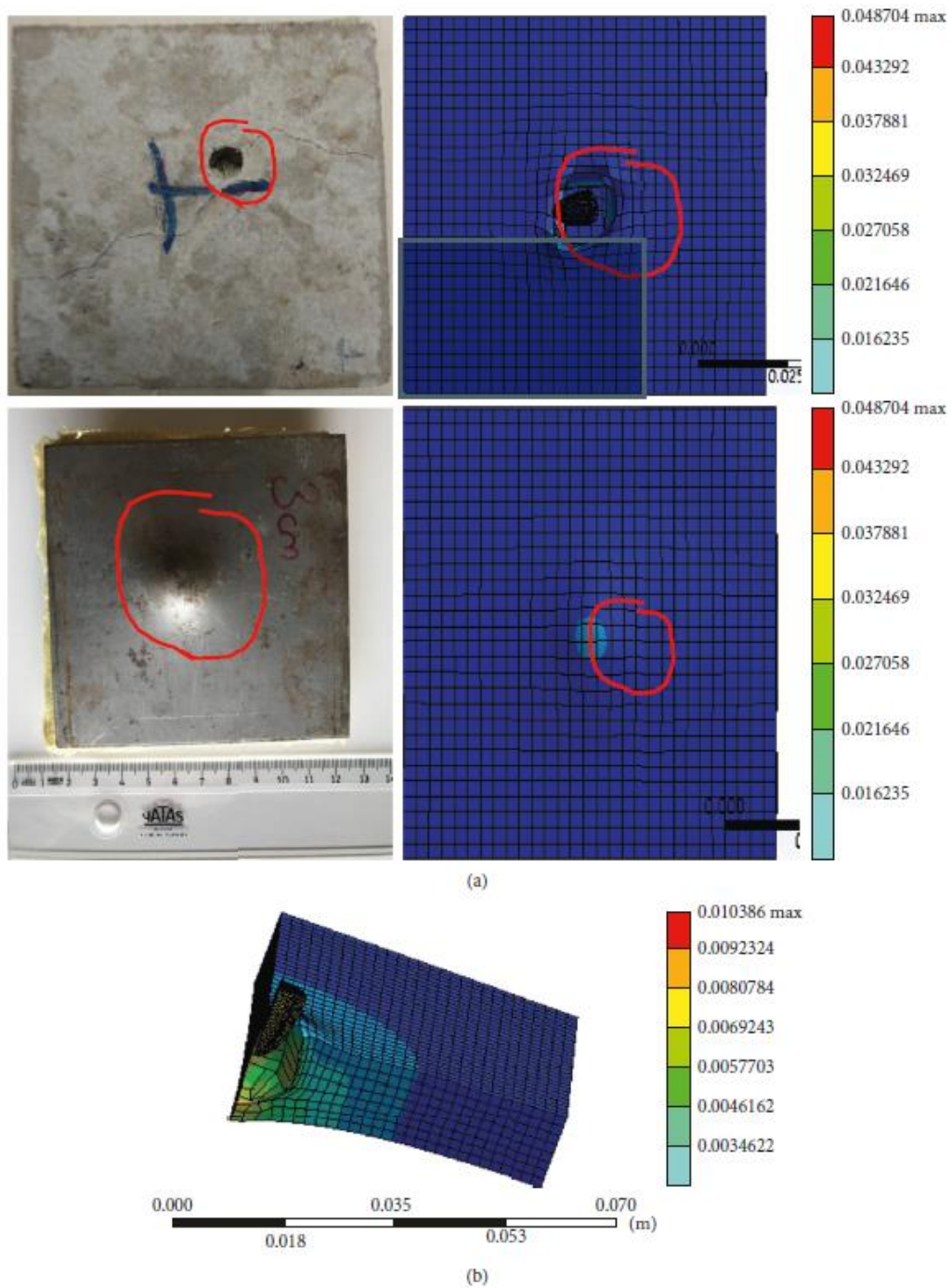


Рис.1.3 – (а) Фронтальна і задня сторона змодельованого, та випробуваного зразка 1. (б) Загальна деформація змодельованого зразка 1 (об'ємний перетин) [7].

Резина, або еластичний шар використовується при виготовленні бронипластин у якості зовнішнього, та внутрішнього покриття метою якою є недопускання ураження користувача ЗІЗ вторинними уламками кулі, та часткове поглинання кінетичної енергії кулі, що зменшує заброньове ураження в наслідок влучання.

У роботі [8] виконане моделювання різних комбінацій шарів сталі з високим та низьким значенням опору текучості, та резини як проміжного еластомеру (рис.1.4). Встановлено, що шар еластомеру товщиною 2 мм однаково ефективно сприяє значному підвищенню стійкості загальних пакетів з умовно твердої і м'якої сталі. Збільшення товщини резини до 4 та 6 мм зменшує цей показник.

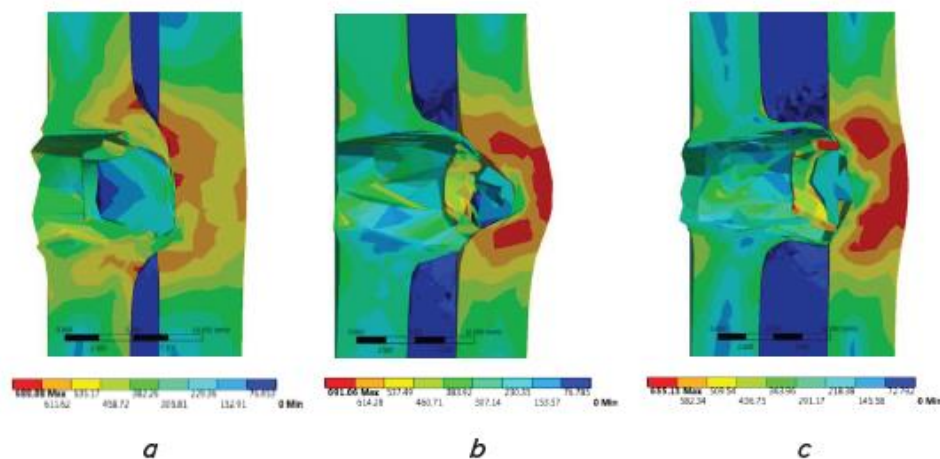


Рис.1.4 – відносна деформація шаруватої плити в наслідок симуляції $t=4.8001 \times 10^{-5}$: *a* – S2 конфігурація (бокові пластини з м'якої сталі товщиною 6 мм та шар резини 2мм); *b* – S4 конфігурація (аналогічний з S2 зі збільшеним шаром резини 4 мм); *c* – S6 конфігурація [8].

Використання різних типів еластомеру може змінити кінцевий результат, наприклад якщо використати армований еластомер – арамідне волокно у зв'язці з резиновим компаундом, така комбінація може підвищити міцність на розрив цього шару при збереженні необхідних еластичних і

поглинаючих якостей. Слід зазначити, що використовуване кріплення дійсно тільки у рамках проведення моделювання, тому актуальним завданням також є спосіб формування суцільного КМ з використанням внутрішнього шару еластомеру і забезпечення необхідної адгезії.

Аналіз наукової літератури показує доцільне використання математичного та програмного моделювання будь-яких з означених випробувань та експериментів.

У зазначених роботах показана висока точність моделювання, та його відповідність до експериментальних результатів (рис.1.5). У роботі [8] відносна відповідність між експериментальними і змодельованими даними складає 93% і 7% складає похибка, при тому що для в окремих постановках задачі формування більш детальної картини моделювання можливе з використанням лінійної моделі (для металічних), м'якої моделі (для кевлару), а також модель ударної адіабати (для компонентів з кераміки) [1,2,7,8].

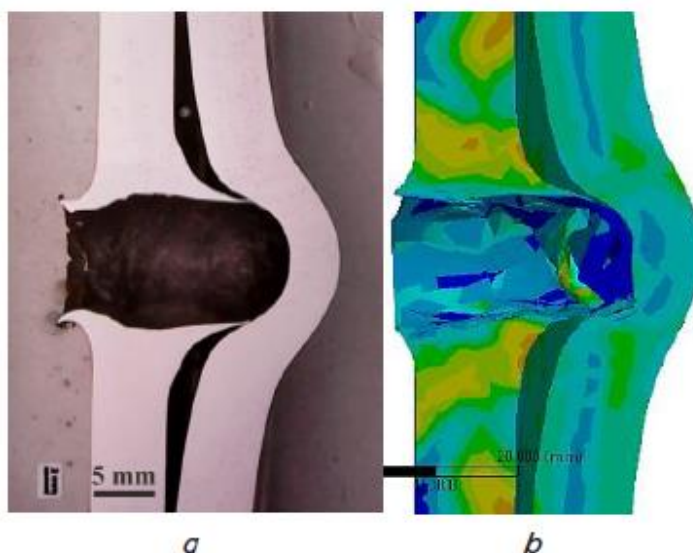


Рис.1.5 – результат балістичного експерименту: *a* – експеримент; *b* - симуляція [8]

У роботі [9] розглядається варіант використання гексагональної структури сот поміж фронтальної, та задньої плити для забезпечення додаткового поглинання енергії влучання снаряду, при значній економії у вазі. Було отримано, що найбільш ефективними є опція посилення гексагональної структури радіальної композицією, та варіант трикутної сітки (рис.1.6). У загальному вигляді даний варіант можливо розглядати у якості рознесеної броні, або у випадках, коли є можливість за рахунок збільшення загальних габаритів елемента зберегти потрібний рівень захисту при умові економії маси.

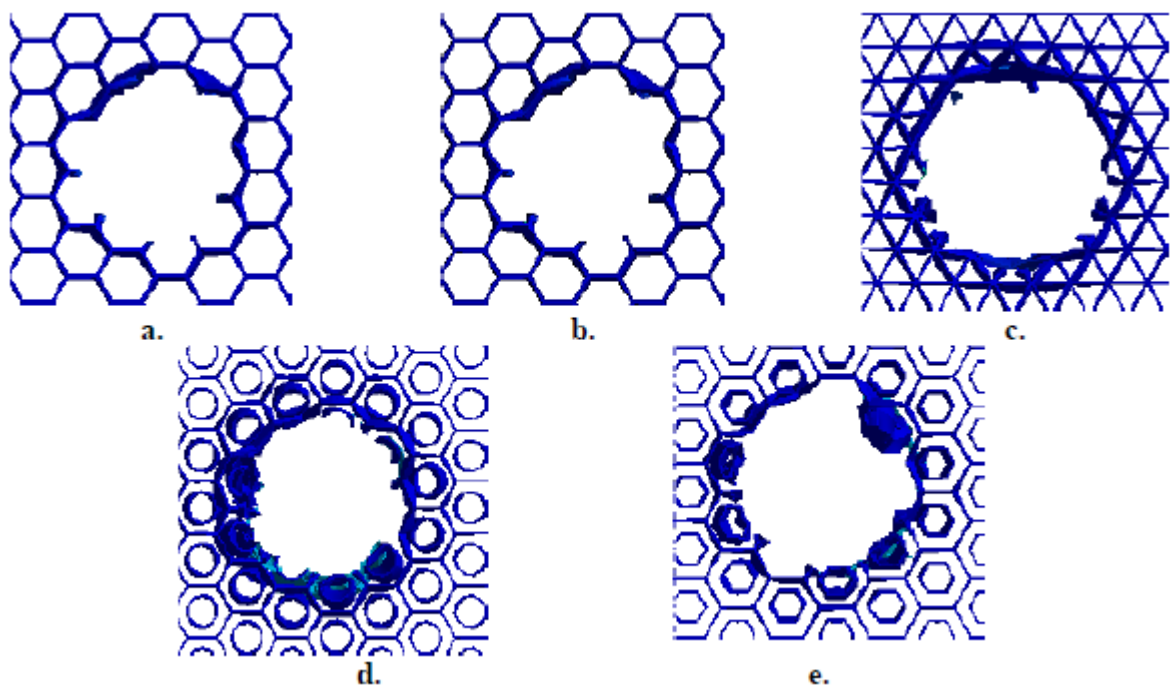


Рис.1.6 - Місце пошкодження структури після проникнення снаряда (вид спереду) а) Шестикутна стільникова – I , б) Шестикутна стільникова – II (посилена), в) Трикутна армування, г) Кругле армування, д) Шестигранне армування [9]

Комбінації різноманітних структур і посилень у КМ можуть по різному використовуватись для рішення відповідної задачі. Для задач балістичного захисту відомо, що двошарові та багатошарові БП мають нижчу ефективність,

ніж монометалічні БП аналогічної товщини [10]. Для сталі Weldox 700E монолітні плити показують кращий результат, ніж тришарові плити. Перевага наглядно демонструється при швидкості влучання снаряду 800 м/с. Для алюмінієвого сплаву 7075-T651 результат між монолітними та багатошаровими плитами не суттєвий при загальній товщині менше 20 мм. При загальній товщині плити >30 мм, результат стає значним.

Найкращий результат дала двошарова комбінація з сплавом Al 7075-T651 у фронтальній площі, та сплавом Weldox 700E у якості задньої плити. Результат показує потенційну перевагу двошарових плит у порівнянні з монолітною сталлюю (рис.1.7).

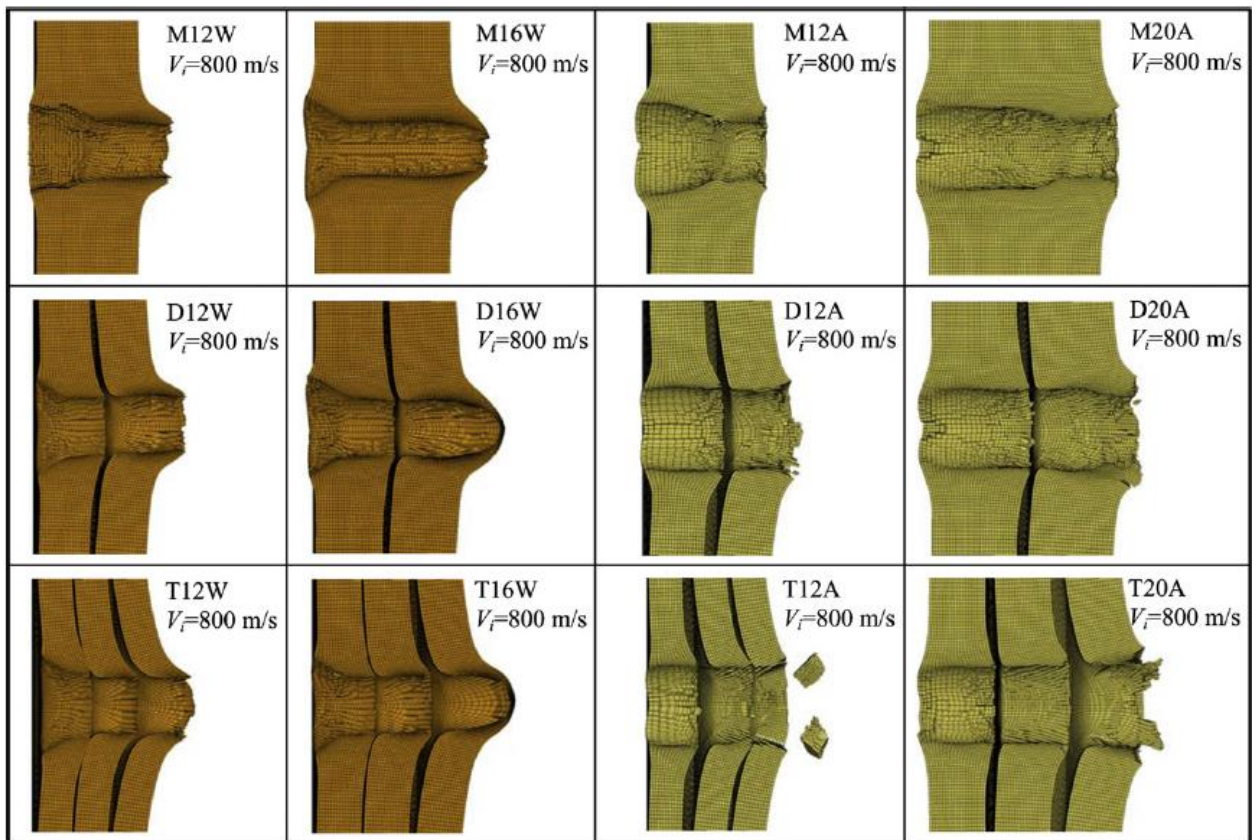


Рис.1.7 – результати моделювання бронепробиття комбінацій монолітних та багатошарових плит кулею 7.62 мм АРМ2 (броньбійна з сталеву сердцевину і свинцевим наповнювачем), де М, D, Т – відповідно монолітна, двошарова та тришарова пластина; число у шифрі – загальна товщина плити у мм (товщина одного шару дорівнює загальній товщині розділений на к-ть шарів); індекс W, A – відповідно сталь Weldox 700E та Al 7075-T651[10].

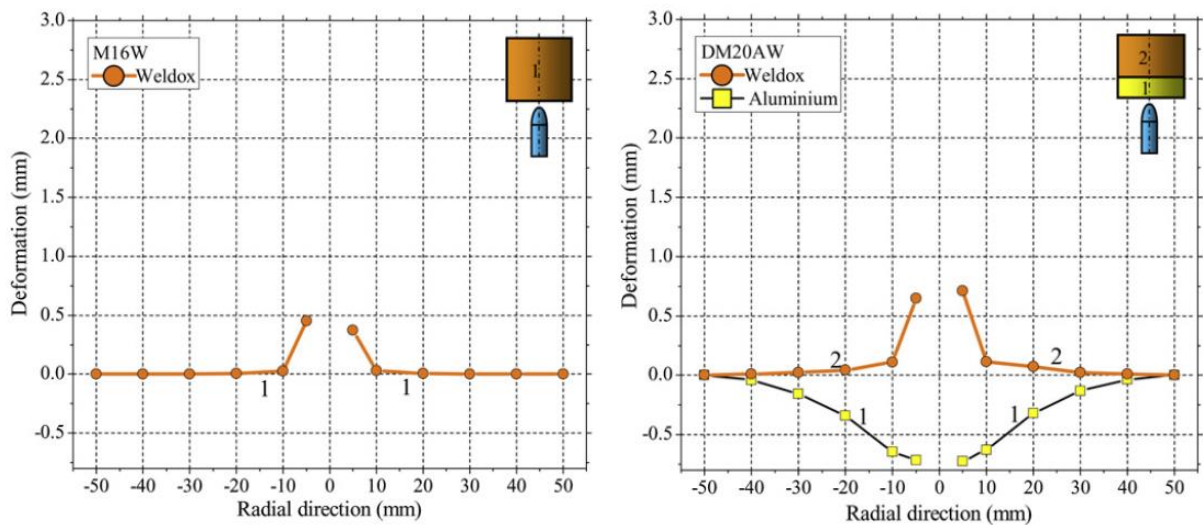


Рис.1.8 – графіки деформації у радіальному напрямі для монолітної плити Weldox 700E і двошарової плити Al 7075-T651 влучанням кулі 7.62 мм АРМ2 [10].

У загальному випадку помічено, що здебільшого багат шарові плити мають меншу ефективність ніж монолітні у зв'язку з меншою міцністю на вигин [10, 11]. Тому при створенні нового композиту слід урахувувати технологію фіксацію різних шарів бронезахисту один до одного, тому технологія описана у [1] може бути використана у якості основоположної для даної роботи.

При виконанні будь-яких моделювань та розробок метою яких є створення КМ придатного для виготовлення бронезахисту, слід орієнтуватися на стандарти для бронезахисту, аналоги яких є у всіх країнах світу. У Європі на країнах членах НАТО має чинність стандарт STANAG 4569 [12], в Україні ДСТУ 8782:2018 [13]. В загальному вигляді параметри класів бронезахисту представлені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Балістичні стандарти [14].

CEN (Committee European Normalization) BS/EN 1063 Ballistic Standards						
Клас	Тип зброї	Калібр	Тип набою	Маса, (г)	Дистанція пострілу, (м)	Швидкість кулі, (м/с)
BR1	Гвинтівка	0.22 LR	L/RN	2.6 ± 0.1	10.00 ± 0.5	360 ± 10
BR2	Пістолет	9 mm parabellum	FJ1/RN/SC	8.0 ± 0.1	5.00 ± 0.5	400 ± 10
BR3	Пістолет	0.357 magnum	FJ1/CB/SC	10.2 ± 0.1	5.00 ± 0.5	430 ± 10
BR4	Пістолет	0.44 magnum	FJ2/FN/SC	15.6 ± 0.1	5.00 ± 0.5	440 ± 10
BR4+	Гвинтівка	7.62x39 mm	FJ2/PB/HC1	8.0 ± 0.1	10.00 ± 0.5	710 ± 10
BR5	Гвинтівка	5.56x45 mm	FJ2/PB/SCP1	4.0 ± 0,1	10.00 ± 0.5	950 ± 10
BR6	Гвинтівка	7.62x51 mm	FJ1/PB/SC	9.5 ± 0.1	10.00 ± 0.5	830 ± 10
BR6+	Гвинтівка	5.56x45 mm	FJ/PB/SC	3.6 ± 0.1	10.00 ± 0.5	980 ± 10
BR7	Гвинтівка	7.62x51 mm	FJ2/PB/HC1	9.8 ± 0.1		820 ± 10

L: свинцева; CB: конічна куля; FJ: цілком металева сталева куля; FN: куля з плоскою вершиною; RN: куля з сферичною вершиною; HC1: термозміцнена сталева серцевина з запальною частиною (БЗ); SPC1: куля з м'якою серцевиною та бронебійною частиною; PB: куля з гострою вершиною; SC: куля з м'якою серцевиною;

Проведення моделювання і знаходження оптимальної конфігурації КМ доцільне за рахунок значного здешевлення майбутніх розробок, адже моделювання не потребує проведення значних фінансових витрат на проведення експериментів та балістичних тестів. Для правдивості майбутніх результатів моделювання слід провести ряд пробних симуляцій на прикладі

достовірних іспитів з як найбільшим урахуванням факторів впливу. При відповідності використовуваних математичних моделей і низькій похибці обчислень, слід вважати таку модель достовірною. Для прогнозування точних фізичних властивостей сплаву системи Ti/Al слід використовувати підтвержені фізико-механічні якості матеріалу, що був отриманий тим чи іншим способом.

2. ОБГРУНТУВАННЯ ЗАДАЧІ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Методика дослідження композитного матеріалу базується на проведенні комп'ютерного моделювання створених зразків, а саме задачі влучання кулі у випробуваний зразок. Моделювання проведене використовуючи метод кінцевих елементів (далі МКЕ) у програмному комплексі ANSYS використовуючи середовище розрахунку явної фізики Explicit dynamics, та середовище AutoDYN.

2.1 Теоретична складова

2.1.1. Принцип роботи МКЕ

Принцип дії МКЕ полягає у максимально приближеному створенні двійника випробуваного об'єкта або процесу.. Для максимальної оптимізації і зручності створення моделі спершу потрібна геометрія об'єкту створювалась у САПР AutoCAD, після виконувався експорт геометрії тіла у форматі «.sat» у робочий вимір ANSYS. За такою методикою виконання керування розміром і формою створюваних об'єктів є дещо зручніше, ніж у вбудованому геометричному редакторі DesignModeler. Слід зазначити, що при побудові двовимірного моделювання перевагу слід надавати саме вбудованому редактору, адже при експорті формату з різних САПР є шанс виникнення програмного конфлікту, та некоректного відображення відповідності елементів без можливості корегування виявлених помилок.

Один із параметрів що напряду впливає на точність моделювання та відповідність процесу дійсності є якість сіткою кінцевих елементів (mesh).

Параметри керування сіткою дозволяють задавати положення середнього вузла, розмір окремого елемента, принцип формування сітки відносно до геометрії тіла, локальну щільність елементів, геометричний вид елемента сітки. Від встановлення цих параметрів залежить якість отриманої сітки елементів, економічність виконуваного аналізу, точність.

Передумова до побудови МКЕ розрахунку – чим менший окремих елемент сітки, тим більша точність. Але супротив цього стрімко зростає ресурсоемність процесу обчислення, тому при будь-якому моделюванні необхідно знайти баланс між точністю та швидкістю розв'язання задачі при відповідних вимогах. При відсутності орієнтирів щодо необхідної точності розрахунку, слід експериментально виконати обчислюваний або схожий процес, та виконати його моделювання з покроковим збільшенням розміру окремого елемента до досягнення задовільної відповідності. Якщо можливість проведення будь-якого практичного експерименту відсутня, слід проаналізувати схожі наукові роботи даної тематики та теоретично визначити шукані межі та критерії точності.

МКЕ – наближений метод, точність котрого залежить від правильного вибору типів і розмірів кінцевих елементів. Для кращої оптимізації процесу розрахунку слід практично дивитися на методику дослідження модельованого процесу. Таким чином достатньо при моделюванні виконувати максимальну щільність сітки тільки у місцях, що очікувано будуть зазнавати більшого впливу, або самі є об'єктами дослідження. Зони що зазнають меншого впливу можуть бути значно спрощенні при моделюванні до певної межі, яку теж при необхідності можна встановити експериментально.

Слід зазначити, що форму елементів необхідно задавати для тих типів моделей, що допускають використання більше однієї форми. Багато поверхневі моделі можуть мати як трикутну, так і чотирикутну форму. Об'ємні моделі ж можуть будуватися з елементів форми тетраедра або гексаедра.

2.1.2. Метод SPH (Метод згладжених часток)

Функція Лагранжа є бажаною, оскільки вона дозволяє вбудовувати сітку в матеріал, і це зменшує деякі проблеми інтерфейсу матеріалу, пов'язані з кодами Ейлера. Метод SPH дозволяє вирішувати задачі серйозних деформацій і викривлень, що в загальному вигляді може показувати гарні результати при дослідженні локальних деформацій при високих швидкостях деформації.

Функція SPH алгоритму для тривимірного простору [15] :

$$W_{ij} = \frac{1}{\pi h_{ij}^3} \left(1 - \frac{3}{2} v_{ij}^2 + \frac{3}{4} v_{ij}^3 \right), \quad 0 \leq v_{ij} \leq 1, \quad (2.1)$$

$$W_{ij} = \frac{1}{\pi h_{ij}^3} \left[\frac{1}{4} (2 - v_{ij})^3 \right], \quad 1 \leq v_{ij} \leq 2, \quad (2.2)$$

Придатність SPH для високих швидкостей деформації полягає також в тому, що цей метод відноситься до методів Лагранжа, і має змінну зв'язність для урахування сильних викривлень. Метод згладжених часток хоча і придатний до подібних задач, він все ж не показує такі ж результати як звичайні методи побудови сітки. Аналогічними характеристиками володіє метод Ейлера. Формулювання Лагранжа дозволяє створити прямий зв'язок з стандартними формулюваннями Лагранжа кінцевих елементів, що дає можливість виконувати як серйозні спотворення, так і обчислення структурної реакції Лагранжа; графічний зміст принципу SPH зображений на рис.2.1 та 2.2 у порівнянні з квадратичним згладжуванням.

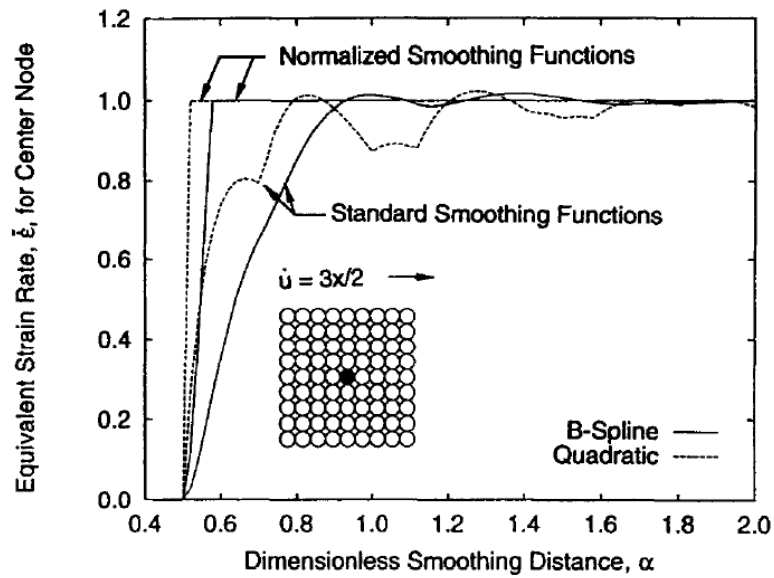


Рис.2.1 - Залежність еквівалентної швидкості деформації від безрозмірної відстані згладжування для вузла SPH на поперечному перерізі радіального розтягування [15].

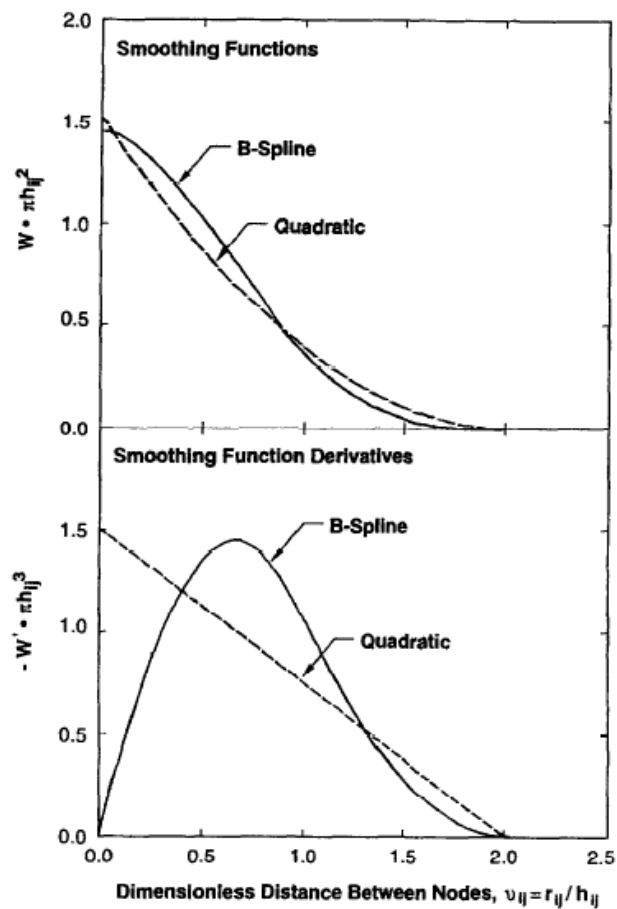


Рис.2.2 – двовимірне квадратичне і B-Spline згладжування та їх похідні [15].

В додаток до описаних методів моделювання, у дослідженні також використовуються додаткові закони, що уточнюють фізику поведінки модельованих зразків у відповідних умовах. Зважаючи на швидкоплинність процесу і високі максимальні швидкості окремих часток (>5000 м/с), для достовірного відтворення моделювання додаткового використовуються закон Джонсона-Кука для деяких матеріалів.

2.1.3. Модель міцності Джонсона-Кука (Johnson – Cook Strength model)

Модель Джонсона-Кука це модель, що враховує деформаційне зміцнення та залежність напруги від швидкості деформування та температури [10, 11]:

$$\sigma = (A + B\varepsilon^{-p^n})(1 + C \cdot \ln \varepsilon^*)(1 - (T^*)^m), \quad T^* = \frac{T - T_0}{T_m - T_0}, \quad (2.3)$$

Де ε^p - ефективна пластична деформація; $\varepsilon^* = \varepsilon^p / \varepsilon_0$ - ефективна швидкість пластичної деформації, $\varepsilon_0 = 1 \cdot \text{с}^{-1}$; A, B, n, C, m - константи, що залежать від властивостей матеріалу і визначаються експериментально; T_0, T_m - температура оточуючого середовища і температура плавлення матеріалу.

Процес деформації руйнування визначається співвідношенням:

$$\varepsilon^f = (D_1 + D_2 \exp(D_3 \sigma^*)) (1 + D_4 \ln \varepsilon^*) (1 + D_5 T^*), \quad (2.4)$$

де D_i ($i = 1, \dots, 5$) - параметри матеріалу; σ^* - коефіцієнт жорсткості напруженого стану.

Модель руйнування описує історію пошкодження кожного елемента за допомогою параметра ушкодження D . Руйнування елемента відбувається при $D \geq 1$.

$$D = \sum \frac{\Delta \varepsilon^{-p}}{\varepsilon_f}, \quad (2.5)$$

2.2 Параметри експерименту

Складовими експерименту є 4 конфігурації композитного матеріалу, що має шарувату будову із алюмінієвого і титанового сплаву. Використані конфігурації наведені у таблиці 1. Початковим експериментом є конфігурація з кодом СМ 88, який складається з одного шару титану 8 мм і одного шару алюмінієвого сплаву 8 мм. Подальші експерименти направлені на вивчення впливу кількості шарів на балістичну витривалість композитного матеріалу в цілому. У всіх конфігураціях загальна товщина композиту становить 16 мм. Комбінація шарів була створена з умовою, що фронтальна сторона пластини має бути з алюмінію [1,10].

Розміри повнорозмірної постановки КМ наведені на рисунку 2.3.

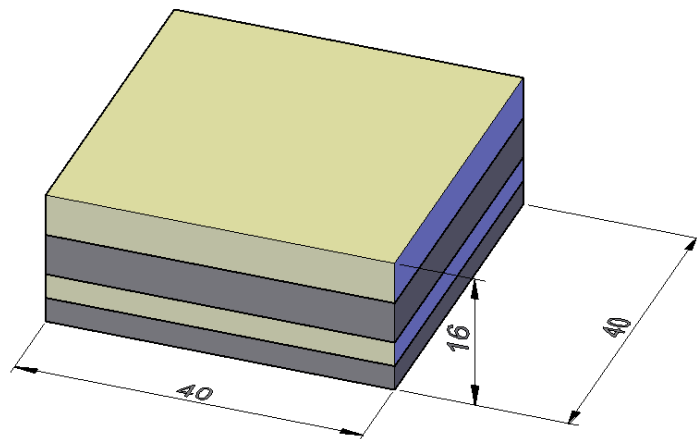
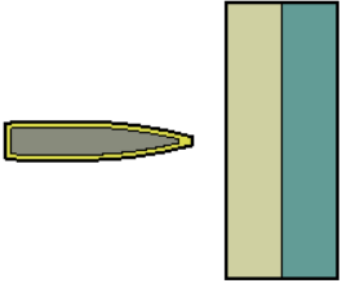
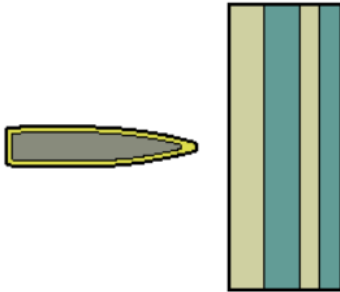
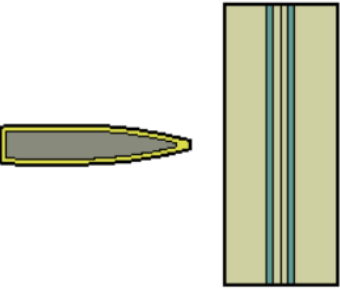
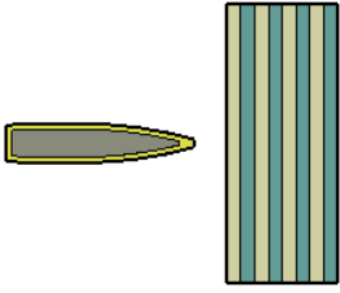


Рис.2.3 -габаритна модель КМ (конфігурація СМ 5353)

Таблиця 2.1 – Вихідні параметри експерименту. (АС – алюмінієвий сплав; ТС – титановий сплав)

Конфігурація	Геометрія	Код	Товщина шарів	Щільність пакету, кг/м ³	Початкова швидкість кулі, м/с
Двошарова		СМ 88	1x8 мм - АС 1x8 мм - ТС	3606.5	900
Чотиришарова		СМ 5353	1x5 мм - АС 1x3 мм - АС 1x5 мм - ТС 1x3мм - ТС	3606.5	900
Шестишарова		СМ 611	2x6 мм - АС 2x1 мм - АС 2x1 мм - ТС	2979.1	900
Восьмишарова		СМ 22	4x2 мм - АС 4x2 мм - ТС	3606.5	900

Тип набою був обраний як куля калібру 5.45x27 мм з латунною оболонкою і сталеву сердечиною (рис.3). За класифікацією набоїв куля схожа на номенклатуру 5.45 ПРС (куля зі зменшеною рикошетною здатністю),

але зі зменшеною довжиною, наявною фаскою у задній частині і відсутньою проточкою у основі тіла кулі. Основи геометричних параметрів кулі були отримані з креслення, що наведене у додатку А, включно з характером утворення оживальної геометрії, при тому що калібр був зменшений від 5.56 мм до 5.45 мм.

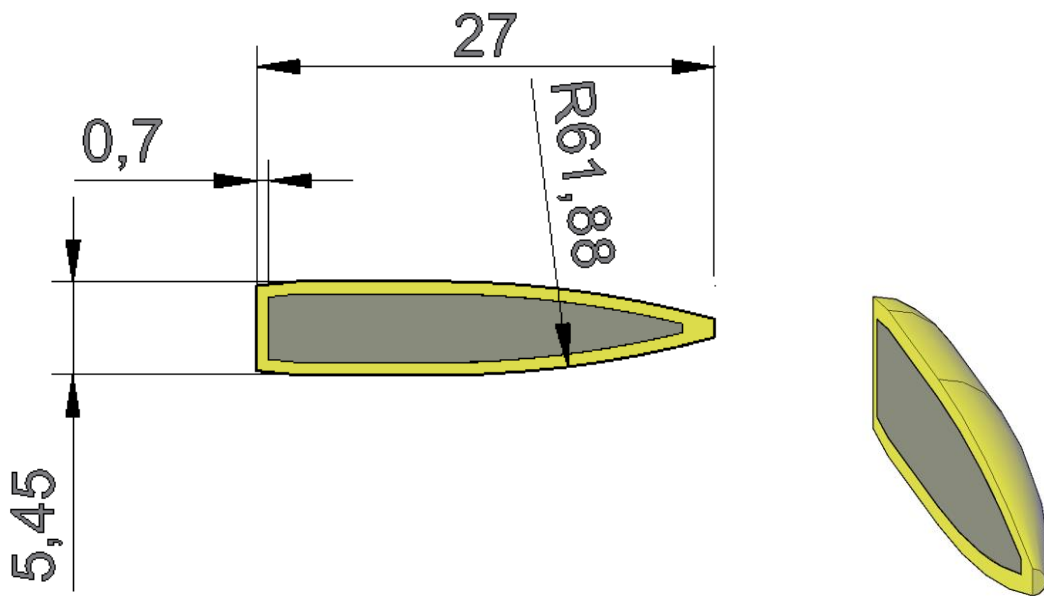


Рис.2.4 – Модель оболонкової бронебійної кулі калібру 5.45 мм

2.2.1. Характеристика використовуваних матеріалів

У ході експерименту використовувались матеріали характеристики яких наведені у таблиці 2.2, 2.3, 2.4, 2.5. У якості титанового сплаву була обрана марка марка Тi6Al4V; марка алюмінієвого сплаву Al 7039. Матеріалом бронебійної серцевини є конструкційна сталь, що є стандартним матеріалом у бібліотеці матеріалів ANSYS.

Таблиця 2.2 – Параметри матеріалу Al 7039 [18]

Властивість	Значення	Одиниця виміру
Щільність ρ	2770	Кг/м ³
Теплоємність при сталому тиску, C_p	875	Дж/кг·С°
Модуль Шора	2,76e+10	Па
Рівняння стану Мі - Грюнайзена		
Коефіцієнт Грюнайзена	2	-
Параметр С1	5328	м/с
Параметр S1	1,338	-
Модель Джонсона - Кука		
Параметр А	3,37e+8	Па
Параметр В	3,43+8	Па
Параметр С	0,41	-
Параметр m	1	
Параметр n	0,01	
Температура плавлення	603,85	С°

Таблиця 2.4 – Параметри матеріалу латунь С37700 [19]

Властивість	Значення	Одиниця виміру
Щільність ρ	8267	Кг/м ³
Теплоємність при сталому тиску, C_p	377,1	Дж/кг·С°
Модуль Шора	3,7156e+10	Па
Модуль Юнга, E	9,995e+10	Па
Коефіцієнт Пуассона	0,345	-
Модуль всебічного обтиску, K	1,0747e+11	Па

Таблиця 2.3 – Параметру матеріалу Ti6Al4V [20]

Властивість	Значення	Одиниця виміру
Щільність ρ	4443	Кг/м ³
Модуль Юнга, E	1,13e+11	Па
Коефіцієнт Пуассона	0,342	-
Модуль всебічного стиску, K	4,2399e+10	Па
Модуль Шора	4.2399e+10	Па
Модель Джонсона - Кука		
Параметр A	1,104e+9	Па
Параметр B	1,036e+9	Па
Параметр C	0,6349	-
Параметр m	0,7794	
Параметр n	0,0139	
Температура плавлення	1660	С°

Таблиця 2.5 – Параметри матеріалу «сталь конструкційна» [21]

Властивість	Значення	Одиниця виміру
Щільність ρ	7850	Кг/м ³
Теплоємність при сталому тиску, C_p	434	Дж/кг·С°
Модуль Шора	7,6923e+10	Па
Модуль Юнга, E	2e+11	Па
Коефіцієнт Пуассона	0,3	-
Модуль всебічного обтиску, K	1,6667e+11	Па

2.2.2. Налаштування процесу рішення задачі і аналізу

Для зменшення загального часу розрахунку завдань, була створена осесиметрична постановка задачі з обмеженням по осі y (рис.6) з використанням інструменту «fixed support» до зовнішніх граней композитного матеріалу.

Опції контактів та зв'язків об'єктів:

- Контакт пластин встановлений з параметром «Bounded». Параметр імітує з'єднання окремих шарів між собою методом зварюванням тиском. Інші параметри контакту встановлені за замовченням.
- Контакт латунної оболонки та сталеві серцевини кулі встановлений з параметром «Bounded». Даний параметр не імітує дійсного зв'язку оболонки та серцевини кулі, але у ряді моделювань було встановлено, що даний параметр відображує найбільш реалістичний результат при високошвидкісному ударі.

Сітка кінцевих елементів створена за допомогою методів – «Sweep» для пластини, та «Tetrahedrons» для кулі. Розмір елемента відповідно становить 0,4 мм та 0,6 мм (рис.2.5). Для моделі CM 5353 та CM 611 параметр налаштування методу побудування сітки композиту доповнений параметром автоматичного визначення товщини.

Тетраедрична сітка була обрана для моделювання кулі у зв'язку з оптимальним балансом між якісним процесом моделювання деформації, та ресурсоемністю моделювання названого параметру. З метою створення більш точної моделі і маючи більші розрахункові потужності, рекомендовано методологію, що описана Флорес-Джонсоном та Салехом [10].

Налаштування параметрів аналізу:

- Опція загального налаштування у Explicit Dynamics була встановлена як «Високошвидкісна»;
- Кінцевий час розрахунку $3 \cdot 10^{-3}$ с;
- Параметр ерозії матеріалу – ерозія за пластичною деформацією, де параметр пластичної деформації дорівнює 1; врахування передачі інерції скомпенсованого матеріалу - активне.

Середовище Explicit Dynamics використовувалось як препроцесор, де встановлювались вихідні параметри розрахунку та загальні налаштування вирішувача. Для розрахунку задачі використовувалось середовище AutoDYN.

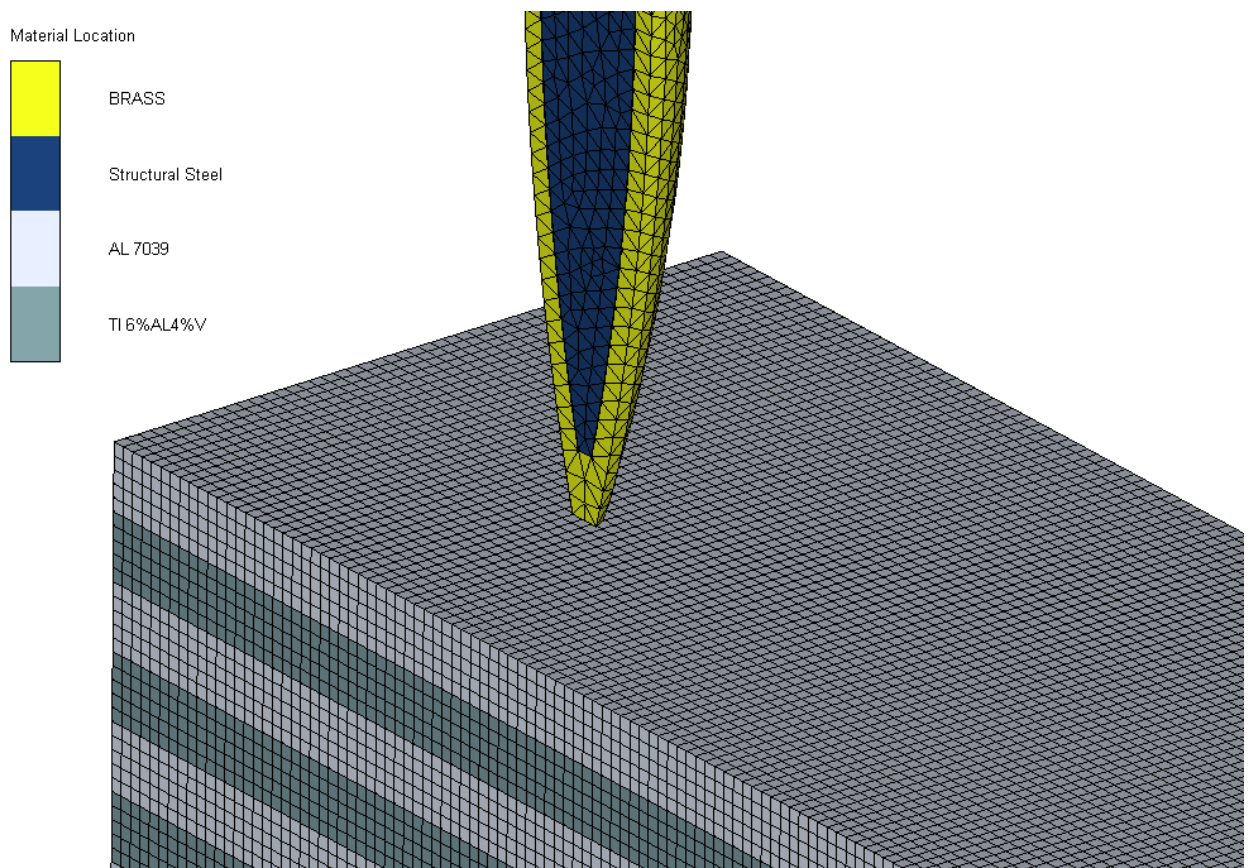
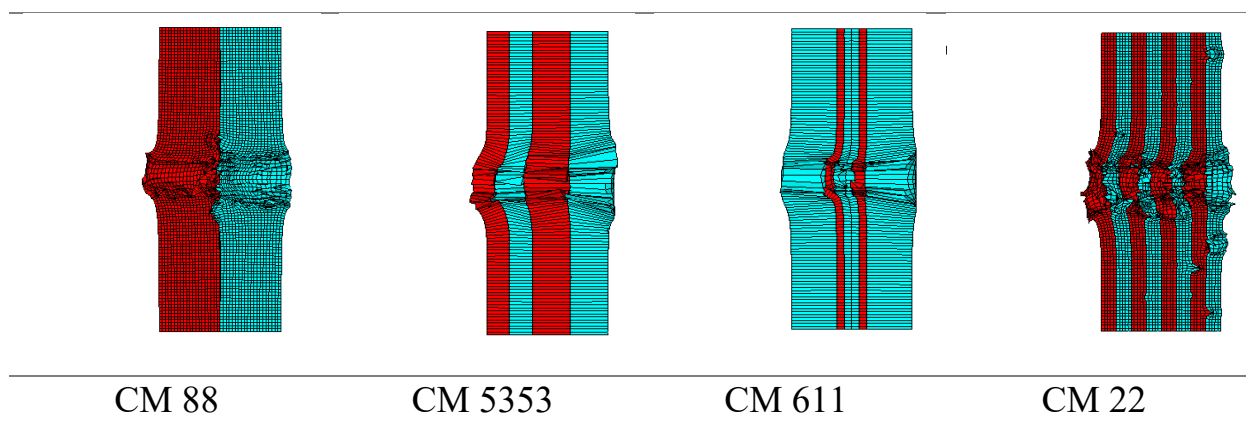


Рис.2.6 – модель сітки кінцевих елементів осесиметричної постановки СМ 22

3. ОБРОБКА І ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

В результаті моделювання проникнення та пробиття бронепластин відбулося в усіх випадках (таблиця 6).

Таблиця 3.1 – Результат виконаних моделювань (конфігурація СМ 88, СМ 22, СМ 5353, СМ 611)



Загальна кількість часу на розрахунок склала близько 110 годин включаючи тестові розрахунки що були спрямовані на створення оптимальних алгоритмів дій, перевірки вказаних механічних характеристик, законів та налаштувань пре і постпроцесора.

У всіх випадках спостерігалось руйнування латунної оболонки, та відділення її від сталеві серцевини, після чого оболонка виключалася з розрахунку параметром erosion control з наступною передачею кінетичної енергії.

За встановленими параметрами швидкості і типу набою, моделювання влучання кулі сумісне з балістичним тестом для класу броньового захисту BR6+ (таблиця 1.1) при змінній умові – у змодельованій кулі цілком металева сталеві серцевина та менша маса за рахунок відсутності свинцевого

наповнювача та меншого калібру, а отже пробивна здатність такого набою більша при врахуванні, що змодельоване влучання еквівалентне до влучання з відстані близько 250 метрів.

3.1 Аналіз КМ СМ 88

Результатом моделювання є повна пенетрація КМ бронебійною серцевиною з руйнуванням латунної оболонки. Моделювання даної конфігурації підтверджує виникаючий ефект, що зазначається у наведених вище роботах [4,8,10,16,17], а саме виникнення напруг між шарами матеріалу і в наслідок чого – виникнення розшарування КМ (рис.3.1).

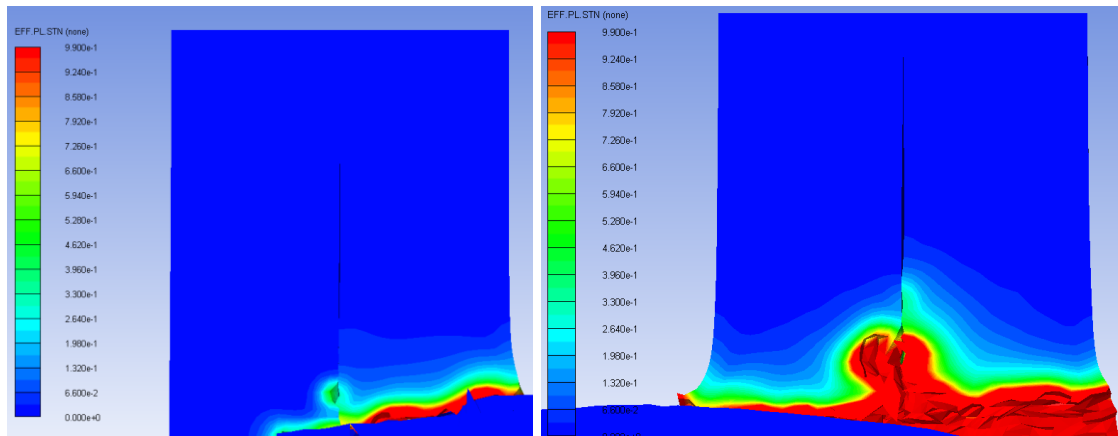


Рис.3.1 – Ефективна пластична деформація моделі КМ СМ 88. Ліворуч: $\tau_1=20.51 \mu\text{s}$ (виникнення розшарувань між титановим та алюмінієвим сплавом); Праворуч: $\tau_2=53.07 \mu\text{s}$ (збільшення зони розшарування)

При умові встановлення параметру зв'язку між окремими шарами матеріалу, ці зв'язки не мали чисельного означення і встановлені як автоматично створювані показники.

Аналіз кінцевого циклу розрахунку також демонструє деякі артефакти сітки кінцевих елементів. Це деформації, що могли виникнути з причин:

- Сталого параметра компенсації матеріалу що руйнується, а саме компенсацією за геометричним спотворенням;
- Ефекту інтерференції хвиль стиснення та розтягування, що виникають при високошвидкісних ударах або надвисоких значеннях тиску (принцип роботи HESH снаряду [24]);
- Малого значення міцності з'єднання, і як наслідок його руйнування розтягуючими напруженнями виникаючими з за деформації;

Характер зміни енергії в системі зображено на рис.3.2. На графіку видно нехарактерне викривлення графіку у момент контакту матеріалу кулі з шаром титану, що викликало енергетичний артефакт.

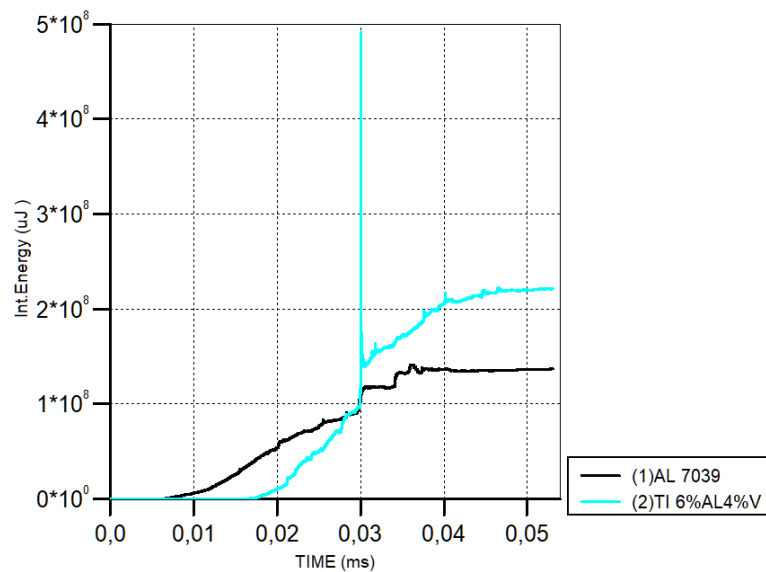
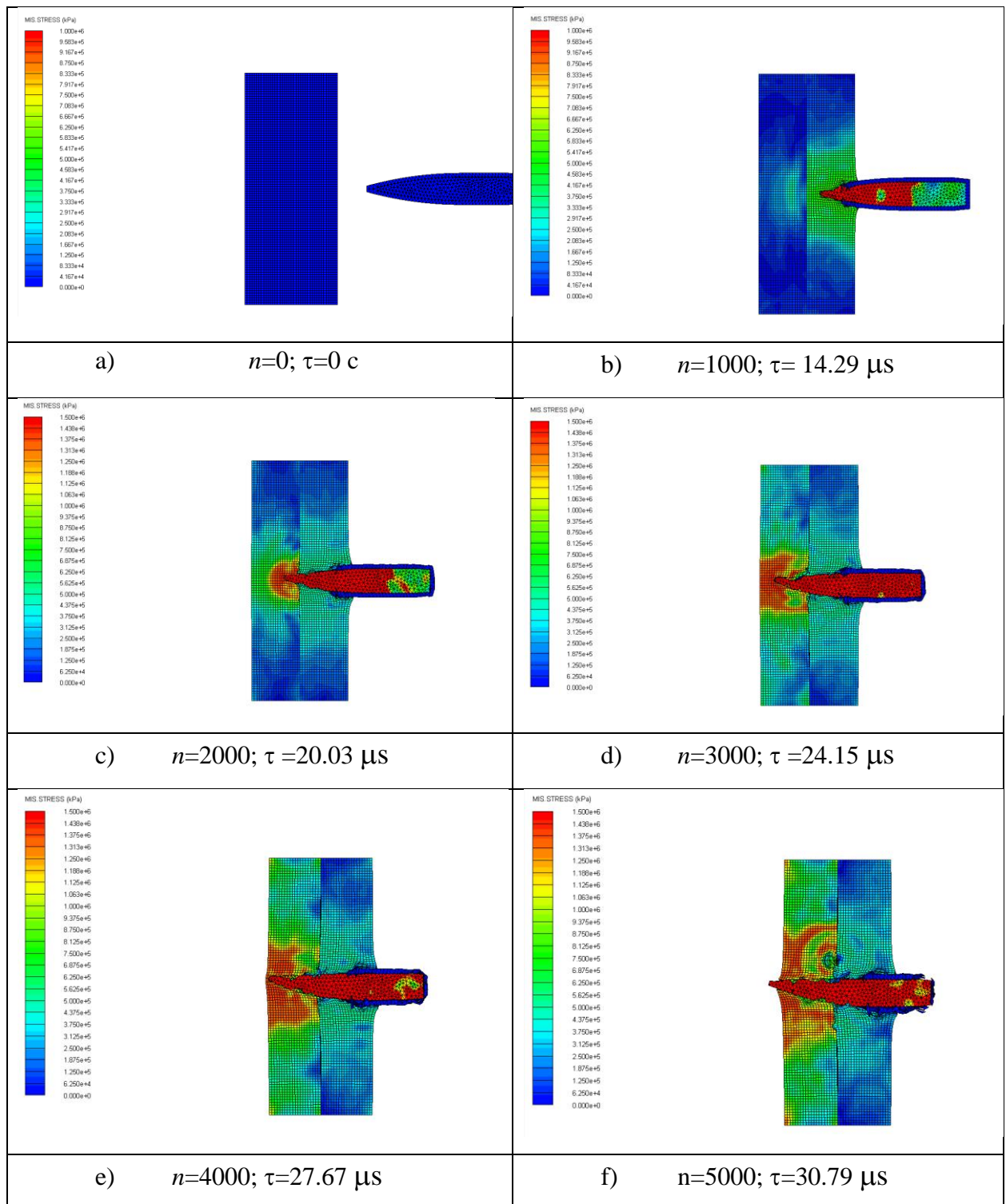
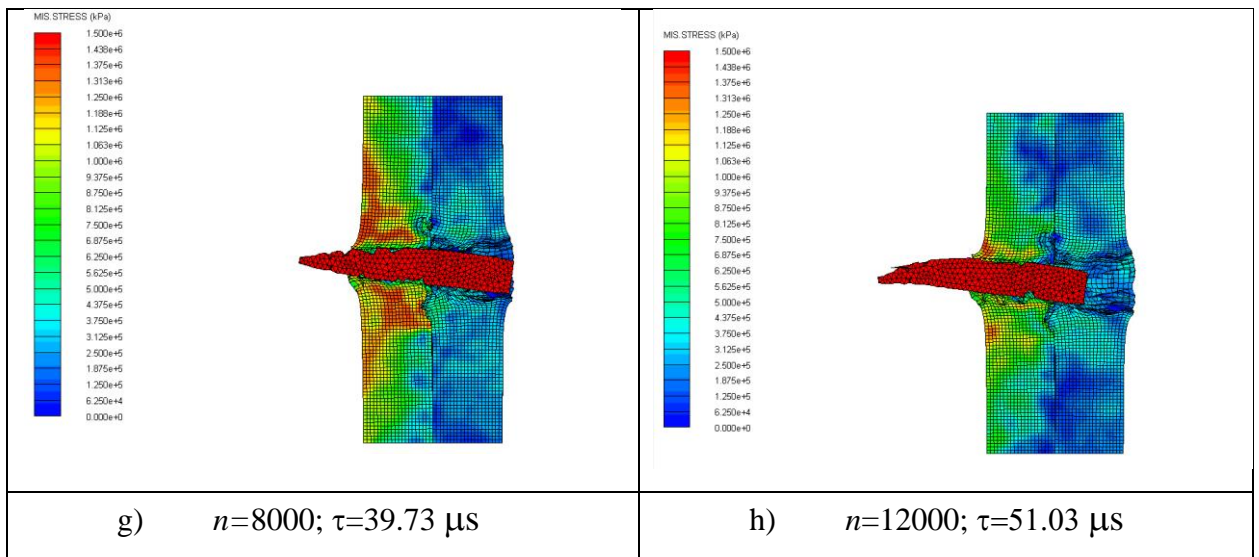


Рис.3.2 – графік залежності питомої енергії матеріалу КМ від часу

Хід моделювання за циклами та демонстрацією напружень за Фон Мізесом в представлений у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - результат моделювання влучання кулі калібром 5.45x29 мм в КМ СМ 88





3.2 Аналіз КМ СМ 5353

Першою і головною відмінністю від експерименту з СМ 88 є інакший принцип побудови СКЕ (рис.3.3). Але пробиття матеріалу, та вихід кулі за межі об'єму композиту спостерігається у обох випадках приблизно за $\tau=29 \mu s$ (таблиця 3.2, 3.3).

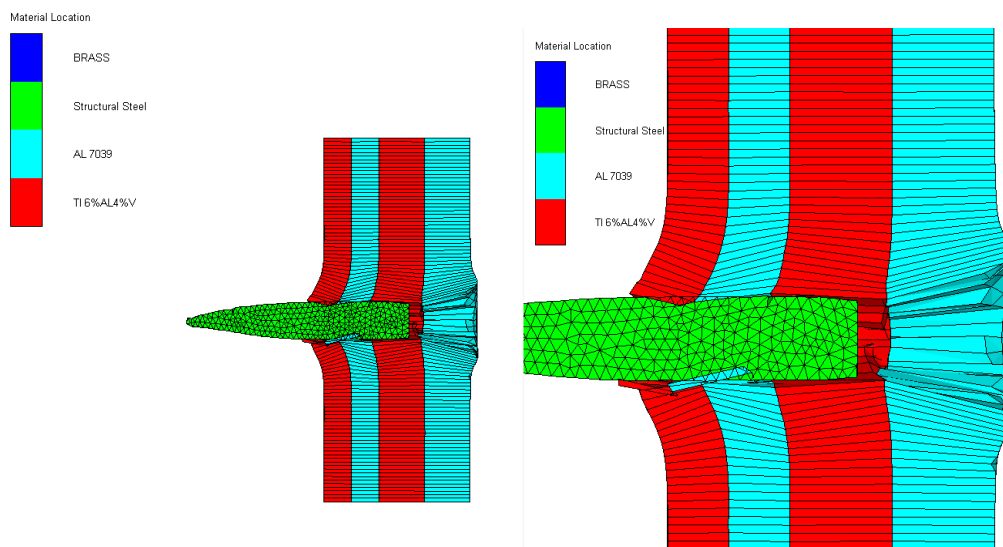
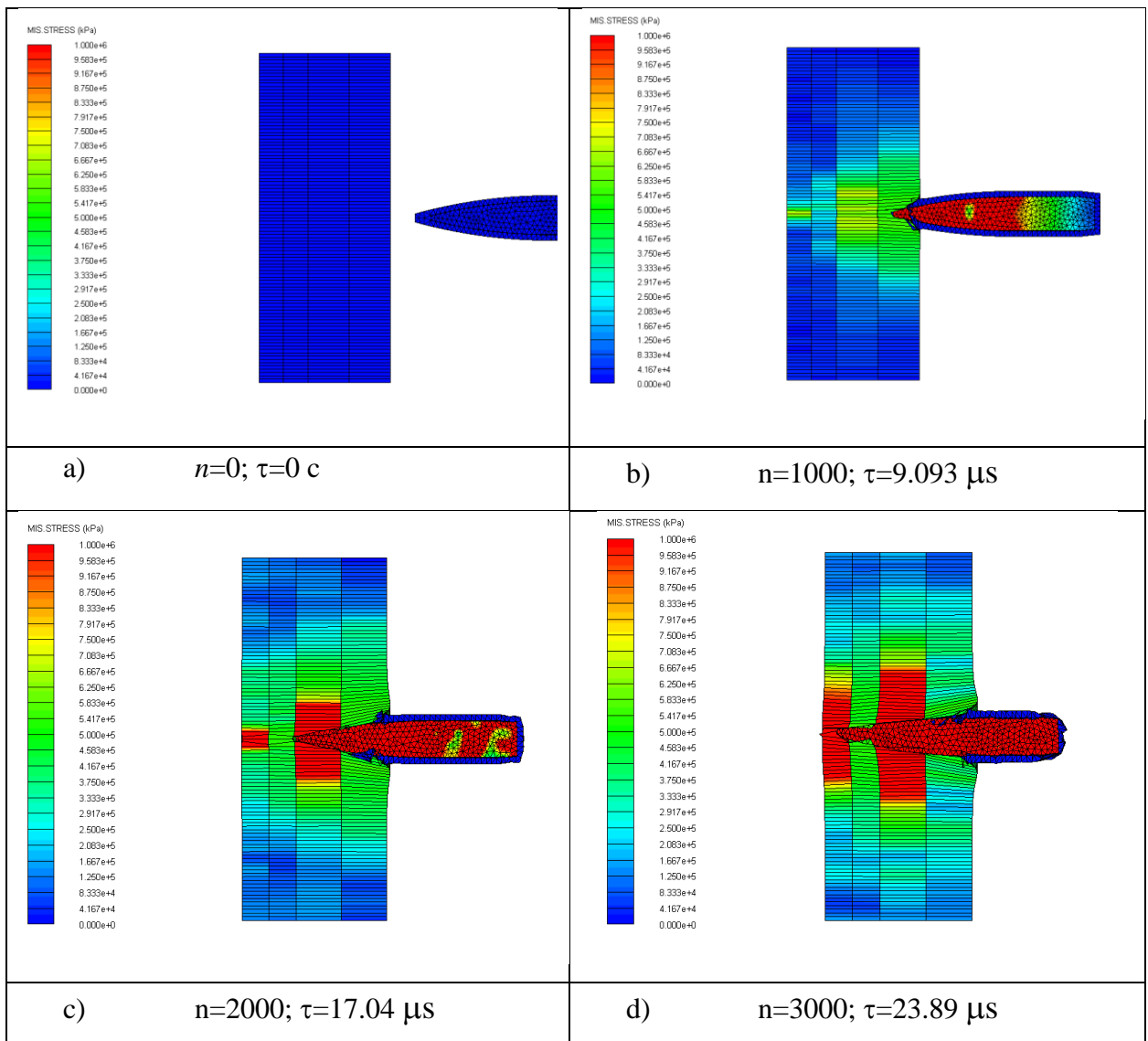
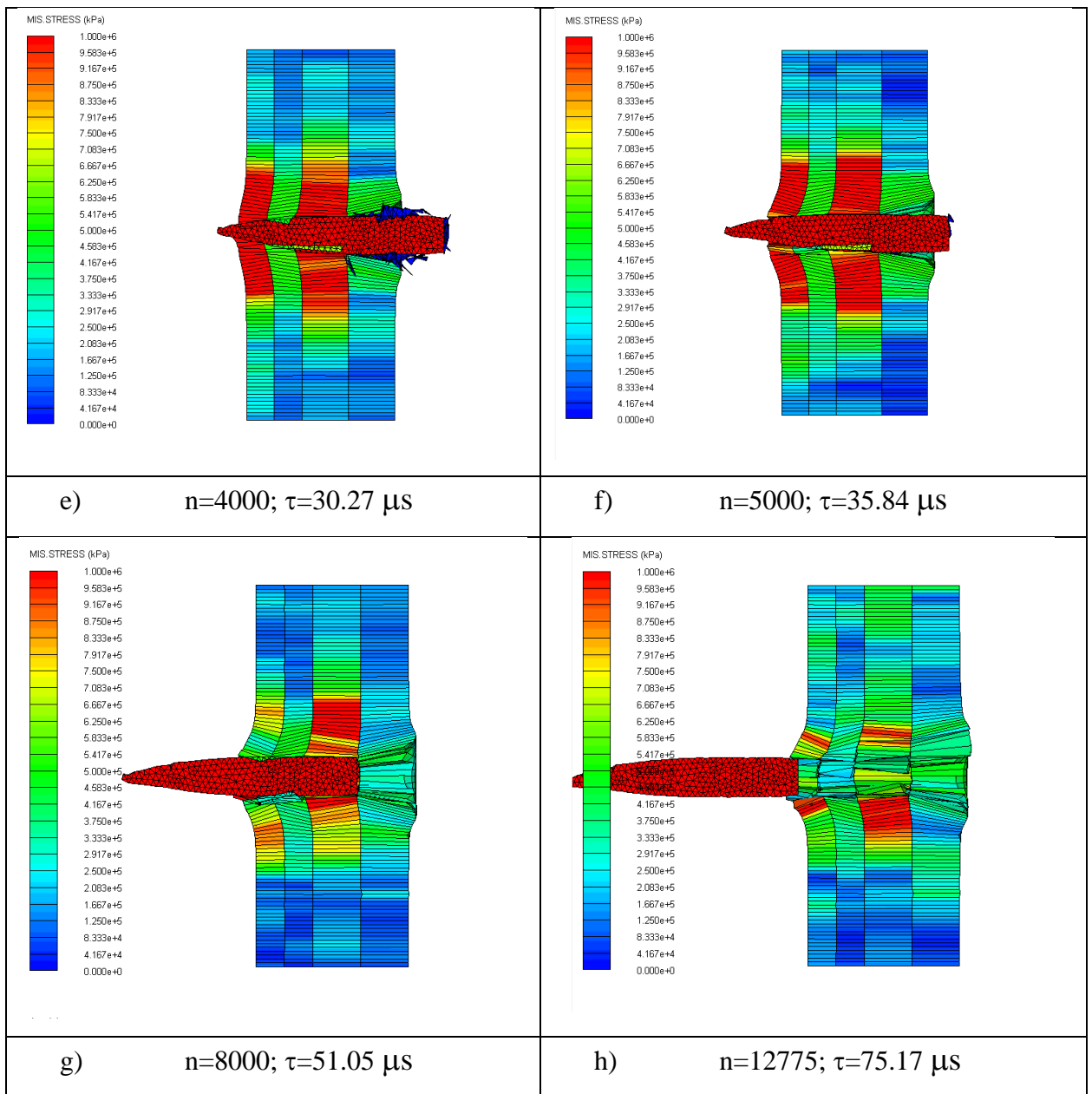


Рис.3.3 – модель КМ СМ 5353. $\tau=53 \mu s$

Фактично, при побудові сітки з повздожньо-направленими елементами по осі руху снаряду, то окремі елементи сітки будуть демонструвати більш зглажену поверхню після деформації. Ця умова у випадку проведеного моделювання підкріплена опцією ерозії матеріалу за пластичною деформацією, що дає ще більш зглажену поверхню.

Таблиця 3.3 - результат моделювання влучання кулі калібром 5.45x27 мм в КМ СМ 5353





Ймовірно використання опції автоматичної товщини у Explicit Dynamics не є доцільним для точного моделювання картини деформації та руйнування матеріалу при влучанні кулі. Але в порівнянні з конфігураціями, в яких опція автоматичної товщини СКЕ не була активована, у відповідних конфігураціях наглядно демонструється деформація СКЕ не в результаті безпосереднього влучання кулі, а деформація від ударної хвилі, що виникла. Характерна дислокація спостерігається з моменту контакту кулі у пластину (таблиця 3.3(b)).

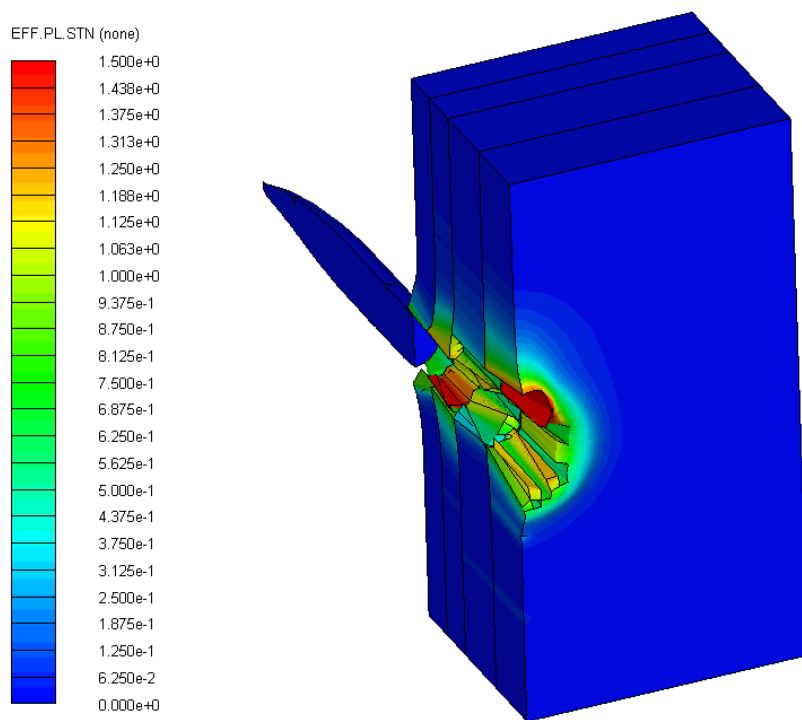


Рис.3.4 – Ступінь пластичної деформації KM SM 5353 у ізометричній проекції та вхідний отвір.

На рис.3.4 та таблиці 3.3 видно різницю між розмірами вхідного та вихідного отвору від кулі. Також можна зазначити, що конфігурації в яких останній шар титану має товщину >3 мм мало схильні до утворення великої кількості броньових вторинних уламків. Детальніше цей критерій розглядатиметься у пункті 3.5

Характер поведінки кулі при проникненні у KM стабільний та передбачуваний. Куля має майже рівну траєкторію руху, та зазнає невеликих пошкоджень при пробитті за виключенням руйнування латунної оболонки.

3.3 Аналіз КМ СМ 611

Компоновка СМ 611 серед досліджуваних має найнижчу середню щільність композиту, і здебільшого має у своєму складі алюмінієвий сплав. Моделювання даної конфігурації направлено на вплив титанових елементів у загальному об'ємі пакету матеріалу. На відміну від СМ 88, у СМ 611 не спостерігається розшарувань на межі матеріалів. Природа цього явища може бути у використанні титанових та алюмінієвих шарів, що теоретично збільшують загальну міцність на вигин і виступають у якості армування, або у відмінній методиці побудови СКЕ.

Характер поведінку кулі передбачуваний, але помітна деяке викривлення її траєкторії у рахунок зіткнення з титаном (таблиця 3.4(с) та рис.3.5)

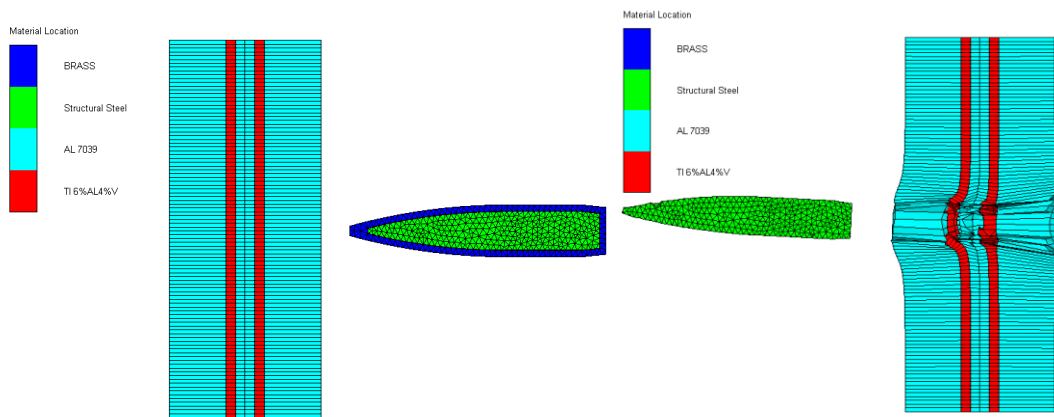


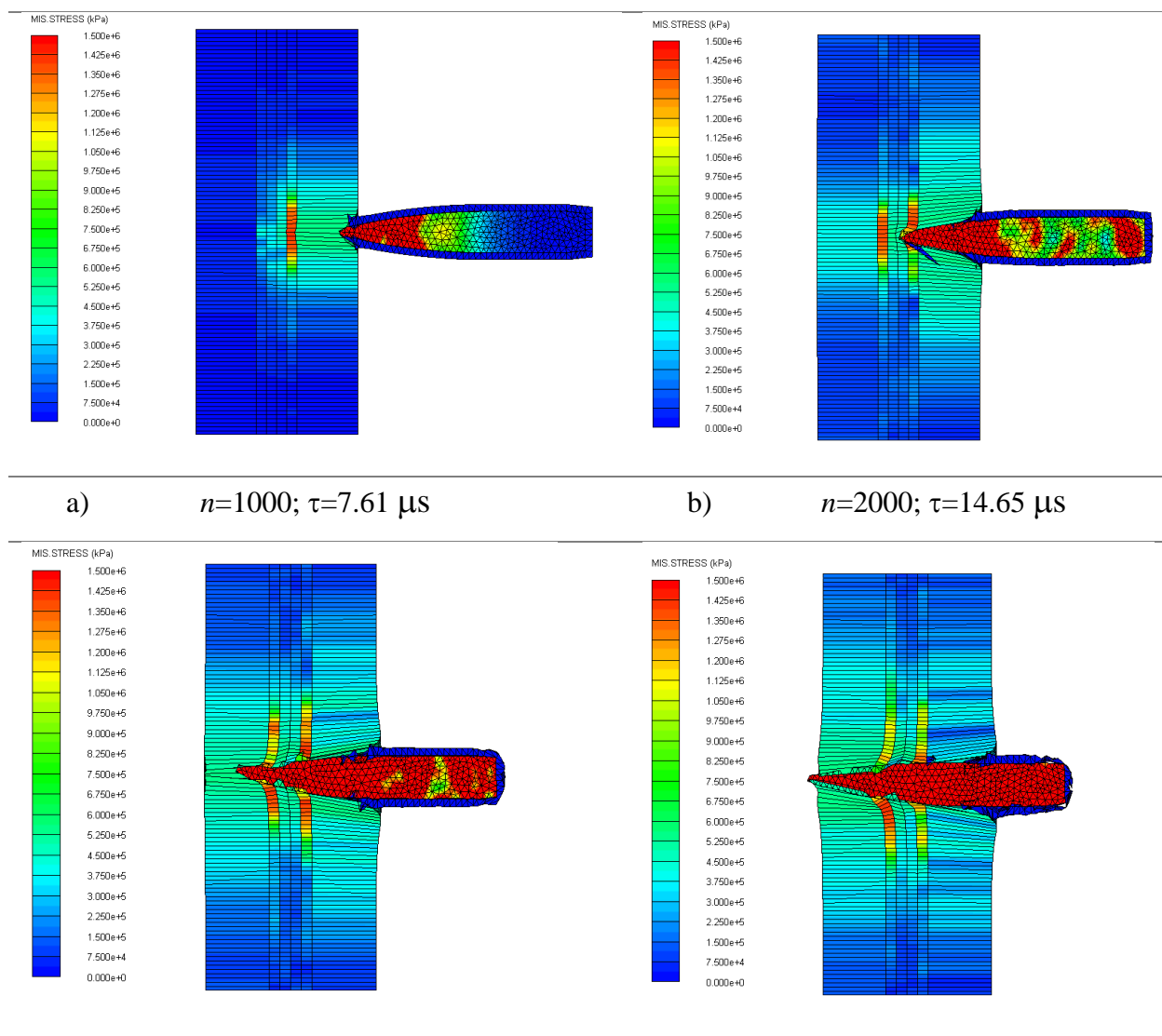
Рис.3.5 – модель КМ СМ 611. $\tau_0=0 \mu s$, $\tau_k=72.2 \mu s$

В порівнянні з СМ 5353, у СМ 611 вторинна деформація від ударної хвилі спостерігається набагато краще (таблиця 3.4 (b,c,d)). Цей спосіб можливо має потенційне використання при моделюванні вибухів, або влучання бронебійно-запальних та фугасних снарядів. Це може дати деяку інформацію при умові що невідомі, або не зазначені початкові умови ерозії

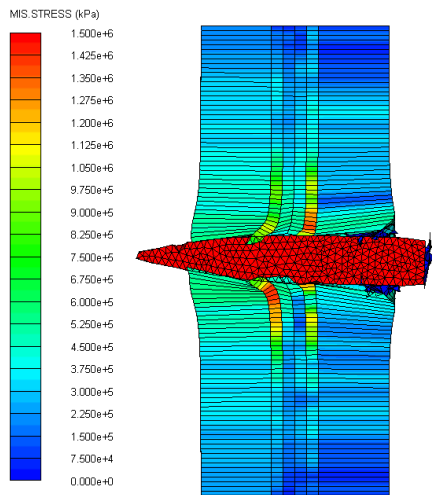
матеріалу, та його модель руйнування. Але слід зазначити, що фактично відобразити утворення вторинних уламків від бронепластини моделювання з опцією автоматичної товщини сітки - не здатне.

Інший погляд на аналогічні вихідні дані може дати моделювання з іншими типами куль: свинцева-оболонкова, експансивна, кульовий набій рушниць, дріб, або інші види пенетраторів які мають підвищений початковий коефіцієнт опору матеріалу за рахунок більшої початкової площі контакту снаряду.

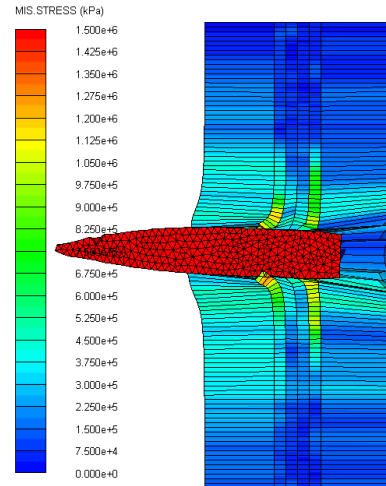
Таблиця 3.4 - результат моделювання влучання кулі калібром 5.45x27 мм в КМ СМ 5353



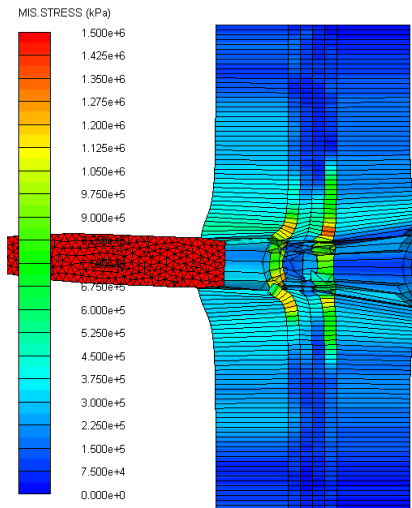
c) $n=3000$; $\tau=20.96 \mu\text{s}$



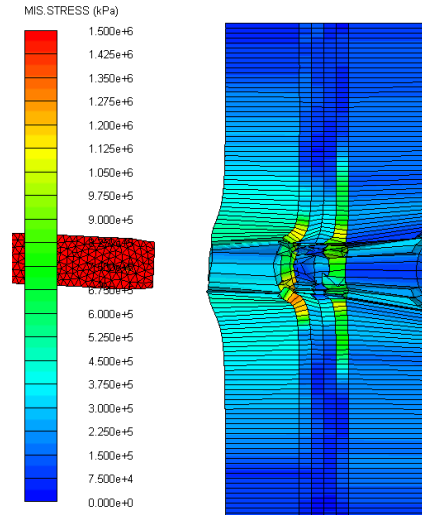
d) $n=4000$; $\tau=26.95 \mu\text{s}$



e) $n=5000$; $\tau=32.80 \mu\text{s}$



f) $n=7000$; $\tau=44.40 \mu\text{s}$



g) $n=10000$; $\tau=61.84 \mu\text{s}$

h) $n=11788$; $\tau=72.24 \mu\text{s}$

3.4 Аналіз КМ СМ 22

Компоновка СМ 22 демонструє найбільш деформовану поверхню матеріалу у епіцентрі влучання (рис.3.6).

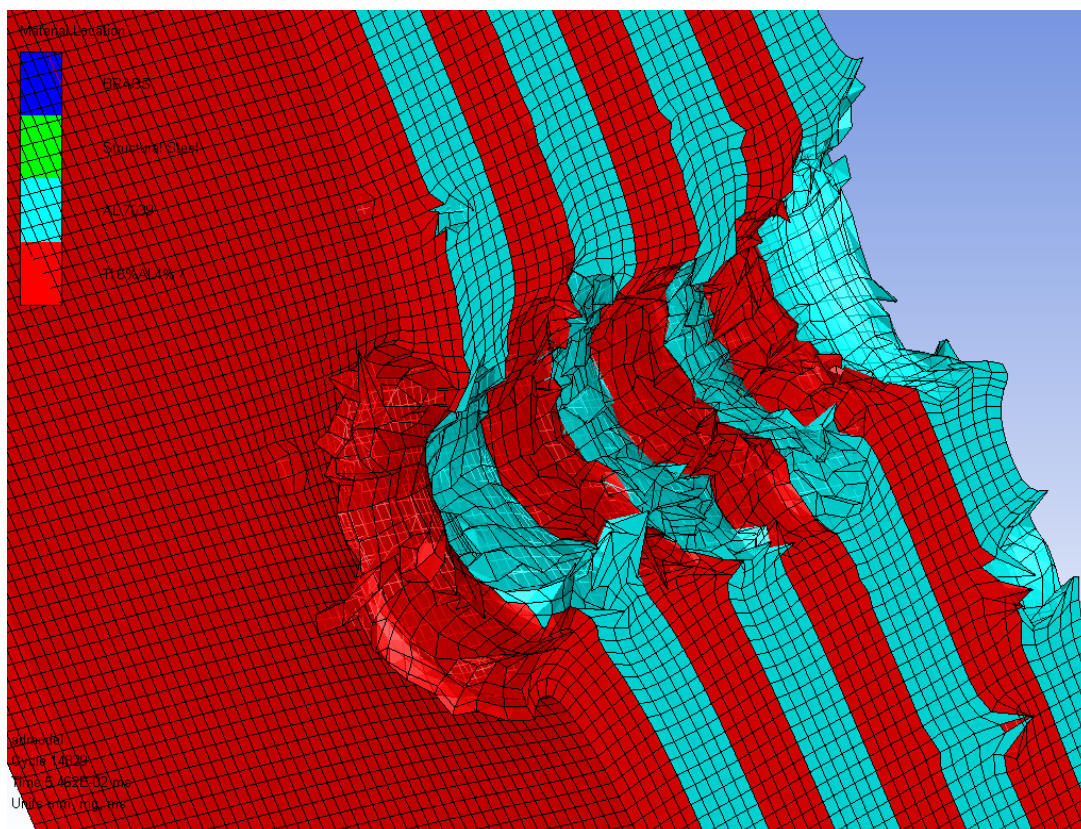
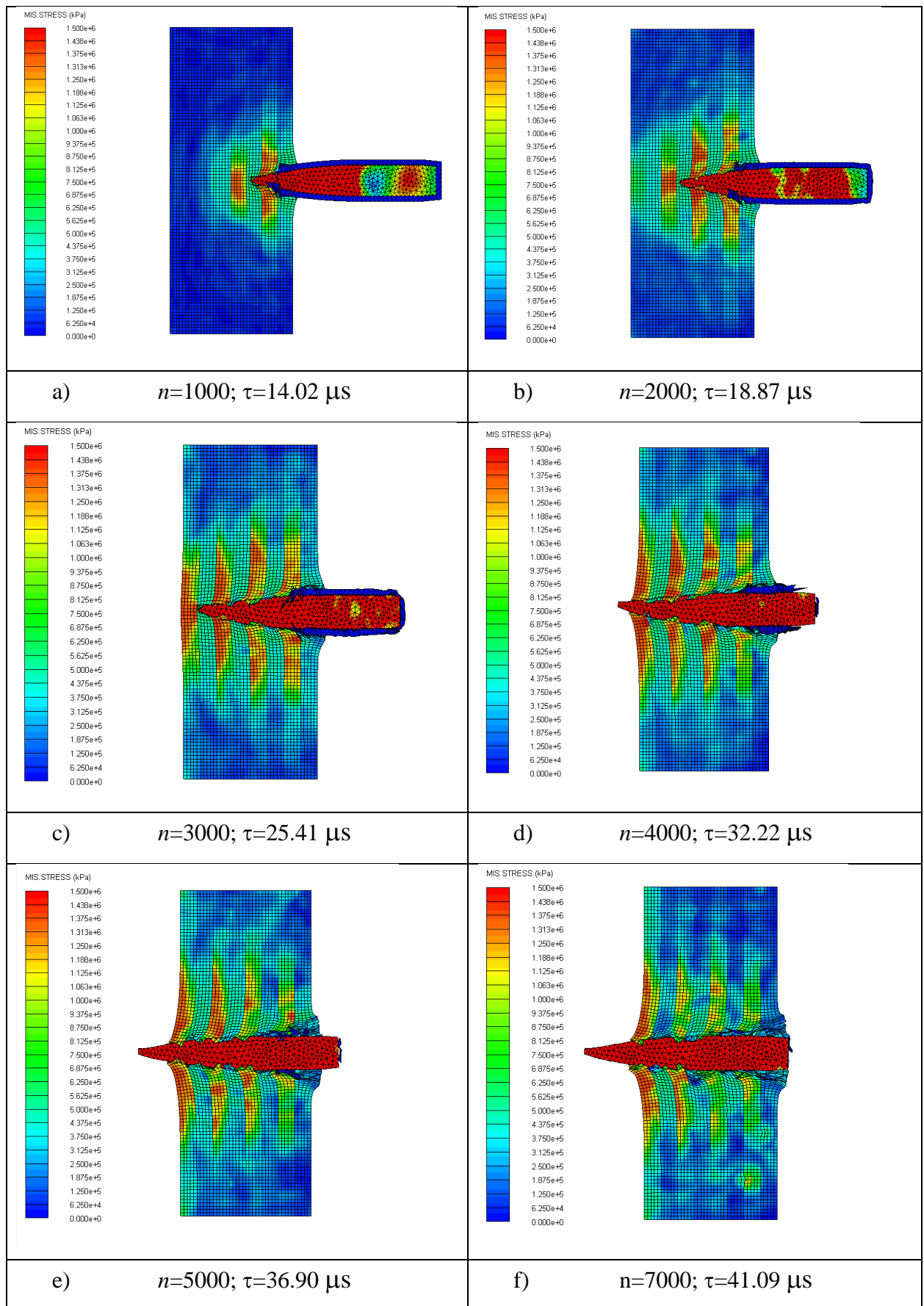


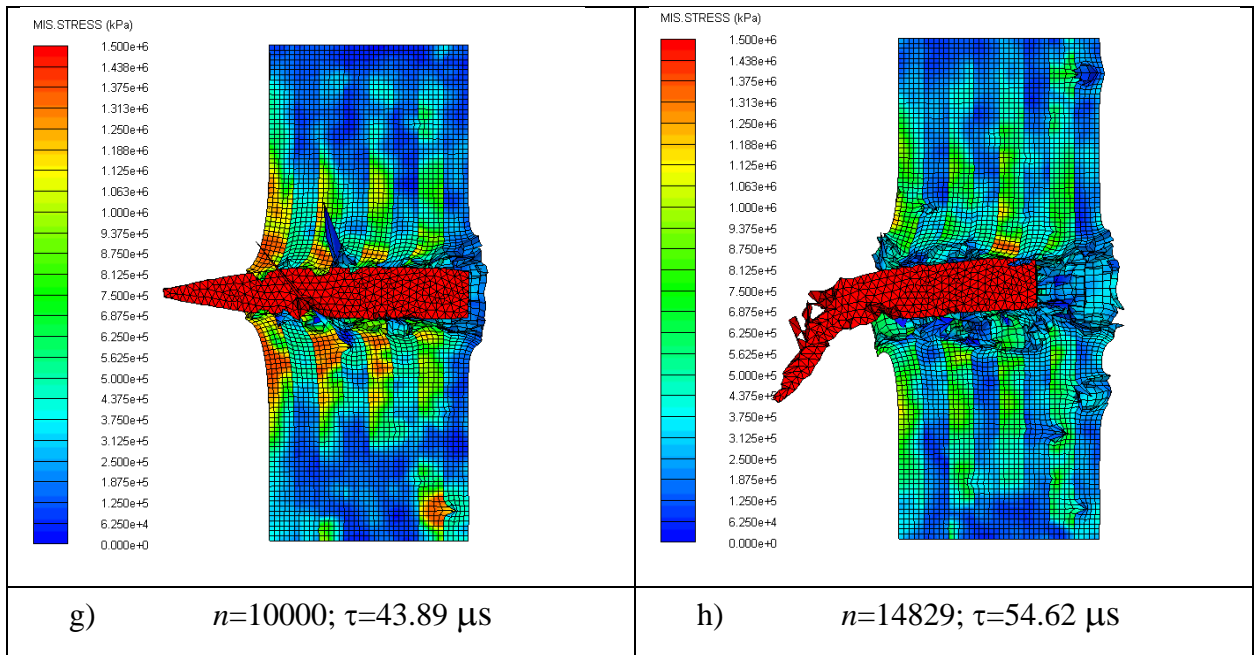
Рис.3.6 – Вихідний отвір та епіцентр влучання бронебійної кулі 5.45x27 мм у КМ СМ 22; 3D вигляд на осесиметричну постановку. $\tau=54.62 \mu\text{s}$

Моделювання СМ 22 характеризується рівномірністю розподілення напружень та задовільною якістю протікання процесу ерозії матеріалу (до $\tau \approx 41 \mu\text{s}$ включно). Розшарування матеріалу під час і після влучання кулі не виникнули

Таблиця 3.5 - результат моделювання влучання кулі калібром 5.45x27

мм в КМ СМ 22





Але у загальному вигляді характер поверхні КМ після влучання кулі сильно відрізняється від інших дослідів (рис.3.7).

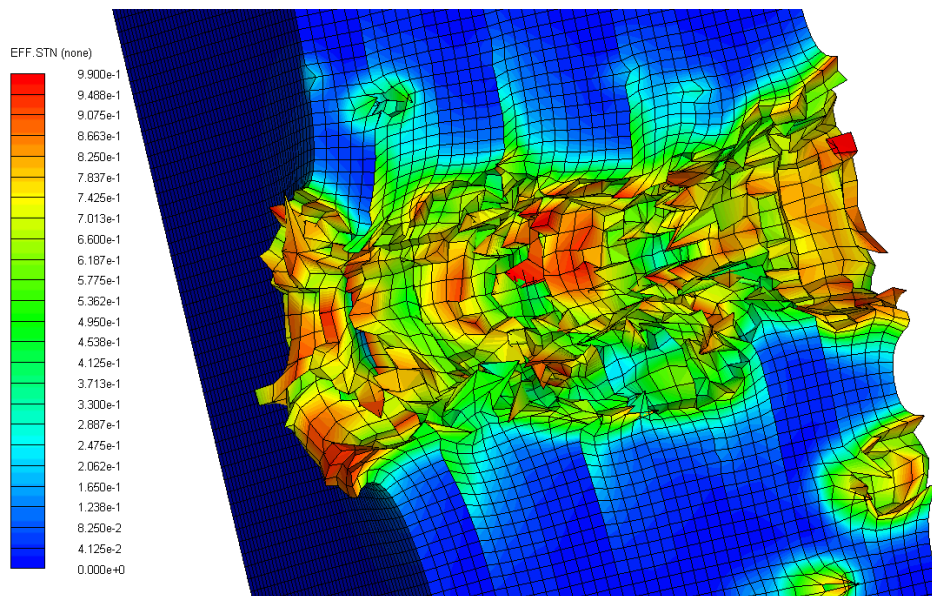


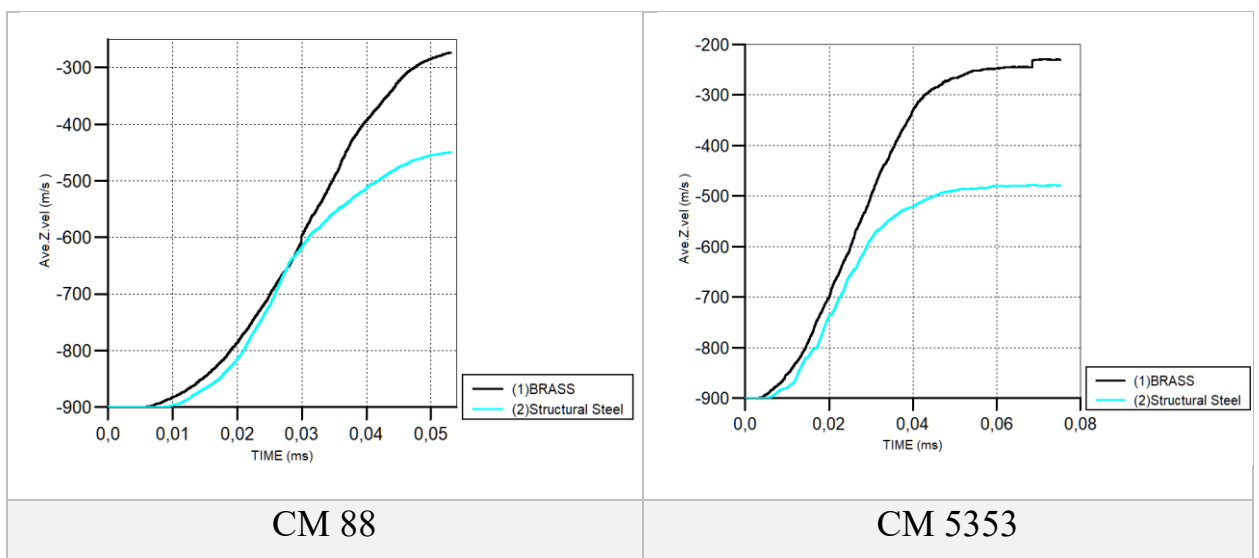
Рис.3.7 – Епіцентр влучання бронебійної кулі калібру 5.45x27 мм у КМ СМ22 (напрямок руху кулі з права на ліво); 3D вигляд осесиметричної постановки. $\tau=54.62 \mu\text{s}$

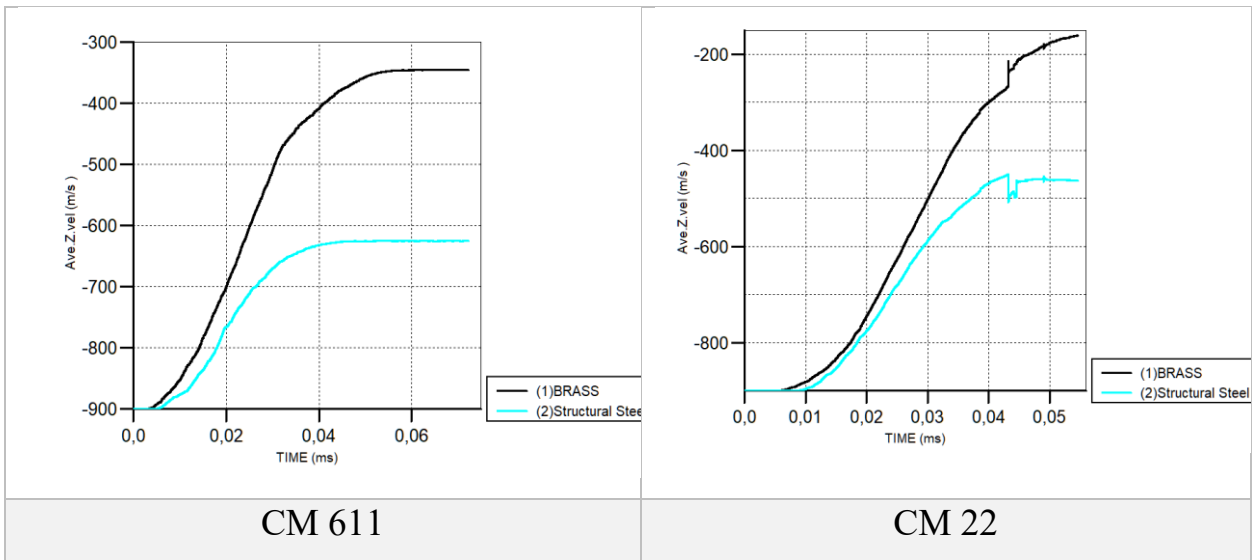
Сітка має деякі нехарактерні руйнування у місцях, де фактичне влучання кулі не відбувалося. Даний ефект не можна присвоїти до результату влучання від вторинних уламків кулі, адже пошкодження присутні і у товщі КМ. Тобто моделювання має задовільний результат тільки у окремі моменти часу – до виникнення накопичення критичних похибок, та утворення деформаційних артефактів сітки.

3.5 Порівняльний аналіз

Встановлено, що максимальна зупиняюча здатність виявилась у СМ 22 та СМ 88, де остаточна швидкість кулі після пробиття становила 450 м/с для СМ 22 і 449 м/с для СМ 88. У загальному вигляді зміни швидкостей усіх компонувань представлені у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Графіки залежності зміни швидкості кулі (матеріалів кулі) за часом.





CM 611 очікувано продемонстрував найслабший результат очевидно за рахунок значно меншої кількості титану у складі КМ, а значить і значно меншого впливу на зупиняючу здатність. Це підтверджується графіком зміни швидкості бронейної серцевини в порівнянні з іншими КМ.

Отримані результати мають принципову відповідність до результатів в роботі [10], але однозначної переваги при використанні більшої кількості шарів у КМ для виконання завдання кулестійкості немає.

Проведений експеримент має у своїй основі ряд параметрів, що потребують корегування на уточнення. Такий висновок можна зробити з коректності зміни кінетичної енергії на рис.3.8, де спостерігаються деякі спотворення та похибки при сповільненні кулі до ≈ 650 м/с. Подібний результат можливо пояснити неточними значеннями і параметром закону, що описує пластичну деформацію.

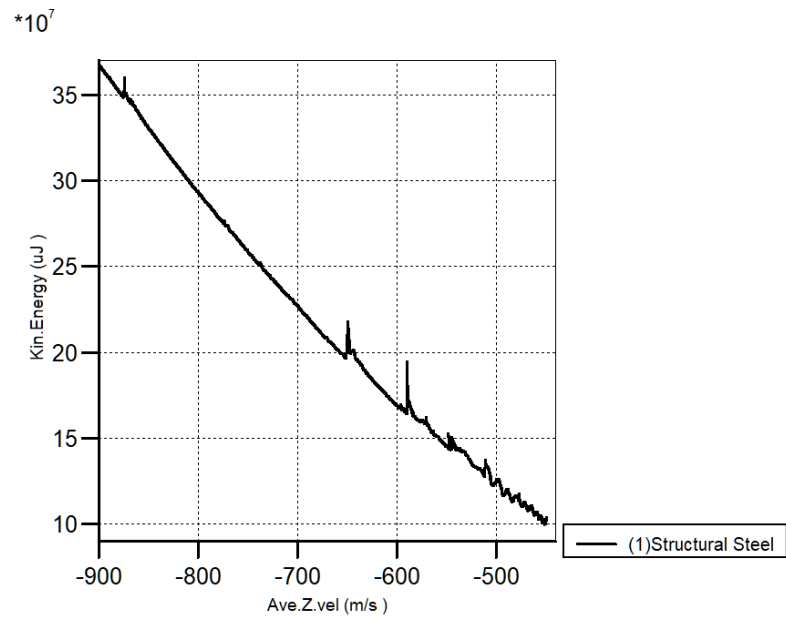


Рис.3.8 -Графік залежності зміни кінетичної енергії броньбійної серцевини за зміною швидкості для СМ 88

Але враховуючи результат отриманий для СМ 88, для СМ 5353 характер похибки виражений менше (рис.3.9). Можливо це є результатом зазначеного вище параметру будови СКЕ з використанням опції побудування автоматичної товщини сітки.

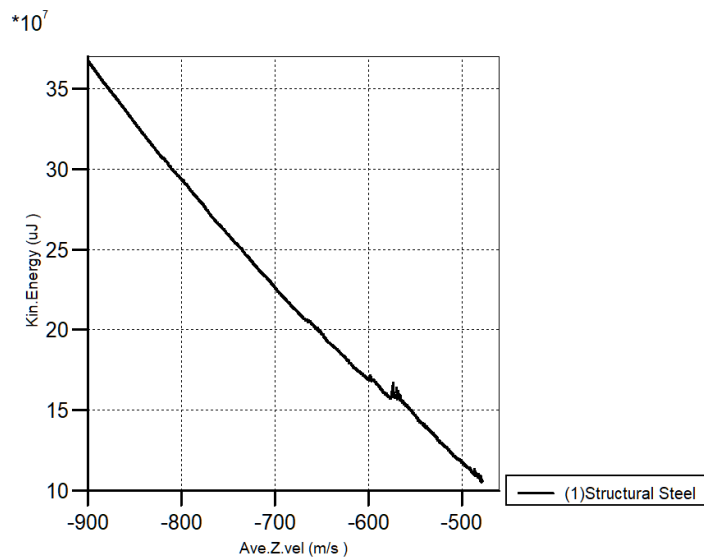


Рис.3.9 -Графік залежності зміни кінетичної енергії броньбійної серцевини за зміною швидкості для СМ 5353

Зважаючи на вище сказане, імпульс для всієї системи зберігається вірним, що ще раз зважає на необхідності внесення необхідних правок до фізичної моделі (рис.3.10).

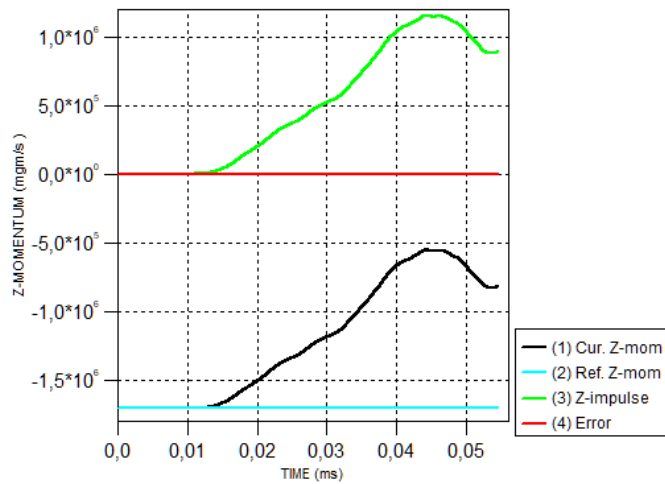


Рис.3.10 – графік зміни моменту імпульсу для системи СМ 22

4. ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

В розділі надана інформація щодо правил поводження з вогнепальною зброєю, та заходи з охорони праці при виконанні аналітичних досліджень та моделювань композиційних матеріалів.

Наступна інформація є загальним положенням, щодо техніки використання та поводження з вогнепальною зброєю [23]:

4.1 Інструкція із заходів безпеки при поводженні зі зброєю

Загальні положення

1. Ця Інструкція визначає систему заходів, спрямованих на забезпечення особистої безпеки працівників БЕБ та територіальних управлінь БЕБ, яким надано право застосовувати спеціальні засоби і вогнепальну зброю відповідно до Закону України «Про Бюро економічної безпеки України», запобігання загибелі, пораненням і травмуванню їх та інших осіб під час поводження із вогнепальною зброєю (далі - зброя).

2. Вимоги цієї Інструкції поширюються на осіб, які мають спеціальні звання Бюро економічної безпеки України, крім працівників інформаційно-аналітичного підрозділу (далі - особи, які мають спеціальні звання БЕБ).

3. Забезпечення особистої безпеки осіб, які мають спеціальне звання БЕБ, при поводженні зі зброєю є складовою частиною службової діяльності БЕБ і здійснюється під час:

- вивчення матеріальної частини зброї, навчання правил та порядку її застосування і використання, заходів безпеки при поводженні зі зброєю

і влучній стрільбі в закладах (установах) та за місцем служби в системі службової підготовки;

- закріплення за особами, які мають спеціальне звання БЕБ вогнепальної зброї;
- отримання і здачі зброї в черговій службі БЕБ;
- виконання службових обов'язків особами, які мають спеціальне звання БЕБ з протидії злочинності;
- проведення навчально-тренувальних та практичних стрільб;
- постійного зберігання та носіння вогнепальної зброї і боєприпасів особами, які мають спеціальне звання БЕБ;
- чищення зброї;
- вилучення зброї та боєприпасів;
- перевірок наявності та організації зберігання зброї і боєприпасів.

4. Основні правила дотримання заходів безпеки при поводженні зі зброєю:

- Безпека при стрільбі забезпечується точним виконанням вимог, що встановлені цією Інструкцією, а також правильною організацією практичних стрільб та дисциплінованістю їх учасників;
- особи, які мають спеціальне звання БЕБ, повинні знати та точно виконувати встановлені цією Інструкцією заходи безпеки при поводженні зі зброєю та боєприпасами.

5. Вогнепальна зброя закріплюється за особами, які мають спеціальне звання БЕБ та відповідно до Законів України «Про Бюро економічної безпеки України», «Про Національну поліцію» уповноважені застосувати зброю та спецзасоби, які склали заліки із знання матеріальної частини зброї, порядку і правил її застосування, заходів безпеки при поводженні з нею та виконали практичні вправи зі стрільби.

6. Особи, які мають спеціальні звання БЕБ, за якими закріплена вогнепальна зброя, зобов'язані:

- знати та точно виконувати вимоги, встановлені цією Інструкцією;
- забезпечити зберігання зброї і підтримувати її у справному та змащеному стані;
- отримавши вогнепальну зброю та боєприпаси, діяти відповідно до вимог, передбачених розділами III, IV цієї Інструкції;
- під час виконання службових обов'язків, проведення практичних стрільб постійно контролювати наявність отриманої зброї (боєприпасів) та не допускати випадіння її або витягування з кобури (спеціального спорядження) іншими особами;
- здати зброю і боєприпаси до чергової служби БЕБ негайно після виконання службових обов'язків. У разі неможливості своєчасного прибуття до органу БЕБ повідомити про це безпосереднього керівника і далі діяти за його наказом.

7. Перевірка у осіб, які мають спеціальне звання БЕБ, рівня знань із заходів безпеки при поводженні зі зброєю відображається у внутрішніх документах БЕБ та проводиться, зокрема:

- перед закріпленням вогнепальної зброї;
- під час інструктажів осіб, які мають спеціальне звання БЕБ, перед заступанням на службу, виконанням службових обов'язків, пов'язаних із можливим застосуванням або використанням зброї;
- під час перевірки несення служби особами, які мають спеціальне звання БЕБ;
- перед проведенням практичних стрільб.

8. Категорично забороняється:

- виймати зброю (боєприпаси) з кобури (спеціального спорядження, підсумка) без потреби;
- тримати палець на спусковому гачку без необхідності;
- знімати запобіжник з положення «запобігання» у всіх випадках, не пов'язаних зі стрільбою;

- закривати або затикати сторонніми предметами канал ствола, що при пострілі може призвести до його роздуття чи розриву;
- безпідставно спрямовувати ствол зброї у бік людей, транспорту, будинків, інших будівель та споруд. За необхідності зброя спрямовується на поверхню, яка в змозі прийняти кулю, наприклад: на землю, стовбур дерева, кулеуловлювач або вгору під кутом 45-60 градусів;
- залишати зброю без нагляду, а також передавати її іншим особам;
- користуватися без необхідності чужою зброєю та/або зброєю, навички поводження з якою відсутні;
- проводити чищення зброї у невідведених для цього місцях, змащувати її бензином та іншими легкозаймистими речовинами, а також абразивними матеріалами, допускати наявність відкритого полум'я під час її чищення;
- при поводженні з боеприпасами допускати їх пошкодження, забруднення тощо.

4.2 Інструктаж з питань дотримання заходів безпеки при поводженні зі зброєю

1. Види інструктажів з питань дотримання заходів безпеки при поводженні зі зброєю:

- первинний інструктаж;
- цільовий інструктаж.

2. Первинний інструктаж проводиться з особами, які мають спеціальне звання БЕБ, які щойно призначені на посади до БЕБ, завданнями і функціями яких передбачено можливе застосування спеціальних засобів та вогнепальної зброї.

3. Згідно з орієнтовним переліком питань первинного інструктажу, до цієї Інструкції, такий інструктаж проводить уповноважена особа, визначена наказом БЕБ, наказом територіального управління БЕБ.

4. Цільовий інструктаж проводиться з особами, які мають спеціальне звання БЕБ, перед:

- виконанням службових завдань, пов'язаних із можливим застосуванням або використанням зброї;
- проведенням практичних стрільб;
- відрядженням з вогнепальною зброєю.

5. Цільовий інструктаж проводять:

- особи, передбачені пунктом 3 цього розділу;
- керівник стрільб.

Цільовий інструктаж завершується перевіркою рівня знань, а саме: усним опитуванням знання матеріальної частини зброї, правил та порядку її застосування і використання, заходів безпеки при поводженні з нею, основ, правил і прийомів стрільби, а також перевіркою набутих навичок безпечного поводження зі зброєю. Рівень знань перевіряє особа, яка проводила інструктаж.

6. Запис про проведення первинного (цільового) інструктажу робить особа, яка його проводила, у журналі реєстрації інструктажів з питань дотримання заходів безпеки при поводженні зі зброєю, форма якого наведена у додатку 2 до цієї Інструкції (далі - журнал).

Журнал має бути прошнурований, пронумерований, скріплений печаткою, зареєстрований у відповідному підрозділі та зберігатися в черговій службі БЕБ.

4.3 Порядок дій та заходи безпеки при поводженні з вогнепальною зброєю і боєприпасами під час їх отримання та здачі до чергової служби

1. Видача зброї та боєприпасів особам, які мають спеціальне звання БЕБ, здійснюється черговою службою. Отримавши вогнепальну зброю і боєприпаси, особи, які мають спеціальні звання БЕБ, здійснюють їх огляд та зобов'язані:

- спрямувати ствол зброї в напрямку кулеуловлювача, при цьому вказівний палець повинен знаходитися на спусковій скобі;
- перевірити відсутність магазину, наявність патрона в патроннику (зняти зброю із запобіжника, відвести затвор (затворну раму з газовим поршнем) у заднє положення, поставити його на затворну затримку (утримувати затворну раму з газовим поршнем у задньому положенні) та оглянути патронник);
- переконавшись у відсутності патрона у патроннику повернути затвор у переднє положення (відпустити затворну раму з газовим поршнем);
- здійснити спуск курка з бойового взводу в напрямку кулеуловлювача;
- ввімкнути запобіжник;
- перевірити кількість та стан отриманих патронів та самостійно спорядити ними магазини;
- помістити запасний магазин (магазини) до кишені кобури (спеціального спорядження, підсумку для магазинів, розвантажувального жилета);
- приєднати пістолет до пістолетного ремінця та помістити до кобури (спеціального спорядження), після чого, не виймаючи його, вставити основний магазин в основу рукоятки (приєднати

основний магазин до ствольної коробки та помістити автомат у положення «на ремінь», «на груди», «за спину», «на плече»).

2. При огляді зброї особи, які мають спеціальне звання БЕБ, зобов'язані перевірити:

- відповідність номерів на затворі, запобіжнику та магазинах номеру на рамці пістолета (відповідність номерів на ствольній коробці, затворній рамі з газовим поршнем номеру на кришці ствольної коробки автомата);
- відсутність на металевих частинах зброї нальоту, іржі, бруду, подряпин, тріщин;
- справність частин зброї;
- стан утримання магазину в основі рукоятки (ствольної коробки);
- чистоту каналу ствола.

3. У разі виявлення несправностей зброї їх необхідно терміново усунути. Якщо в БЕБ самотійно не можуть бути усунені несправності, зброя направляється до ремонтної майстерні. На час ремонту зброї за особою, яка має спеціальне звання БЕБ, закріплюється інша (резервна) зброя.

4. При огляді патронів особи, які мають спеціальне звання БЕБ, зобов'язані перевірити:

- відсутність на гільзах іржі й зеленого нальоту, особливо на капсулі, ум'ятин, подряпин, що перешкоджають входженню патрона до патронника;
- чи не витягується куля з гільзи рукою, чи не виступає капсуль вище поверхні дна гільзи. Патрони з такими дефектами повинні бути відібрані і здані до чергової частини органу (закладу, установи) БЕБ;
- відсутність навчальних патронів серед бойових.
- Якщо патрони забруднені, вкриті незначним зеленим нальотом або іржею, їх необхідно витерти сухою чистою ганчіркою.

5. Вогнепальна зброя і боєприпаси після виконання службових обов'язків або в разі відсутності потреби негайно здаються на зберігання до чергової служби БЕБ. Про необхідність здачі зброї та боєприпасів особами, які мають спеціальне звання БЕБ, уповноважена особа, визначена наказом БЕБ (наказом територіального управління БЕБ) повідомляє оперативного чергового, який їх приймає.

6. З дозволу оперативного чергового під контролем уповноваженої особи БЕБ особи, які мають спеціальне звання БЕБ, по одному заходять до спеціально обладнаної кімнати чергової частини для здачі зброї та боєприпасів, проводять розряджання зброї і здають її та боєприпаси оперативному черговому.

7. Розряджання зброї проводиться біля кулеуловлювача, при цьому ствол зброї повинен бути спрямований в його напрямку. При розряджанні зброї необхідно:

- не виймаючи пістолет з кобури, витягти магазини з основи рукоятки і з кишені кобури (не змінюючи положення автомата, від'єднати основний магазин та вийняти з підсумка запасний);
- самостійно вийняти патрони з магазинів, перевірити їх кількість та стан;
- від'єднати пістолет від пістолетного ремінця та дістати його з кобури (спеціального спорядження) (зняти автомат з положення «на ремні», «на грудях», «на плечі»);
- перевірити наявність патрона в патроннику (вимкнути запобіжник, відвести затвор (затворну раму з газовим поршнем) у заднє положення, поставити його на затворну затримку (утримувати затворну раму з газовим поршнем у задньому положенні) та оглянути патронник);
- переконавшись у відсутності патрона в патроннику, повернути затвор у переднє положення (відпустити затворну раму з газовим поршнем);

- здійснити спуск курка з бойового взводу в напрямку кулеуловлювача;
- ввімкнути запобіжник.

8. При прийманні від осіб, які мають спеціальне звання БЕБ, вогнепальної зброї і боєприпасів оперативний черговий звіряє їх номери і кількість, візуально перевіряє їх стан (змащення), розкладає по встановлених для зберігання шафах та місцях.

9. Про факти втрати (затримки із здачею) вогнепальної зброї і боєприпасів особами, які мають спеціальне звання БЕБ, оперативний черговий доповідає в установленому порядку Директору БЕБ (заступнику директора БЕБ), керівнику територіального управління БЕБ (заступнику керівника) і далі діє відповідно до законодавства.

4.4 Заходи безпеки при поводженні з вогнепальною зброєю під час несення служби

1. Вогнепальна зброя та боєприпаси до неї видаються особам, які мають спеціальне звання БЕБ, під особисту відповідальність, вони зобов'язані берегти і підтримувати в належному стані передану їм в користування вогнепальну зброю (боєприпаси) та обачливо поводитися з нею (ними) відповідно до вимог цієї Інструкції.

2. Уповноважена особа під час проведення інструктажу наряду, що заступає на службу, в обов'язковому порядку перевіряє знання особами, які мають спеціальне звання БЕБ, матеріальної частини виданої їм зброї, правил та порядку її застосування і використання, заходів безпеки при поводженні з нею, а під час перевірок несення служби особами, які мають спеціальне звання БЕБ, перевіряє наявність у них зброї (боєприпасів) та дотримання правил її носіння.

3. У однострої необхідно пістолет носити в кобурі з пістолетним ремінцем на надійно застебнутому поясному ремені, при цьому кобура повинна знаходитися спереду, з лівого або правого боку; автомат носити на автоматному ремені в положенні «на плечі», «на грудях», «на ремні», «за спиною».

4. У цивільному одязі зброю необхідно носити на спеціальному спорядженні з дотриманням заходів запобігання її випаданню або витягуванню іншими особами.

5. Під час несення служби особами, які мають спеціальне звання БЕБ, слід постійно контролювати наявність отриманої зброї, а саме:

- перед застосуванням заходів фізичного впливу, спеціальних засобів, подоланням перешкод, якщо пістолет був оголений, необхідно увімкнути на ньому запобіжник, покласти в кобуру (спеціального спорядження) та вжити заходів, які б унеможливили його втрату;
- після застосування заходів фізичного впливу, спеціальних засобів, подолання перешкод, падіння, виходу з місця значного скупчення людей, міського та іншого транспорту слід негайно перевірити наявність зброї, а також стан кобури (спеціального спорядження, автоматного ремня).

6. Під час несення служби категорично забороняється:

- проводити розбирання зброї;
- вимикати запобіжник, досилати патрон до патронника, якщо в застосуванні чи використанні зброї немає необхідності. Недбале або необережне поводження зі зброєю, особливо якщо патрон знаходиться в патроннику, може призвести до випадкового пострілу;
- від'єднувати магазин від зброї та виймати з нього патрони.

4.5 Заходи безпеки при поводженні зі зброєю під час проведення навчально-тренувальних стрільб

1. Організація і проведення з особами, які мають спеціальне звання БЕБ, навчально-тренувальних стрільб здійснюються відповідно до вимог діючого законодавства України.

2. Безпека при проведенні стрільб забезпечується їх чіткою організацією, безумовним виконанням заходів безпеки та високим станом дисципліни.

3. Керівник стрільб (інструктор з особистої безпеки) перед кожним практичним заняттям з використанням зброї перевіряє рівень знань у осіб, що мають спеціальне звання БЕБ, матеріальної частини зброї, правил та порядку її застосування і використання, заходів безпеки при поводженні з нею.

Особи, які мають спеціальне звання БЕБ, що не засвоїли правил та порядку застосування і використання зброї, заходів безпеки при поводженні з нею, до проведення стрільб не допускаються.

4. Перед початком стрільб ретельно оглядається територія стрільбища (тиру). У разі проведення стрільб на стрільбищі виставляється наглядач, наряд оточення та призначається старший наряду оточення. За необхідності призначаються показувачі мішеней, у яких керівник стрільб обов'язково перевіряє знання заходів безпеки та їх обов'язків, після чого старший наряду оточення та показувачі мішеней розводяться по місцях виконання обов'язків і перевіряється зв'язок з ними.

5. При виконанні вправ зі стрільби, які передбачають поворот, розворот, перекид, стрибки до моменту відкриття вогню, зброя повинна знаходитись на запобіжнику.

6. При пересуванні під час виконання вправ зі стрільби, у паузах між пострілами (у необмежений час) зброя повинна бути спрямована в сторону

мішеней, а вказівний палець знаходиться на спусковій скобі чи затворі (затворній рамі з газовим поршнем).

7. Дозвіл на відкриття вогню дає виключно керівник стрільб. Вести вогонь у тирі (на стрільбищі) дозволяється тільки після команди «Вогонь!» («Старт!»). Стрільба зупиняється за командою «Відбій!» («Стоп!» або «Стій! Припинити вогонь!»). У період від команди «Відбій!» до команди «Вогонь!» будь-кому забороняється перебувати на рубежі відкриття вогню, підходити та торкатися зброї і боеприпасів, що там знаходяться.

8. Під час проведення навчально-тренувальних стрільб використовуються протишумові навушники, захисні окуляри та засоби бронезахисту (шолом, бронежилет).

9. Ведення вогню повинно бути терміново припинено кожним стріляючим самостійно або за командою керівника стрільб у випадках:

- появи людей, машин, тварин у зоні ведення вогню, низько літаючих літальних апаратів над районом проведення стрільб;
- підняття білого прапора (у темну пору доби - увімкнення світла ліхтаря білого кольору) на командному пункті чи бліндажі (укритті), подачі сигналу ракети білого кольору;
- виникнення пожежі під час стрільби;
- втрати орієнтира під час проведення стрільб в темну пору доби.

10. Під час виконання вправи зі стрільби категорично забороняється:

- заряджати зброю бойовими чи холостими патронами без команди керівника стрільб;
- виймати зброю з кобури (чохла) без дозволу керівника стрільб;
- спрямовувати зброю (незалежно від того, заряджена вона чи ні) у бік людей та місця, де вони можуть перебувати;
- відкривати вогонь без команди керівника стрільб, у небезпечних напрямках, з несправної зброї та коли піднято білий прапор (увімкнено світло ліхтаря білого кольору) на командному пункті;

- одягати, поправляти та знімати протишумові навушники і захисні окуляри зі зброєю в руках, а також після команди «Вогонь!» («Старт!»);
- залишати зброю (боєприпаси) на рубежі відкриття вогню та передавати іншим особам без дозволу керівника стрільб.

4.6 Орієнтований перелік питань первинного інструктажу

1. Особливості несення служби особами, які мають спеціальне звання БЕБ.

2. Основні положення Закону України «Про Національну поліцію», які регламентують застосування особами, які мають спеціальне звання БЕБ заходів фізичного впливу (сили), спеціальних засобів і вогнепальної зброї, а також дотримання правил поведження зі зброєю, а саме:

- 1) правові підстави застосування особами, які мають спеціальне звання БЕБ заходів фізичного впливу (сили), спеціальних засобів і вогнепальної зброї;
- 2) гарантії особистої безпеки озброєної особи, яка має спеціальне звання БЕБ;
- 3) заходи безпеки при поводженні з вогнепальною зброєю під час отримання та здачі зброї і боєприпасів до відділу систематизації інформації Координаційно-моніторингового управління БЕБ (ТУ БЕБ), під час несення служби, проведення практичних стрільб.

3. Кількість фактів незаконного застосування та використання зброї, порушення вимог заходів безпеки при поводженні з нею особами, які мають спеціальне звання БЕБ за минулий та поточний роки, а саме навести конкретні приклади, обставини і причини таких випадків, наслідки таких дій (кількість загинувших і поранених від цього осіб, які мають спеціальне звання БЕБ та інших осіб).

4. Порядок службових розслідувань фактів незаконного застосування або використання зброї.

5. Відповідальність за порушення заходів безпеки при поводженні зі зброєю та незаконне її застосування або використання.

6. Кількість випадків отримання особами, які мають спеціальне звання БЕБ тілесних ушкоджень під час несення служби. Основні обставини та причини.

7. Надання домедичної допомоги громадянам, життю та здоров'ю яких загрожує небезпека [21].

4.7 Аналіз потенційних техногенних небезпек

а) небезпеки, що пов'язані з порушеннями роботодавцями вимог НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників», а саме [24]:

- вимог, які висуваються щодо облаштування робочих зон. Це може бути пов'язано з незадовільним станом устаткування, захисних пристроїв, аварійний стан приміщення, відсутність схем евакуації, захаращеність аварійних виходів;

б) недостатність професійної підготовка фахівця. Це обумовлено недостатнім рівнем знань за фахом, відсутність знань з технологічної та експлуатаційної документації. Недостатність цих знань може призвести до аварійних ситуацій;

с) можливість ураження електричним струмом при виконанні службових обов'язків. Що може статися внаслідок порушення правил з електробезпеки, несправності енергоспоживчого обладнання, відсутності групових або індивідуальних засобів захисту, що може призвести до електричних травм або летального наслідку;

d) небезпеки які пов'язані із обробкою результатів досліджень із використанням ПК, зокрема ушкодження кістково-м'язового апарату внаслідок довготривалої роботи в однотипній позі, що може призвести до зниження працездатності та розвитку професійних захворювань;

e) незадовільні параметри мікроклімату які повинні відповідати фізіологічним потребам організму працюючих, із врахуванням енергетичних витрат на виконувану роботу згідно з ДСН 3.3.6.042-99 [43];

f) невідповідність вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення» [45]. Освітлення робочих зон дослідницької лабораторії внаслідок виходу з ладу освітлювальних приладів або хибного розрахунку їх кількості та потужності, що може призвести до погіршення зору;

g) можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, які зазначені в НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні», а саме хибне визначення видів та кількості первинних засобів пожежогасіння відносно категорій приміщень с пожежної безпеки, що може привести до пожежі [25];

h) небезпеки, які пов'язані з можливим виникненням надзвичайних ситуацій. Обов'язковим є використання індивідуальних засобів захисту [25].

i) при розташуванні елементів робочого місця користувача ПК до уваги необхідно взяти наступні фактори:

- робоча поза користувача;
- простір, який необхідний для розміщення користувача;
- можливість огляду елементів робочого місця;
- можливість вести записи, розміщення документації і матеріалів, які використовуються. Конструкція робочого місця повинна забезпечувати дотримання оптимальної робочої пози.

4.8 Правила та протоколи обладнання ергономічної та ефективної робочої екосистеми

a) Робочий стіл повинен мати простір для ніг, висота якого повинна бути не менше 600 мм, ширина - не менше 500 мм та глибина – не менше 450 мм.

b) Ноги не треба витягувати далеко вперед, бо м'язи ніг будуть дуже напружені; при положенні «нога на ногу» відбувається підвищення тиску на сідничний нерв що сприяє порушенню кровообігу ніг, таке положення не рекомендується [25].

c) Робоче крісло повинно бути підйомно-поворотним, регулюватися по висоті та мати кут нахилу сидіння та спинки.

d) Висота поверхні сидіння повинна регулюватися в межах 400-500 мм, а ширина та глибина не повинна бути менше 400 мм. Кут нахилу сидіння – до 15 градусів вперед та до 5 градусів – назад.

e) Висота спинки крісла повинна бути 300 ± 20 мм, а ширина – не меншою 380 мм. Кут нахилу спинки повинен регулюватися в межах $1-30^\circ$ від вертикального положення.

f) Відстань від спинки до попереднього краю сидіння має регулюватися в межах 260 – 400 мм.

Щоб зменшити статичне напруження м'язів верхніх кінцівок необхідно використовувати стаціонарні або змінні підлокітники.

g) яскравість монітору на робочій поверхні та навкруги повинна розподілятися рівномірно;

h) різких тіней на робочій поверхні не повинно бути взагалі; г) відблиски в полі зору повинні біти відсутніми;

i) освітленість під час роботи має бути постійною.

j) З метою забезпечення оптимального мікроклімату (температура, вологість, швидкість переміщення і чистота повітря) в приміщені з ПК необхідно передбачити систему вентиляції, кондиціонування та опалення, згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [28].

В таблиці 4.1 норми мікроклімату в приміщеннях з ПК.

Таблиця 4.1 - Норми мікроклімату в приміщеннях з ПК

Пора року	Категорія робіт	Температура повітря, °С, не більше	Відносна вологість	Швидкість руху повітря, м/с
Холодна	Легка - 1а	22-24	40-60	0,1
	Легка – 1б	21-23	40-60	0,1
Тепла	Легка – 1а	23-25	40-60	0,1
	Легка – 1б	22-24	40-60	0,2

Для підтримання оптимального мікроклімату влітку використовуються побутові кондиціонери.

Вибираючи систему для вентиляції, враховується те, що в приміщенні з комп'ютерною технікою необхідно забезпечити 3-х кратний повітрообмін за годину.

Склад позитивних й негативних іонів у повітрі наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Рівні іонізації повітря приміщення, де є комп'ютерна техніка

Рівні іонізації повітря	Кількість іонів в 1 см ³ повітря	
	n ⁺	n ⁻
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально допустимі	50000	50000

Для підтримання оптимального рівня позитивних і негативних іонів у повітрі в приміщенні, яке обладнане комп'ютерною технікою, рекомендується використовувати біполярні коронні аероіонізатор;

к) приміщення, яке обладнане ПК з ВДТ повинне мати природне та штучне освітлення. Недостатнє освітлення може серйозно знизити продуктивність роботи користувачів ПК, це виявляється швидкою стомлюваністю, та може призвести до короткозорості.

Вимоги до природного та штучного освітлення приміщень, обладнаних ПК з ВДТ, визначаються згідно ДБН В.2.5-28-2018 [27]. Природне освітлення повинно здійснюватися через світлові прорізи, переважно орієнтуватися на північ або північний схід та забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не менше 1,5%. В приміщенні з ПК штучні освітлення здійснюються системами загального рівномірного освітлення.

л) Обладнання повинне бути виконане з важко горючих й не горючих матеріалів. На ділянці повинні бути протипожежні перешкоди з не горючих матеріалів у вигляді стін й перекрить, отворів(двері, вікна) в таких перекриттях теж негорючі. Підлога на ділянці повинна бути покрита металевими щитами для перешкоди розповсюдження пожежі. На ділянці повинне бути спеціально відведене місце для паління. В приміщеннях повинні бути встановлені сигналізації, евакуаційні виходи, засоби пожежної боротьби. На території цеху повинні бути розташовані пожежні щити з відрами, ломами [26].

Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Параметри мікроклімату і чистоти повітря визначаються згідно вимог ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [25], в залежності від категорії фізичних робіт, для певних робочих місць (постійних і непостійних).

Постійне робоче місце – це місце, на якому працівник знаходиться більше 50% робочого часу чи понад дві години безперервно. Якщо роботи виконуються в різних частинах робочої зони, постійним робочим місцем є вся площа.

Непостійне робоче місце – місце, де працівники перебувають менше 50% робочого часу або менше двох годин безперервно.

Необхідно враховувати, що (ГОСТ 12.4.021-75):

- для постійного робочого місця необхідно визначити оптимальний та допустимий мікроклімат в холодну та теплу пору року;
- для непостійного робочого місця необхідно визначити лише допустимий мікроклімат;
- в холодну пору року на постійному робочому місці: оптимальною температурою є - 18-20 °С, допустимою - 17-23 °С; оптимальною відносною вологістю - 40-60 %, допустимою - 75 %; оптимальною швидкістю переміщення повітря - не більше 0,2 м/с, допустимою - не більше 0,3 м/с;
- в холодну пору року на непостійному робочому місці допустимою температурою є - 15-24°С; допустимою відносною вологістю - 75%; допустимою швидкістю переміщення повітря - не більше 0,3 м/с;
- в теплу пору року на постійному робочому місці: оптимальною температурою є - 21-23°С, допустимою - 18-27 °С; оптимальною відносною вологістю - 40-60%, допустимою - 40-60%; швидкістю переміщення повітря оптимальною буде - не більше 0,3 м/с, допустимою - не більше 0,2-0,4 м/с;
- в теплу пору року на непостійному робочому місці допустимою температурою є - 17-29°С; допустимою відносною вологістю є - 65% при температурі 26°С; допустимою швидкістю переміщення повітря є 0,2-0,4 м/с.

Згідно вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [28]. Визначаються оптимальні склад та тип системи вентиляції, кондиціонування й опалення, які підтримують передбачені параметри мікроклімату та чистоти повітря.

Згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [28]. Для опалення виробничих приміщень передбачена система центрального опалення, за допомогою повітряних опалювальних установок.

Для захисту від шкідливих газів, паро- та пило-виділень передбачається обладнання місцевої витяжної вентиляції для відводу отруйних речовин. Місцеві вентиляційні відводи влаштовують конструктивно-вбудованими та зблокованими з обладнанням так, що агрегат не можна запустити при вимкненій витяжці (ГОСТ 12.4.021-75).

При роботі з токсичними та забруднюючими речовинами використовується спецодяг – комбінезон, халат та фартух (ГОСТ 12.4.016-83); для запобігання лугів і кислот – гумове взуття та рукавички (ГОСТ 12.4.103-83); для захисту рук, обличчя та шиї застосовуються захисні пасти: антитоксичні, маслостійкі та водостійкі; окуляри оснащені герметичною оправою, маски й шоломи використовують для захисту очей від можливих опіків та подразнень (ГОСТ 12.4.020-82); щоб захистити органи дихання необхідно використовувати фільтруючі й ізолюючі прилади (протигази та респіратори) (ГОСТ 12.4.004-74).

Розрахунок освітлення є основою проектування освітлювального обладнання. Основне завдання розрахунку - визначити величини, які необхідні для світлового потоку світильників щоб забезпечити нормоване значення мінімального освітлення робочої площини.

Беручи до уваги прямий світловий потік освітлювального обладнання та світло, яке відбивається від стін та стелі, більш точний метод розрахунку прямого світлового потоку світильників є метод світлового потоку. Він дає

зможу визначити оптимальну кількість ламп й потужність освітлювальної установки.

Нормоване значення освітленості (E_n) – 1500 лк. У якості джерел штучного освітлення використовують люмінесцентні лампи ЛБ: потужність - 30 Вт, світловий потік лампи – 2180 лм, довжина лампи – 0,9 м. Клас світильника за світлорозподілом – прямого світла, доля світлового потоку світильника, яка спрямована у нижню півсферу – понад 80%.

Коефіцієнт запасу k_z враховує зменшення рівня освітленості з часом в результаті забруднення та старіння ламп, світильників і поверхонь приміщення 1,4 -1,7.

Коефіцієнт нерівномірності (мінімального) освітлення з співвідношення середньої освітленості до мінімальної освітленості дорівнює: $z = 1,1$

Розглянемо приміщення з незначним пиловиділенням, тому: $r_c = 50\%$; $r_{ст} = 30\%$; $r_{п} = 10\%$; Визначимо чисельне значення індексу приміщення за рівнянням 4.1:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{18 \cdot 10}{2,4(18+10)} = \frac{180}{67,2} = 2,7 \quad (4.1)$$

де A – довжина приміщення, м; B – ширина приміщення, м; h – висота розміщення світильників над робочою поверхнею, м.

Розрахуємо кількість рядів світильників у приміщенні 4.2:

$$N_p = \frac{B}{(H-h_p)[L/h]} = \frac{10}{(3,5-0,8) \cdot 1,4} = 3 \quad (4.2)$$

Визначимо максимально припустиму відстань між рядами світильників за формулою 4.3:

$$L_{max} = \frac{B}{Np} = \frac{10}{3} = 3,3 \text{ м} \quad (4.3)$$

Висота підвісу світильника над робочою поверхнею 4.4:

$$h = \frac{L_{max}}{[L/h]} = \frac{3,3}{1,4} = 2,4 \text{ м} \quad (4.4)$$

Висота звисання світильника від стелі 4.5:

$$h_3 = H - h_p - h = 3,5 - 0,8 - 2,4 = 0,3 \text{ м} \quad (4.5)$$

де H – висота виробничого приміщення, м; h_p – висота робочої поверхні над підлогою, м; h_3 – висота звисання світильника від стелі, м.

Згідно розрахунків типу світильника, виду джерела світла та коефіцієнту відбиття поверхонь приміщення та індексу приміщення коефіцієнт використання світлового потоку η дорівнює 58.

Щоб визначити світловий потік лампи та загальну кількість світильників необхідно визначити:

а) сумарний світловий потік освітлювальної установки 4.6:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n S k_3 z}{\eta} = \frac{1500 \cdot 180 \cdot 1,4 \cdot 1,1}{58} = 7169 \quad (4.6)$$

де Φ_S – розрахункове значення сумарного світлового потоку, лм; E_n – нормоване значення освітленості, лк; S – площа освітлюваної поверхні, м²; k_3 – коефіцієнт запасу; z – коефіцієнт нерівномірності освітленості; h – коефіцієнт використання світлового потоку.

Визначимо кількість світильників N^* (4.7):

$$N^* = \frac{AB}{L^2_{max}} = \frac{18 \cdot 10}{10,89} = 16,5 \quad (4.7)$$

Розрахуємо світловий потік лампи Φ_L^* (4.8):

$$\Phi_L^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_L} = \frac{7169}{3,6} = 1991 \text{ лм} \quad (4.8)$$

де N_L – загальна кількість ламп (4.9):

$$N_L = N^* \cdot n = 16,5 \cdot 4 = 66 \quad (4.9)$$

n – кількість ламп у світильнику. Визначимо коефіцієнт пропорційності m за формулою 4.10:

$$m = \Phi_L^* / \Phi_L = \frac{1991}{2180} = 0,9 \quad (4.10)$$

Знайдемо оптимальну кількість світильників 4.11:

$$N = N^* \cdot m = 16,5 \cdot 0,9 = 14,85 \quad (4.11)$$

Розрахуємо загальну освітленість E_p за формулами 4.12, 4.13 та 4.14:

$$E_p = \frac{\Phi_{лN\phi_{л\eta}}}{Sk_{3z}} = \frac{2180*4*58}{180*1,4*1,1} = 1824 \quad (4.12)$$

$$N_{\phi_{л}} = N_{\phi}n = 2 * 2 = 4 \quad (4.13)$$

$$E_p = (-10\% \dots + 20\%)E_H \quad (4.14)$$

$$1824 = (+20\%)1500$$

Умова виконується, тобто тип і кількість ламп вибрані правильно. Визначимо загальну потужність освітлювальної установки 4.15:

$$P_{\Sigma} = N_{\phi_{л}}P_{л} = 4 * 30 = 120 \text{ Вт} \quad (4.15)$$

де $P_{л}$ – потужність вибраної стандартної лампи.

4.9 Заходи з пожежної безпеки

Заходи з пожежної безпеки визначаються відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» [29].

Категорія виробництва за пожежною небезпекою (А, Б, В, Г, Д) будівлі (приміщень) цеху (ділянки) визначається на підставі аналізу речовин і матеріалів, які використовують у виробництві, відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухонебезпечною та пожежною небезпекою» і ЗНіП 2.09.02-85* «Виробничі споруди» [30]. Відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки та вимогами ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [31]. Дають змогу визначити ступінь вогнестійкості приміщення цеху (дільниці, підстанції). Шляхи евакуації працівників на випадок пожежі передбачають згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016

«Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [31]. Відповідність обладнання, силових і освітлювальних мереж вимогам пожежної безпеки в першу чергу залежить від відповідності ступеня захисту їх оболонки (ІР) класу пожежонебезпечної зони (П-I, П-II, П-IIa и П-III) визначених згідно НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» [32]. Засоби виявлення займань та пожеж передбачаються згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту» [33].

В даний час можуть використовуватися: - охоронно-пожежні сигналізації (ОПС) неадресного типу; - порогова охоронно-пожежна сигналізація; - адресно-порогова охоронно-пожежна сигналізація.

Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

Єдина державна система цивільного захисту (ЄДСЦЗ) забезпечує реалізацію державної політики у сфері цивільного захисту. Вона складається з функціональних і територіальних підсистем та їх ланок [26]. Основні завдання єдиної державної системи цивільного захисту [26]:

- забезпечити готовність міністерств й інших центральних та місцевих органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, підпорядкованих їм сил і засобів до дій, які спрямовані на запобігання і реагування на надзвичайні ситуації;
- забезпечити виконання заходів щодо запобігання виникненню надзвичайних ситуацій;
- проводити навчання населення стосовно поведінки й дій при виникненні надзвичайних ситуацій;
- здійснити загальнодержавні цільові програми, які спрямовані на запобігання надзвичайним ситуаціям, забезпечення стійкого

функціонування підприємств, установ та організацій, зменшення можливих матеріальних втрат;

- опрацювати інформацію, що стосується надзвичайних ситуацій, та публікація інформаційних матеріалів щодо захисту населення та території від наслідків надзвичайних ситуацій;
- прогнозувати та оцінювати соціально-економічні наслідки надзвичайних ситуацій, визначення на основі прогнозу потреби в силах, засобах, матеріальних та фінансових ресурсах;
- створювати, раціонально зберігати і використовувати резерв матеріальних та фінансових ресурсів, які необхідні для запобігання і реагування на надзвичайні ситуації;
- інформувати населення про виникнення загроз та надзвичайних ситуацій, своєчасно та достовірно інформувати про фактичний стан і які були вжиті заходи;
- захистити населення у разі виникнення надзвичайних ситуацій;
- проводити рятувальні й інші невідкладні роботи стосовно ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, організувати життєзабезпеченість постраждалих;
- здійснити соціальний захист постраждалих;
- реалізація визначених законом прав у сфері захисту населення від наслідків надзвичайних ситуацій, в тому числі осіб (чи їх сімей), що брали безпосередню участь у ліквідації цих ситуацій;
- інші завдання, визначені законом.

Організація заходів щодо цивільного захисту суб'єктів господарювання здійснюється підрозділами або посадовими особами, відповідальними за їх ЦЗ. Вони створюються або призначаються керівниками цих установ з урахуванням цих вимог [48]:

- на суб'єкті господарювання, який відноситься до відповідних категорій ЦЗ, де працює більше 3 тисяч працюючих створюється підрозділ з питань ЦЗ;

- на суб'єкті господарювання, а також закладах охорони здоров'я з загальною чисельністю працюючих та осіб, які перебувають на лікуванні, від 200 до 3 тисяч осіб та у суб'єктах господарювання, які відносяться до другої 105 категорії ЦЗ, призначаються посадові особи з питань цивільного захисту;
- на суб'єкті господарювання де працює до 200 осіб призначаються позаштатні особи з питань ЦЗ;
- в навчальних закладах з денною формою навчання, де чисельність осіб 500 і більше, призначаються посадові особи з питань ЦЗ.

Інформування про загрозу або виникнення надзвичайної ситуації - своєчасне інформування органів управління ЦЗ, силам ЦЗ, суб'єктів господарської діяльності й населення. Захисні споруди ЦЗ – це сховища; протирадіаційні укриття; швидкосторуджувані захисні споруди ЦЗ [26]. Евакуацію проводять на державному, регіональному, місцевому або об'єктовому рівні. Існують наступні види експлуатації: обов'язкова; загальна або часткова; тимчасова або безповоротна.

Відповідальність за забезпечення техногенної безпеки об'єктів господарювання несе його керівника. А при будівництві споруд, будівель відповідальність несуть архітектори, замовник, проектні організація. В житловому приміщенні – власники квартир або квартиронаймачі [26].

Вимоги норм проектування спрямовані на зниження можливого збитку, втрат серед населення та створення кращих умов для проведення рятувальних і невідкладних аварійно-відбудовних робіт у можливих осередках ураження, а отже, сприяють підвищенню стійкості об'єктів.

ВИСНОВКИ

1) Аналіз наукової літератури свідчить про високу ємність та актуальність дослідження даної тематики. Фактичне створення будь-якого нового композитного матеріалу подібного роду може складатися з декількох частин:

- Ефективне та оптимізоване отримання експериментального сплаву;
- Дослідження отриманого матеріалу та вивчення його фізико-механічних властивостей;
- Побудування математичної моделі законів деформування та руйнування для відповідних вихідних умов;
- Створення фізичної і комп'ютерної моделі композиційного матеріалу на основі отриманого прототипу сплаву;
- Проведення експериментів та їх порівняння. Визначення точності і відповідності розрахункових значень з експериментальними;

2) Результатом даного дослідження є отримання низки моделювань влучання та пробиття композитного матеріалу на основі титан-алюмінію кулею калібром 5.45x27 зі сталеву бронебійною серцевиною. Проведений аналіз результатів показав, що однозначної ефективності багатошарова композиція не має, перед конфігураціями з меншою кількістю шарів. Зважаючи на характер параметрів експерименту, який умовно можливо поділити на 2 частини (у зв'язку з відмінними параметрами побудови сітки) та отримати, що як у окремих випадках так і у загальній вибірці головним параметром для ефективною зупинки кулі є значення ударної в'язкості матеріалу.

3) Вплив попередньої фіксації окремих шарів матеріалу способом, що імітує зварювання тиском не вважається значним, та не спричиняє значно

відмінного результату від результатів, що були отримані у розглянутих роботах. Але слід зазначити, що у всіх конфігураціях окрім СМ 88 не спостерігалось виникнення розшарувань протягом усього часу пробиття. Теоретично, при вказанні точних експериментальних значень матеріалів, та побудові їх точної фізичної моделі з описом закону руйнування, можливо отримати відмінні результати від отриманих у цій роботі.

4) Також потенційним напрямком вивчення та аналізу багатошарових композитів є їх поведінка при влучанні кулі/снаряду під кутом від нормалі. Зважаючи на різність фізичних властивостей окремих шарів, можливо створення внутрішніх умов пружності при пробитті кулею матеріалу та збільшення шансу значної зміни траєкторії кулі, тобто рикошету.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1) M.E. Kazemi^a, Logesh Shanmugam^a, Lei Yang^b, Jinglei Yang^a. A review on the hybrid titanium composite laminates (HTCLs) with focuses on surface treatments, fabrications, and mechanical properties. Science review. ^a Department of Mechanical and Aerospace Engineering, The Hong Kong University of Science and Technology, Clear Water Bay, Kowloon, Hong Kong Special Administrative Region, ^b College of Civil and Transportation Engineering, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China. Composites Part A 128. 2020.
- 2) Hoi Pang Ng, Thomas Przybilla, Christian Schmidt, Rimma Lapovok, Dmitry Orlov, Heinz-Werner Höppel, Mathias Göken. Asymmetric Accumulative Roll Bonding of Aluminium-Titanium Composite Sheets. Materials Science & Engineering A. 2013
- 3) Белоконь Ю.О., Жеребцов О.А., Белоконь К.В. Дослідження особливостей процесів отримання інтерметалідних титанових сплавів при нестационарних температурних умовах. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. №1, 2017.
- 4) Mica Grujicic, Jennifer S. Snipes, S. Ramaswami. Penetration resistance and ballistic-impact behavior of Ti/TiAl₃ metal/intermetallic laminated composites (MILCs): A computational investigation. AIMS Materials Science, 3(3). P.686-721.
- 5) Yohannes Regassa. Modeling and Simulation of Bullet Resistant Composite Body Armor. Article. Global Journal of Researches in Engineering: A Mechanical and Mechanics Engineering Vol.16.Issue:3 Ver.1.0, 2016. P.25-32.
- 6) Dr. Abdul Shakoor, Numan Khan, Riaz Muhammad, Vadim V. Silberschmidt. Finite Element Simulation of Bullet Resistant Composite

- Body Armor. Conference Paper. Fourth International Conference on Aerospace Science & Engineering (ICASE 2015). P.74-78.
- 7) Ali Murat Soydan, Bahadır Tunaboğlu, Ahmed Galal Elsabagh, Abdul Kadir Sarı, Recep Akdeniz. Simulation and Experimental Tests of Ballistic Impact on Composite Laminate Armor. *Advances in Materials Science and Engineering* Volume 2018, Article. P.12.
 - 8) H. Purwanto, R. Soenoko, A. Purnowidodo, A. Suprato. Energy absorbers on the steel plate – rubber laminate after deformable projectile impact. *Eastern-European Journal of Enterprise technologies* №4. 2018.
 - 9) Saiaf Bin Rayhan, Mahtab Uddin Chowdhury , Xue Pu . Ballistic impact response of reinforced honeycomb sandwich panels. School of Aeronautics, Northwestern Polytechnical University, 710072, Xi'an, China. 2022.
 - 10) E.A. Flores-Johnson*, M. Saleh, L. Edwards. Ballistic performance of multi-layered metallic plates impacted by a 7.62-mm APM2 projectile. *International Journal of Impact Engineering*; vol. 38, 2011. P.1022-1032.
 - 11) Saim Kural, Mehmet Ayvaz. Numerical Simulation on Ballistic Performance of SiC/Light Metal Laminated Composite Armor against .30 APM2. *Celal Bayar University Journal of Science* Volume 16, Issue 4; 2020. P.409-418.
 - 12) NATO STANAG 4569. Protection levels for occupants of logistic and light armoured vehicles. ed. 1; 2004.
 - 13) ДСТУ 8782:2018 Засоби індивідуального захисту. Бронежилети. Класифікація. Загальні технічні умови.
 - 14) C.Y. Tham, V.B.C. Tan, H.P.Lee, “Ballistic impact of a KEVLAR® helmet: experiment and simulations,” *International Journal of Impact Engineering*, vol. 35, no. 5, 2008. P. 304–318.
 - 15) Gordon R. Johnson, Robert A. Stryk, Stephen R. Beissel. SPH for high velocity impact computations. Alliant Techsystems Inc., Hopkins. MN

- 55343, USA. Computer methods in applied mechanics and engineering. V.139 (1996). P. 347-373.
- 16) Johnson G. R., Cook W. N. A constitutive model and data for metals subjected to large strains. High rates and high temperatures // Proc. of the 7th Intern. symp. on ballistics, Hague (Netherlands), 19–21 Apr. 1983. Hague: Roy. Inst. of Engrs in the Netherlands, 1983. P. 541–547.
 - 17) Johnson G. R., Cook W. H. Fracture characteristics of three metals subjected to various strains, strain rates, temperatures, and pressures // Engng Fract. Mech. 1985. V. 21, N 1. P. 31–48.
 - 18) Manuel G. Vigil. Projectile impact Hugoniot Parameters for Selected Materials. Sandia Report. Sandia National Laboratories, Albuquerque. NM, USA. SAND89-1571. UC – 704. 1989
 - 19) Joseph R. Davis, Davis & Associates. ASM Specialty Handbook - Copper and Copper Alloys. ASM International, Metals Park, OH. 2001.
 - 20) K.S. Vijay Sekar, M. Pradeep Kumar. Finite Element Simulations of Ti6Al4V Titanium Alloy Machining to Assess Material Model Parameters of the Johnson-Cook Constitutive Equation. J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng. April-June 2011, Vol. XXXIII, No. 2. P. 203-211.
 - 21) Kamran Mokhtarian, John Mooney. ASME B&PV Code: Section VIII, Division 1, Design & Fabrication of Pressure Vessels (Includes Alteration & Repair). ASME International Continuing Education Institute Programs. Houston, TX. 2001.
 - 22) Fire-free, ballistic blasting projectile. Patent №975553L. Publication of 1998-06-11. Norway.
 - 23) Інструкція із заходів безпеки при поводженні зі зброєю [Електронний ресурс]: Наказ Бюро економічної безпеки України від 12.03.2022 № 56. Зареєстровано від 13.04.2022 №419/37755 . – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0419-22#n139> – (Наказ, інструкція).

- 24) Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників [Електронний ресурс]: НПАОП 0.00-7.11-12. – На заміну наказу МНС України від 26.11.2011 №1350; чинний від 2012-03-16. – К. : МНС України, 2012. – 116 с. – URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0226-> – (Нормативно-правовий акт охорони праці).
- 25) Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Електронний ресурс] : ДСН 3.3.6.042-99. – Чинний від 1999-12-01. – К.:МОЗ України, 1999. – URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99> . – (Державні санітарні норми).
- 26) Методичні вказівки до розділу «Охорона праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях» в магістерських дипломних роботах для студентів зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітня програма «Обладнання та технології пластичного формування конструкції машинобудування» усіх форм навчання / Укл.: О.В. Нестеров – Запоріжжя, 2020 – 30 с.
- 27) Природне і штучне освітлення. [Текст] : ДБН В.2.5-28-2018. – На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01. – К. : Мінрегіон України, 2018. – 133 с. – (Державні будівельні норми України)
- 28) Опалення, вентиляція та кондиціонування : ДБН В.2.5-67:2013. – Чинний від 25.01.13. – К. : Мінрегіон України, 2012. - <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0024858-13#Text>
- 29) Правила пожежної безпеки в Україні [Текст] : НАПБ А.01.001-14. – На заміну НАПБ А.01.001-04 ; чинний від 2014-12-30. – К. : МВС України, 2014. – 47 с. – (Нормативний акт пожежної безпеки)
- 30) Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [Текст] : ДСТУ Б В.1.1- 36:2016. – На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від

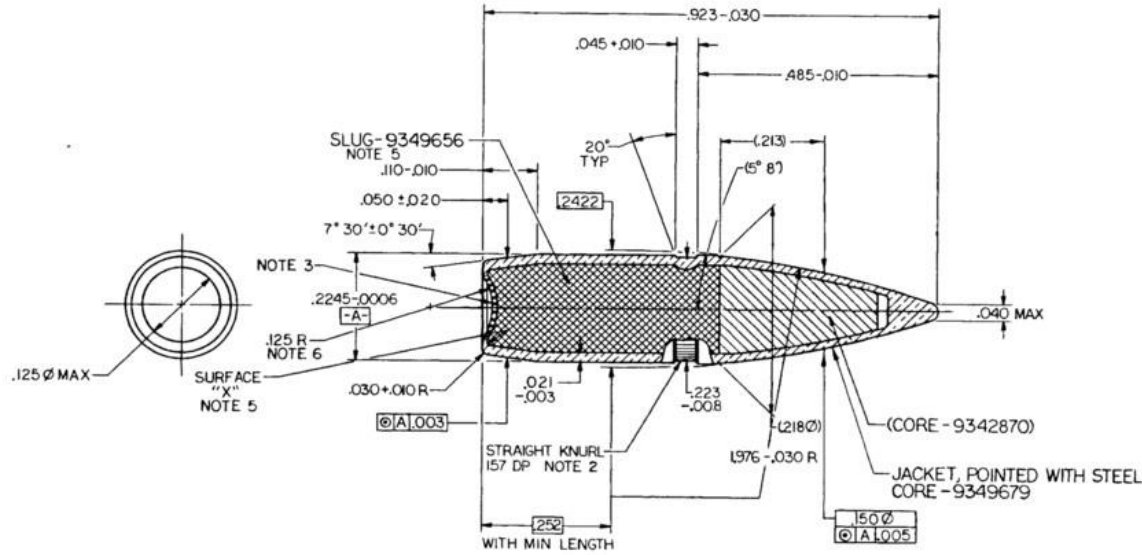
2017-01-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2016. – 66 с. – (Національний стандарт України)

- 31) Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги [Текст] : ДБН В.1.1-7:2016. – На заміну ДБН В.1.1.7-2002 ; чинний від 2017-06-01. – К.: Мінрегіон України, 2017. – 47 с. – (Державні будівельні норми)
- 32) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок [Текст] : НПАОП 40.1-1.32-01. На заміну глав 5.4 5.5 7.1 7.2 7.3 7.4 7.6 Правил устрою електроустановок, затв. Міненерго СРСР 06.07.1984 р.; чинний від 2002-01-01. – К. : Мінпраці України, 2001. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01/card2#Card> . – (Нормативно- правовий акт охорони праці)
- 33) Системи протипожежного захисту [Текст] : ДБН В.2.5-56:2014. – На заміну ДБН В.2.5-56:2010 ; СНіП 2.04.05-91 (розділи 5 та 22) ; чинний від 2015-07-01. – К. : Мінрегіон України, 2014. – 191 с. – (Державні будівельні норми)

DRAWING SIZE: 8
 MANUFACTURE TO: 8

NOTES:-

- 1-SPEC MIL-A-002550 AND MIL-C-63989 (AR) APPLY.
- 2-CANNELURE MAY VARY TO SUIT MANUFACTURER'S PRACTICE.
- 3-LEAD TO BE FLUSH OR BELOW BASE OF BULLET.
- 4-UNIT WEIGHT:-61.8±1.5 GRAINS
- 5-SLUG MUST BE 100% IN CONTACT WITH SURFACE "X", NO VOIDS PERMITTED.
- 6-INFORMATIONAL ONLY, NOT TO BE GAGED.



REVISIONS			
REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVAL
XA	CHANGE .030 MAX TO .020 R MAX; .2437" TO .2422"	810122	[Signature]
XB	CHANGE .914-.016" TO .908±.010" AND .217-.005" TO .222-.005"	811027	[Signature]
XC	REMOVED NOTES 1, 2 & 3; DIM .375±.005; .250±.005; .125±.005; .017 MIN; .015 MIN; .033 MIN; .020 R MAX (433)	821001	[Signature]
XD	ADD DIM .541±.006" S, B, .218±.005" SURFACE X, (.090) AND NOTE 5	830706	
XE	CHANGE (.1976±.005" R) TO (.1976-.030" R)	831005	
	PRODUCTION RELEASE ERR. A452502	840301	
A	NOR A452528 841001	841009	[Signature]
B	NOR A552523 850626	850822	[Signature]
C	NOR A652000 860225	860321	[Signature]
D	NOR A652537 861126	870621	[Signature]
E	NOR 8753012/970423	970529	KN
F	NOR 8852030 981209	990120	KN

DISTRIBUTION STATEMENT A:
 APPROVED FOR PUBLIC RELEASE;
 DISTRIBUTION IS UNLIMITED.

MECHANICAL PROPERTIES		DO NOT SCALE DRAWING UNLESS OTHERWISE SPECIFIED	ORIGINAL DATE OF DRAWING: 80-10-25	PART NO. 9342869	
17	TS	DIMENSIONS ARE IN INCHES	GRAFTING TO SCHEDULE	U.S. ARMY ARMAMENT RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTER	
18	TS	TOLERANCES ON DECIMALS =	ENGR 3/3	BOVIE, NEW JERSEY 07001	
19	TS	FRACTIONS =	ENGR	BULLET, BALL, 5.56MM	
20	TS	ANGLES = 0° 30'	ENGR	9342869	
21	TS		ENGR	FSCM NO. 19200	
22	TS		ENGR	9342869	
23	TS		ENGR	SCALE 10/1 UNIT WEIGHT SEE NOTE 4 SHEET 1-1	
24	TS		ENGR		
25	TS		ENGR		
26	TS		ENGR		
27	TS		ENGR		
28	TS		ENGR		
29	TS		ENGR		
30	TS		ENGR		
31	TS		ENGR		
32	TS		ENGR		
33	TS		ENGR		
34	TS		ENGR		
35	TS		ENGR		
36	TS		ENGR		
37	TS		ENGR		
38	TS		ENGR		
39	TS		ENGR		
40	TS		ENGR		
41	TS		ENGR		
42	TS		ENGR		
43	TS		ENGR		
44	TS		ENGR		
45	TS		ENGR		
46	TS		ENGR		
47	TS		ENGR		
48	TS		ENGR		
49	TS		ENGR		
50	TS		ENGR		

Додаток Б

Публікації за темою кваліфікаційної магістерської роботи

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Запорізька міська рада

Запорізька обласна державна адміністрація Національний університет

«Львівська політехніка»

Національний університет «Києво-Могилянська Академія» Національний
університет кораблебудування імені Адмірала Макарова Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» Харківський національний
автомобільно-дорожній університет

Київський національний університет будівництва і архітектури

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
Національний транспортний університет

ПРОГРАМА

II ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ ЗА
УЧАСТЮ МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ

**«АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТАЛОГО НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО ТА
СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ»**

18-20 жовтня 2022 року

Запоріжжя

2022

враховувати їх співвідношення, технологію введення та витрату для отримання мінімального кінцевого вмісту сірки в сталі.

Список використаних джерел

1. Мельник С.Г., Носоченко О.В., Ганошенко В.И. Внепечная десульфурация конвертерной стали твердыми шлакоутворюючими смесями и аргоном / *Металлург*. 1983. № 7. С. 23-24.
2. Матушно Г.Г. Есть 200 миллионов тонн криворожской стали / *Металлург*. 1982. № 12. С. 12.
3. Чуйко Н.М., Перевязко А.Т., Даничек Р.Е. Внепечные способы улучшения качества стали. Киев : Техніка, 1978. 128 с.

УДК 623.445.1; 004.94

Жолобка Б.О., магістрант 2 курсу

Науковий керівник – к.т.н., доцент Явтушенко А.В.

ОТРИМАННЯ КОМПОЗИЦІЙНОГО БАЛІСТИЧНО-ВИТРИВАЛОГО МАТЕРІАЛУ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ Ti-AL

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету, кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Актуальність розробки та отримання новітніх матеріалів для різноманітних галузей науки і техніки є сталою необхідністю. На наш час звичайні металічні сплави все менше задовільняють зростаючі потреби до фізико-механічних якостей матеріалів, що використовуються у високотехнологічних галузях виробництва. Військова промисловість не є виключенням і також має великий потенціал використання кардинально нових, та експериментальних матеріалів.

Метою отримання композиту на основі Ti-Al є створення засобів індивідуального захисту (далі ЗІЗ), або балістичного матеріалу загального призначення, що буде відповідати прийнятим стандартам захисту при кращих масо-габаритних, балістичних, фізико-механічних характеристиках.

Використання зазначених металів супроводжується їх відносно задовільними фізико-механічними якостями для поставленої мети, де керуючим фактором є щільність, та ударна в'язкість КСУ. Відомо, що параметр КСУ у пластинах бронезилетів виготовлених зі спеціальної броньової сталі (переважно сталі леговані марганцем) даний параметр разом з міцністю на руйнування є переважним від інших спеціальних марок сталі. Алюмінієві сплави достатньо давно використовуються як матеріал бронезахисту, але здебільшого у якості захисту легкої військової техніки: БМП, БМД, легкі танки. Тести стійкості термозміцненого сплаву 7039-T64 при обстрілі бронейною кулею калібром 7.62 мм при куті до нормалі 0°, та швидкістю 840 м/с показують рівномірну стійкість зі сталюю бронєю важчою на 6%. Даний

параметр зростає зі збільшенням калібру кулі, де при іспитах з калібром 14.5 мм перевага в масі уже складає 19%. Але слід зазначити, що доцільне використання броньового захисту для досягнення описаних ефектів повинно бути не менше 20 мм. Впровадження композиційного матеріалу у якості бронезахисту може покращити зазначені параметри за рахунок використання титану, але описані ефекти мають незначний вплив при конструюванні ЗІЗ.

При отриманні балістично-стійкого композиту (далі БСК) для ЗІЗ повинні використовуватись інші принципи для досягнення відповідного бронезахисту. Вдалим рішенням, яке зарекомендувало себе для сталюого захисту, є використання шару кераміки для швидшого руйнування ефективної геометрії кулі, і збільшення опору деформації пластиною. Конструкція БСК може бути декількох типів: пакет з багатьох комбінованих шарів Al-Ti, біметалева плита, або багатошарова бронеплита з шарами відмінних фізико-механічних властивостей.

Перший тип може досягати потрібної балістичної стійкості за рахунок утворення стійких інтерметалідних фаз на границі металів, що можуть служити армуванням багатошарового пакету [1, 2].

Другий і третій тип базуються на комбінації механічних властивостей різних металів, тим самим досягаючи необхідного опору проникненню [3]. Таким чином мета БСК є заміна сталі у стандартних ЗІЗ при збереженні відповідних класів захисту, але кращих масо-габаритних параметрах, що дає перевагу окремій одиниці особового складу у спроможності нести більше корисного навантаження, або збільшити час «нез'ємного» ношення ЗІЗ.

Для оптимізації розробки такого БСК доцільно використовувати спеціалізовані САД комплекси з використанням відповідних до обраних матеріалів законів розрахунку. Використання двійників або достовірних фізичних моделей може значно спростити і знизити вартість, та ресурсоемність розробки БСК у будь-якому масштабі.

Список використаних джерел

1. Куркін С.Е., Холін М.С. Дослідження структури і властивостей композиційного матеріалу системи алюміній-титан. Вестник науки и образования. 2015.
2. Белоконь Ю.О., Жеребцов О.А., Белоконь К.В. Дослідження особливостей процесів отримання інтерметалідних титанових сплавів при нестационарних температурних умовах. Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. №1, 2017.
3. H. Purwanto, R. Soenoko, A. Purnowidodo, A. Suprato. Energy absorbers on the steel plate – rubber laminate after deformable projectile impact. Eastern-European Journal of Enterprise technologies №4. 2018.

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



ДИПЛОМ ПЕРЕМОЖЦЯ

*I туру Всеукраїнського конкурсу
студентських наукових робіт
з галузей знань і спеціальностей у 2021/2022 н.р.
спеціальність «Матеріалознавство»*

*Жолобка Богдана
Олександровича*

Ректор ЗНУ



М.О. Фролов

Наказ № 701-с