

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико-технічний, інженерно – фізичний факультет
(повне найменування інституту, факультету)

Фізичне матеріалознавство
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

Магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему: ”Сучасні підходи до виробництва бронепластин та методи підвищення їх експлуатаційних властивостей”

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи ІФ-211м

Спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

Матюха М.М

(прізвище та ініціали)

Керівник Климов О.В. к.т.н., доц.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Фізико-технічний, інженерно-фізичний факультет
Кафедра Фізичного матеріалознавства
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 20 ____ року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)
МАТЮХА Максим Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Сучасні підходи до виробництва бронепластин та методи підвищення їх експлуатаційних властивостей

керівник проєкту (роботи) Климов Олександр Володимирович доцент каф.ФМ, к.т.н
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «__» року №

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 20.12.2022

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) хімічний склад сталей, зразки

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз сучасних досліджень бронепластин 2. Матеріали та методика досліджень.

3. Дослідження можливостей підвищення властивостей захисних елементів бронезилов 4. Економічна частина 5. Охорона праці в галузі.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Презинтація : Хімічний склад дослідних сталей, Структурний стан евтектичних карбідів, Типова морфологія карбідів в еспериментальних сталях, Результати порівняльних випробувань стійкості (середнє значення з трьох випробувань)

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	Климов О.В		
2	Климов О.В		
3	Климов О.В		
4	Нестеров О.В		
5	Круглікова В.В		
НК	Ткач Д.В		

7. Дата видачі завдання «_10_» жовтня 2022 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Аналіз сучасних досліджень бронепластин	11.10.2022	
2	Матеріали та методики досліджень	26.10.2022	
3	Дослідження можливостей підвищення властивостей захисних елементів бронежилетів	05.11.2022	
4	Економічна частина	14.11.2022	
5	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	15.12.2022	

Студент(ка)

_____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

_____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 83 с., 11 рис., 18 табл., 23 джерел

Об'єкт дослідження – зразки із дослідної сталі для виготовлення бронепластин.

Мета роботи: дослідити можливості підвищення експлуатаційних можливостей бронепластин.

Розглянуті зразки із дослідної сталі, яка використовується для виготовлення бронепластин. Вказано хімічний склад та вплив легувальних елементів на властивості сталі. Досліджено вплив термічної обробки, а конкретно гартування та відпускання, на механічні та балістичні властивості. Встановлено режим термічної обробки для забезпечення необхідного рівня балістичного захисту. Розраховано економічну ефективність досліджень. Описані питання із охорони праці.

БРОНЕПЛАСТИНА, ЗАСОБИ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ, СКЛОКЕРАМІКА, АРАМІДНІ ТКАНИНИ, МІЦНІСТЬ, ТВЕРДІСТЬ, УДАРНА В'ЯЗКІСТЬ, ГЛИБИНА ПРОСТРІЛУ, МІКРОСТРУКТУРА, КРИСТАЛІЧНИЙ ЗЛАМ, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ, ОХОРОНА ПРАЦІ

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Аналіз сучасних досліджень бронепластин	7
1.1 Характеристика та основні тенденції розвитку виробництва засобів індивідуального бронезахисту	7
1.2 Аналіз матеріалів та їх властивостей, що використовуються для виготовлення засобів бронезахисту	11
1.3 Броньові матеріали на основі кераміки	19
1.4 Матеріали броні на основі металів та сплавів.....	23
1.5 Сучасні композиційні матеріали для броні	27
2 Матеріали та методика досліджень	29
2.1 Дослідження механічних характеристик	29
2.2 Дослідження мікроструктури	32
3 Дослідження можливостей підвищення властивостей захисних елементів бронезишетів.....	35
4 Економічна частина	50
4.1 Тенденції розвитку світового ринку бронепластин.....	50
4.2 Розрахунок кошторису витрат на проведення науково-дослідницької роботи	54
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	63
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	63
5.2 Заходи по забезпеченню безпеки.....	66
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	70
Висновок	79
Перелік посилань.....	80
Додаток А.....	83

ВСТУП

Повномасштабне вторгнення Росії в Україну в умовах застосування країною-агресором нових, достатньо ефективних засобів ураження, потребує забезпечення підрозділів Збройних Сил України надійними засобами колективного та індивідуального захисту. Засоби індивідуального захисту (бронежилети), що постачаються в війська піддаються удосконаленням з метою підвищення їх захисних властивостей, покращення їх ергономічних показників. Вирішенням питань підвищення ефективності засобів індивідуального і колективного захисту займається значна кількість провідних наукових і виробничих установ. Створені цими установами різноманітні зразки бронетехніки і засоби індивідуального захисту пропонуються представникам МО України для передачі у війська.

Бронежилет є найбільш ефективним засобом індивідуального бронезахисту, який застосовується у військових структурах. Сучасний ринок пропонує бронежилети широкого спектру (для прихованого та зовнішнього, періодичного та постійного носіння, захисту від куль та уламків). Проте досвід експлуатації бронежилетів показує, що багато з них не можуть забезпечити необхідний захист носія та комфортність через нераціональне формування структури пакета матеріалів та конструктивне рішення окремих вузлів. Це особливо стосується бронежилетів для зовнішнього носіння, які через велику масу, жорсткість, товщину пакета матеріалів, нерівномірний розподіл тиску по опорній поверхні тіла ускладнюють процеси тепло- і повітрообміну, підвищують стомлюваність, викликають больові відчуття в хребті і появу гематом на плечах, обмежують амплітуду рухів у бойових ситуаціях. Для вирішення цих проблем необхідні дослідження та розробка нових матеріалів для виготовлення бронепластин.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ДОСЛІЖДЕНЬ БРОНЕПЛАСТИН

1.1 Характеристика та основні тенденції розвитку виробництвazасобів індивідуального бронезахисту

З середини XIX століття до Першої світової війни засоби індивідуального захисту піхотинця практично не застосовувалися.

Розвиток швидкострільної артилерії, оснащеної розривними (фугасними, осколковими та шрапнельними) снарядами, призвело до розуміння необхідності оснащення піхоти протиуламковими засобами захисту, як мінімум, голови. Війська деяких країн (Німеччина, Англія, Бельгія) мали також нагрудники та кіраси.

Перша світова війна з масовим застосуванням кулеметів, інженерних загороджень та скорострільної артилерії з одного боку, і відсутність бронемеханізованих частин з іншого, привело до позиційного характеру війни. В цих умовах кіраси виявилися не тільки дуже важкими та незручними, але й занадто слабкими для захисту від пострілів впритул. В результаті піхоті із засобів захисту залишили тільки протиуламкові шоломи без полів, а захисні жилети віддали артилеристам. Протикульові ж шоломи застосовували спостерігачі та снайпери, яким не потрібно було активно рухатися на полі бою, так як для них велика маса оснащення не була критичним фактором [1]. Для протикульового захисту голови застосовувалися в основному сталеві шоломи, але вони могли захистити лише від обстрілу з великої дистанції. З появою куль зі сталевим сердечником та поширенням індивідуальної зброї під проміжний (автоматний) патрон, ефективність таких шоломів поменшало. Спроби оснастити їх протикульовими налобниками робилися з часів Першої Світової Війни [2], але не дали результату, так як гвинтувальна куля навіть при не пробитті налобника передає великий імпульс голові та ламає шийні

хребці. Для гасіння імпульсу гвинтівкового патрона маса шолома має бути не менше 8 кг, а автоматного - не менше 4-6 кг залежно від калібру. Друга світова війна загалом підтвердила висновки Першої світової. Однак помітною її відмінністю стала поява механізованих частин, що змінило характер війни з окопного на маневрений. Сталеві нагрудники знайшли застосування тільки при веденні бойових дій у містах, зокрема у штурмових інженерно-саперних підрозділах, коли бійці переміщалися на полі бою переважно бігом, а чи не повзком. Як захисний засіб у піхоті практично всіх армій застосовувався лише сталевий шолом.

Взагалі, бронежилет є елементом одягу, тому, крім захисних, він несе у собі й низку інших функцій, властивих одягу. Він, як і будь-який одяг, повинен бути зручним, комфортним, не сковувати рухів, мати певні експлуатаційні та ергономічні характеристики. Як правило, ці характеристики суперечать вимогам до захисту, тому проектування бронежилета завжди пов'язане з пошуком оптимального поєднання всіх перелічених параметрів. Ігнорування цього постулату призводить до суттєвого зниження бойових можливостей бійця, одягненого в бронежилет. Так, війна у В'єтнамі показала, що навіть легкі протиосколкові бронежилети типу М69 (США) через відсутність у них терморегуляції при інтенсивній експлуатації призводили до перегріву бійця, аж до отримання теплових ударів і, як наслідок, до зниження його бойових можливостей. Те саме виявила і війна в Афганістані, де бійці відмовлялися надягати важкі протикульві бронежилети типу 6БЗТ, 6Б4 і 6Б5, оскільки вони призводили до швидкої стомлюваності та перегріву.

Тому ергономічні та фізіолого-гігієнічні характеристики конструкції бронежилета як елемента одягу не меншою мірою, ніж характеристики його здатності, що захищають, впливають на кінцеву оцінку якості бронежилета.

За ергономікою бронежилета слід зазначити три основні фактори: маса та центр тяжіння, лінійні розміри та теплозахист.

Маса бронежилета або каски безпосередньо впливає на ергономіку: чим більша маса, тим відповідно важче носити. Але, крім маси, має значення її розподіл по тілу, знаходження центру тяжкості людини, а також наявність спеціальних розвантажувальних пристроїв, що раціонально розподіляють навантаження на тіло. При перевішуванні якоїсь із сторін бронежилету (або шолома) або при підвищеному тиску на окремі частини тіла (коли бронежилет висить на плечах) спостерігаються зменшення зручності носіння і, як наслідок, швидка стомлюваність та зниження бойових показників охоронця.

Найбільш комфортно додаткова вага сприймається, якщо вона максимально близько розташовується до центру тяжкості людини і лежить на найменш рухливих частинах тіла. Цим умовам відповідає розташування ваги на поясі з упором кістки таза. Тому старовинні обладунки мали спеціальний відігнутий комір у районі поясу, що дозволяв «ставити» кірасу на кістки таза, що мінімально знижувало рухливість. Також усі сучасні туристичні рюкзаки мають широкий розвантажувальний пояс, який виконує ту саму функцію. За рахунок цього звичайна людина може годинами нести рюкзак масою 25...30 кг, у той час як без цього поясу маса його лежала б на плечах і турист видихнувся через пару кілометрів. Також необхідно зменшити «бовтання» бронежилету, так як інерційні сили, що створюються, не тільки швидко втомлюють людину, але і можуть викликати травму, наприклад розтягування м'язів або зв'язок шиї або спини, а також здавлювання міжхребцевих дисків. Тому ж при русі з додатковою вагою необхідно дуже щільно прилягати до тіла все навісне обладнання, а також прагнути якнайменше рухати центр тяжіння - плавно вставати і опускатися, а при бігу не стрибати, вести таз на одній висоті від землі, не забуваючи про амортизацію напівзігнутими ногами - не друкувати крок і не стукати п'ятою.

Якщо не дотримуватися цих правил, то суглоби можуть напрочуд швидко вийти з ладу і після коротенької пробіжки у повній викладці або спуску через болі в колінах і спині людина може втратити боєздатність.

Конструкція бронежилета постійно розвивається та вдосконалюється, адаптуючись до діючих умов. Розробка ефективних засобів індивідуального бронезахисту є складним завданням через велику кількість тактико-технічних вимог, що суперечать один одному, і факторів, що впливають на бойову ефективність, а також неможливості точного передбачення характеру майбутньої війни.

При цьому на захисні можливості виробів безпосередній вплив надає науково-технічний прогрес у матеріалознавстві та галузях кінцевої балістики, присвячених синтезу та оптимізації захисних структур.

Так, бронежилети перших поколінь мали велику площу захисту 50...60 дм², яка забезпечувалася так званою «лускатим» броне-захистом, де використовувалася велика кількість металевих або керамічних бронеелементів невеликого розміру (90... 135)*(100... 135) мм, що розміщуються в кишенях з деяким перекриттям.

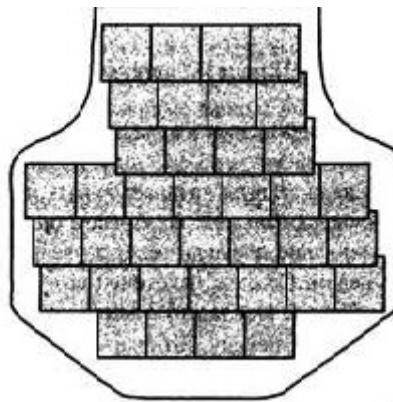


Рисунок 1.1 – Розміщення бронеелементів в кармані бронежилета

Основними недоліками конструкції цих бронежилетів зводилися до таких: відсутність системи терморегуляції; відсутність диференціювання рівнів захисту; відсутність заброньового амортизатора, що знижує рівень заборонної травми; відсутність антирикошетного шару, що затримує вторинні уламки, що утворюються при ударі кулі; відсутність систем, що перерозподіляють масу бронежилета з плечей на пояс; відсутність

водовідштовхувальних просочень або систем захисту тканинного пакета від намокання; значна зайва маса через велику кількість перекриттів сусідніх бронееlementів; висока ймовірність так званого «піднира» кулі в стики між бронееlementами, особливо при кутовому обстрілі.

Усі перелічені недоліки більшою чи меншою мірою були усунуті в бронезилетах наступних поколінь, коли у розробників накопичився достатній досвід практичної експлуатації СІБ, у тому числі й у бойових умовах.

Зупинимось докладніше на конструктивних характеристиках бронезилетів і розглянемо, як вони реалізуються в даний час.

Таким чином при розробці бронезилету необхідно враховувати всі перелічені недоліки[2].

1.2 Аналіз матеріалів та їх властивостей, що використовуються для виготовлення засобів бронезахисту

Основні проблеми, з якими стикаються науковці та розробники матеріалів, полягають у тому, щоб забезпечити легке та швидке виготовлення, легку вагу та відмінний захист від кульового поранення. Матеріали броні можна класифікувати за схемою яка зображена на рисунку 1.2.

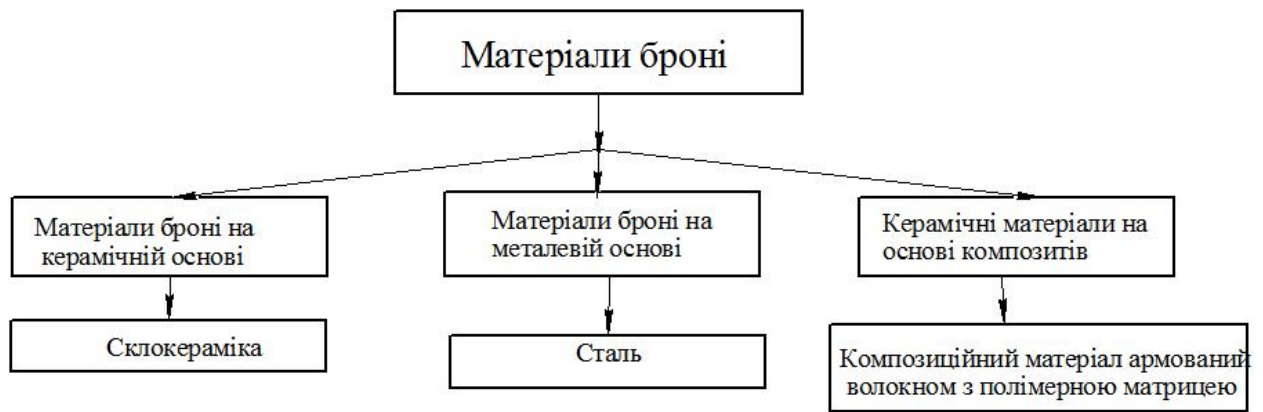


Рисунок 1.2 – Класифікація матеріалів броні

З наведеного рисунку видно, що бронематеріали можуть бути виготовлені із металевих, керамічних, полімерних та композиційних матеріалів. Останнім часом відзначається досить динамічний розвиток науки в розвитку галузі військового оснащення. Всеширше застосування знаходить надвисокомодульний поліетилен і броньова кераміка, оптимізуються структури на основі арамідних тканин, розвиваються методи розрахунку та синтезу структур, уточнюються вимоги до рівнів та площ захисту засобів індивідуального бронезахисту. Тому можна прогнозувати швидкий прогрес засобів захисту, появу нових виробів.

У різних країнах ведеться активна робота щодо вдосконалення окремих елементів, у тому числі засобів індивідуального бронезахисту. Протипульні панелі на основі кераміки та склопластику вперше знайшли своє застосування в захисті екіпажів гелікоптерів, які діяли у В'єтнамі. У комплект входили бронепанелі захисту спинки та сидіння крісла пілота, бічні бронепанелі, вставлені у двері, і броньові нагрудники, що показали високу бойову ефективність [3]. У колишньому СРСР був розроблений протиуламковий бронезилет 6Б1, прийнятий на постачання 1956 року. Бронезилет мав різні рівні захисту грудей, живота та спини. Захисна композиція його складалася з бронепанелей, виконаних з м'якого алюмінію (сплав АМг7ц з твердістю 95 НВ), та тильного підпору з тканини авізент (аналог нейлону). Завдяки цій розробці кулі від зовнішньої поверхні

бронеплити не рикошетили, а при пробитті не деформувалися, що не призводило до збільшення тяжкості поранення. Після початку бойових дій в Афганістані вся дослідна партію бронежилетів 6Б1 було передано до військ. Подібними захисними характеристиками мав розроблений у 1979 року бронежилет 6Б2. При його розробці було поставлено завдання при тій ж площі та рівні захисту скоротити масу жилету на 10..15%. Завдання було виконано - маса жилета склала 4,4 кг. проти 5,2 кг у 6Б1. Однак його захисна структура включала в себе бронепанелі з високотвердого титанового сплаву та пакет з арамідної тканини СВМ, що у разі пробиття призводило до демонтажу кулі та збільшення тяжкості поранення. Під час розробки бронежилета 6Б1 броньові сталі, титанові та високотверді алюмінієві сплави також розглядалися як альтернативні броньові матеріали, проте були відкинуті через деформацію і демонтаж кулі при пробитті. Крім того, зарахунок застосування дефіцитної тканини СВМ, кілька разів зросла вартість жилета, а гарантійний термін зберігання зменшився з 10-5 років. Фірмою «Дюпон» у період було розроблено своє арамідне волокно – Кевлар. Його застосування дозволило різко підняти захищаючі властивості засобів індивідуального захисту без збільшення маси. У 1978-1982 роках на постачання були прийняті броня та бронежилет комплекту PASGT, зроблені з тканин на основі кевларової нитки. Обмежене застосування отримали протипульні панелі посилення (грудна та спинна монопанелі), розроблені із керамічних матеріалів. Також наприкінці 1980-х років фірмою «Ханнівелл» був розроблено новий матеріал – надвисокомолекулярний поліетилен (СВМПЕ). При застосуванні у вигляді пресованого композитного матеріалу він дозволяв різко зменшити масу протикульових панелей посилення. Комбіновані бронепанелі з зовнішнім керамічним шаром та підкладкою із СВМПЕ вперше були використані США в бронежилеті OTV «Interceptor», розробленим для заміни PASGT та прийнятим на постачання у 1998 році. Необхідність застосування зовнішнього керамічного шару зумовлена вимогою захисту від бронебійних куль, загострені осердя яких досить легко

пробивають панелі з пресованого СВМПЕ. При ударі кулі об керамічну плитку загострений носик бронебійного осердя кулі руйнується, а залишки сердечника, оболонка кулі та уламки кераміки утримуються підкладкою.

Проте протикульові панелі захисту грудей і спини допомагають тільки в тому випадку, коли боєць перебуває у вертикальному положенні, лежачи вони малоефективні. Важливою характеристикою бронежилету, як вказувалось в розділі 1.1, є не тільки маса, що впливає на сумарну бойову ефективність, але і зручність застосування. Носіння бронежилетів ускладнює теплообмін і в спекотному кліматі може призвести до перегріву бійця та втрати боєздатності. З цим вперше впритул зіткнулися американці під час В'єтнамської війни, хоча це було помічено ще з досвіду ведення війни у Кореї. З подібними проблемами зіткнулися Радянські війська під час Афганської війни. У 1983 року для вирішення проблеми перегріву бійців вони запропонували оснастити жилетиконвекційно-амортизаційним підпором(КАП), що відсуває секції бронежилета від тіла користувача і дозволяє повітря легко циркулювати під жилетом, охолоджуючи тіло. Випробування КАП на різних жилетах були проведені влітку того ж та показали, що КАП товщиною 30 мм. збільшує час носіння бронежилету 6Б2 при виконанні активних дій та температурі навколишнього повітря + 40°C в середньому у 2-3 рази, забезпечуючи практично необмежений час його носіння. Також КАП зменшував запобіжну травму при непрострілі бронежилета до безпечного рівня – першого ступеня тяжкості (легкого) при обстрілі з АКМ та другого ступеня тяжкості (середньої) при обстрілі зі СВД. З тих пір конвекційно-амортизаційний підпір є обов'язковою частиною всіх сучасних українських військових бронежилетів.

У США розвиток промисловості призвело до появи нових броньових матеріалів на основі скляних та синтетичних волокон. Скляні волокна застосовувалися у вигляді пресованих композиційних плит (матеріал Дорон), а синтетичні – у вигляді тканини (матеріал Нейлон). Вони через низьку міцність і модуль пружності були не ефективні проти високошвидкісних

уламків [4]. Тому найбільш широке застосування дані матеріали знайшли в засобах захисту льотчиків бомбардувальної авіації від низькошвидкісних уламків зенітних снарядів великого калібру, яким перед попаданням у жилет необхідно було пробити корпус літака. Для посилення застосовувалися пластини із сталеві та алюмінієвої броні. Американський сталевий броньовий М-1 зразка 1940 року мав вкладиш із пресованої композиції на основі нейлону. У піхотному бронежилеті М12, що надійшов на постачання серпні 1945 року, крім основної композиції з нейлону, застосовувалися бронепанелі із алюмінієвого сплаву [5].

Бойове застосування нових засобів захисту відбулося під час Корейської війни. Аналіз досвіду експлуатації засобів індивідуального бронезахисту показав, з одного боку, високу противоуламкову захищаючу здатність нових бронежилетів, а з іншого – різке збільшення тяжкості поранення при пробитті алюмінієвої броні внаслідок деформації та фрагментації кулі, а також можливість ураження рикошетними фрагментами при попаданні кулі у бронепанель під кутом. Досвід бойового застосування виявив високі властивості виробу, що захищають (бойове хрещення бронежилети отримали під час Афганської війни 1979...1989 рр.). 100% уламків та 42% куль були отримані бронежилетом 6Б2[6]. Проте були виявлені й негативні характеристики: різке збільшення тяжкості поранення у жилеті і можливість рикошету, недостатність протиуламкового захисту для захисту від куль стріляної зброї. Результатом аналізу бойового досвіду була поява у 1983 р. року бронежилета 6Б3Т, в якому титанові панелі посилення забезпечували протикульовий захист. Основні висновки використання бронежилетів в Афганістані підтвердили досвід їх застосування в Кореї: протиуламкова захисна структура бронежилета повинна бути легкою і не повинна містити твердих елементів, які можуть призвести до демонтажу або рикошету кулі. Протикульовий захист необхідно виконувати в у вигляді кількох великих панелей більшої площі для мінімізації зони стиків та великої товщини, щоб у переважній більшості випадків вони не пробивалися кулями

стрілецької зброї, застосування яких найбільш ймовірно. Повністю реалізувати отриманий досвід вдалося лише після закінчення Афганської війни в більш пізніх виробках 6Б11, 6Б12 та 6Б13, прийнятих на постачання у 1999 році. Порівняльні характеристики по противокульовій стійкості високомолекулярного поліетилену (СВМПЕ) та кераміки із традиційною металевою бронею – сталевою, титановою та алюмінієвою представлені в таблиці 1.1.

Всі бронежилети за рівнями захисту діляться на шість класів. Сьогодні 2-й клас гарантує захист від усіх пістолетних куль, включаючи ТТ та ПСМ. Щоб забезпечити цей рівень захисту розробник має в розпорядженні не так багато броньових матеріалів та вже відпрацьованих захисних структур із комбінації цих матеріалів. Так, захисна структура із сталевим бронеелементом буде мати товщину 2,5...3,0 мм, масу 1 дм²-187 г, з поліетиленовим жорстким бронеелементом - товщину 11 мм, масу 1 дм² - 104 г.

Таблиця 1.1 – Порівняльні характеристики захисних елементів, виготовлених з різних бронематеріалів

Матеріал	Рівень захисту (поверхнева густина/товщина захисної структури)				
	1	2	3	5	6а
Сталь	13,5/1.7	18,7/2.4	34,3/4.4	50,0/6.4	86,0/11.0
Титан	13,5/3.0	15,5/3.5	31,0/7.0	44,5/10.0	
Алюміній	13,5/5.0	19,0/7.0	59,0/22.0	86,0/32.0	116,0/43.0
Високомолекулярний поліетилен	40/4.0	104/11.0	210/22.0		
Арамідні тканини	3,5/4	10,0/-	-	-	-
Кераміка на основі корунда (Al ₂ O ₃)на	-	-	-	36,0-40,0/17	42,0-46,0/19

підкладці із поліетилену					
Кераміка на основі карбіду бора (B_4C)				26,0-29,0/16	34,0-36,0/20

Видно, що поліетиленова броня, яка використовується у 2-му та 3-му класах захисту, має в 5 разів більшу товщину ніж сталеві. Керамічна броня, використовується в 5-му класі захисту, також мінімум у 2 рази товщі сталевий. Та й живучість такої броні, тобто, здатність витримати кілька пострілів, помітно гірше, ніж у металевому аналога. Значна товщина захисної структури

з нових матеріалів створює колосальні проблеми конструкторам бронежилетів

Розробити виріб прихованого носіння стає практично неможливо, навіть використовуючи пресовані поліетиленові панелі завтовшки 10...11 мм. Відомо що бронепанелям з поліетилену можна надати практично будь-яку форму, але ця якість не компенсує проблеми великої товщина. Цей недолік ще більше виражений у бронежилетах 3-го класу, де необхідно використовувати панель завтовшки вже 21...22 мм. Такі бронепанелі важко компонуються у бронежилетах навіть відкритого носіння.

Для того щоб рекомендувати той чи інший варіант комплекту засобів індивідуального бронезахисту для конкретної бойової ситуації, крім захисних властивостей необхідно враховувати також і масу комплекту. Маса екіпірування при активному фізичному навантаженні виснажує бійця. Це позначається на сумарній бойовій ефективності. У статті [7] наведено залежність дистанції подоланої бійцем дистанції від маси екіпірування. Кожен

кілограм екіпірування в діапазоні від 4 до 46 кг збільшує час виконання завдання (марш, штурм ротного опорного пункту) в середньому на 2%. Тобто

при масі екіпірування понад 40 кг боєць буде під вогнем супротивника майже вдвічі довше, ніж без нього.

Через велику масу захисту боєць швидше втомлюватиметься, повільніше пересуватиметься, залягати та реагувати на зміни навколишнього оточення. У результаті кількість уражених вогнем супротивника бійців збільшиться, а ефективність їх вогню зменшиться. У певних умовах бойова ефективність від застосування засобів індивідуального захисту може виявитися негативною. Сьогодні гранична маса екіпірування, що носить, обмежена 24 кг. Захисна структура бронежилета повинна не тільки зупинити кулю і не бути пробитою, а й забезпечити мінімальну заборонну дію кулі на людину. Оцінку заборонної травми в різних країнах оцінюють по-різному. Майже всі зарубіжні стандарти цей параметр оцінюють за глибиною відбитка на спеціальному пластиліну, залишеного кулею після її попадання в бронежилет, покладений на цей пластиліновий блок. Відмінність полягає в тому, що за допустиму величину різні стандарти приймають різні значення цього параметра. У США (стандарт NIJ 0101.06) допускають вм'ятину глибиною до 44 мм, у Німеччині та Великій Британії – 22 мм. Статистика, зібрана закордонними фахівцями, свідчить, що при глибині травми 44 мм ймовірність летального випадку майже 10%.

Реальний рівень забороненої травми не залежить від глибини відбитка. Є роботи, що показують, що ударно-хвильові процеси в тілі людини, спричинені ударом високошвидкісної кулі, можуть дуже негативно впливати на внутрішні органи та навести до летального або близько до летального навіть при відносно невеликому прогині захисної структури. І навпаки, значний локальний прогин іноді може зруйнувати лише зовнішні тканини, не впливаючи на більш важливі внутрішні органи.

На сьогоднішній день можна впевнено говорити про сформовану концепцію піхотного комплексу засобів індивідуального захисту. Він включає в себе противоуламковий бронежилет зі змінними противокульними панелями посилення, противоуламковий бронешлем з противоуламковими

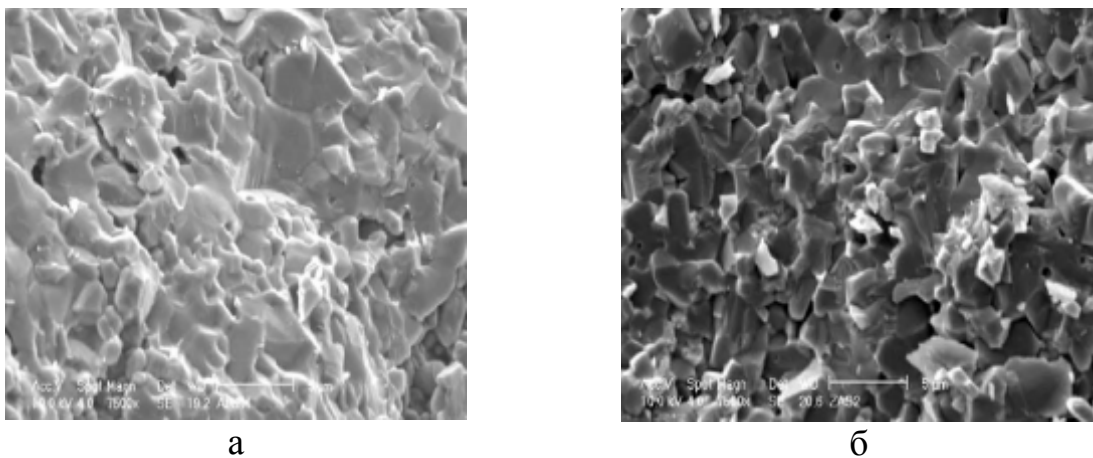
окулярами та маскувальний бронезахисний костюм. Однак сумарна маса комплекту помітно перевищує необхідні 8 кг, а площа захисту, особливо противокульової, дуже мала. Альтернативним варіантом, хоча спірним і болючим, є відмова від протипульного захисту при ведення активних бойових дій, та застосування її тільки при виконанні малорухливих бойових завдань. За досвідом застосування тканинних бронежилетів у Кореї та В'єтнамі можна припустити, що близько 25-30% кульових уражень жилет зможе зутримати противоуламкову захисну структуру.

1.3 Броньові матеріали на основі кераміки

Керамічним матеріалам приділяється більше уваги завдяки багатообіцяючим властивостям, зокрема, як низькій вазі та низькій вартості матеріалу броні. Ефективність розглядалася на основі структури та властивостей кераміки, а також особливостей конструкції броньових систем. Фактори, які враховуються для вибору оцінки керамічних матеріалів включає балістичні властивості, які залежать від фізичних властивостей, мікроструктури і виробничі процеси. Встановлено, що не тільки щільна гомогенна розвинена кераміка, а й неоднорідні матеріали з найкращим можливим складом і структурою, мають найкращі балістичні характеристики. До складу керамічних броньових матеріалів входять такі складові балістичного захисту як склокераміка, полікристалічна кераміка та тощо. Перевага склокераміки, що робить її найкращим вибором для броні мають чудову твердість, високу жорсткість і міцність, а також прозору та непрозору систему [8].

В роботі [9] проведено дослідження на розсіювання енергії балістичного удару передових керамічних матеріалів та показали, що Жодна окрема властивість не має прямої кореляції з балістичними характеристиками

через складність механізму руйнування при балістичному ударі, але вдале поєднання відповідних властивостей може забезпечити відповідні балістичні характеристики. Наприклад, балістична енергія здатності до розсіювання, яка визначається комбінацією деяких механічних властивостей та мікроструктура кераміки можуть бути корисними для оцінки матеріалів броні та для вибору кераміки для особливого балістичного захисту. Наприклад на рисунку 1.3 наведено приклад мікроструктури кераміки на основі $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--ZrO}_2$.



а
а - AM2; б - ZAS2

Рисунок 1.3 - Мікроструктура глиноземно-мулітової кераміки

Як видно з рисунку, глиноземно-мулітова кераміка (МА матеріали) має щільну однорідна дрібнозерниста мікроструктура, утворені зерна корунду (основна фаза) з рівномірно розподіленими зернами муліту, цементовані алюмосилікатною склоподібною фазою. Розмір зерен цієї кераміки 2–4 мм (переважно ізометричний) з наявністю крупніших зерен (до 6 мм); менші зерна розміром 0,5–1 мм. В оптимізованому AM2 спостерігається зниження густини алюмо-мулітової кераміки до 3,5–3,56 г/см³ проти 3,75–3,91 г/см³ для глиноземної кераміки. Глиноземно-мулітова кераміка з додаванням циркону та цирконію фази (матеріали ZAS) також мають мікрокристалічні структури але щільність цієї кераміки дещо більша (3,6– 3,75 г см³, залежно від складу). ZAS кераміка з вищим вмістом циркону

в складі шихти мають вищий вміст склоподібної фази і менша щільність. Однорідна броньова кераміка B_4C , SiC має дуже рівномірні мікрокристалічні структури (в середньому кілька мікрон), без сторонніх фаз.

Кераміка гарячого пресування має а більш щільну структура з мінімальною пористістю і більшою густиною (до 98–99% TD), але більші розміри зерна (до 10– 15 мм). Склоподібна фаза оксиду на межі зерна присутня, якщо оксид добавки для спікання використовуються для керамічної композиції SiC склад має відносно низький вміст склоподібної фази. Якщо розглядати балістичні випробування (рисунок 1.4) то під час таких випробувань утворюються різного роду тріщини. Тріщина починається в точці удару; в той час як радіальні тріщини розтягування починаються ззаду поверхні поблизу осі удару. Зірчасті тріщини утворюються на стороні коноїдів. Тангенціальні відкольні тріщини виникають через напруження зсуву, що відбиваються від країв пластини і внаслідок утворення конусних тріщин; також можуть утворюватися бічні відкольні тріщини внаслідок поздовжніх хвиль напруги, відбитих від підкладки підтримка.



а



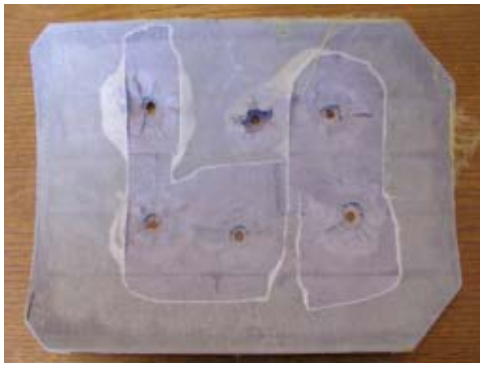
б



в



г



д



е

а - AM2 7,62 × 263 мм; б – RBSC 7.62 × 54 мм; в – SiC кераміка, 7,62 × 51 мм;

г - біоморфний RBSC 7,62 × 63 мм; д- ASN кераміка 7,62 × 51 мм; е - AS кераміка 7,62 × 51 мм

Рисунок 1.4 - Руйнування кераміки після балістичного удару

Фрагменти пошкодженої кераміки різного розміру починаючи від великих уламків до дрібного порошку спостерігаються після розтріскування. Це спостереження властиве щільному глинозему, алюмоцирконієва та алюмомулітова кераміка з нижчою крихкістю. Порівнюючи досліджувані матеріали, менше уламків спостерігалось для кераміки AZ. Аналіз мікроструктури, властивостей і тріщиноутворення щільної однорідної кераміки на основі Al_2O_3 , можна відзначити що тріщини поширюються більшою мірою, якщо кераміка має деякі дефекти, пов'язані з проблемами виробництва (наприклад, мікропорожнини або недоліки, або якщо матеріал має меншу однорідність, пов'язану з меншим рівномірним розподілом склоподібної фази). Цей аналіз проводився не лише для розробленої кераміки (щоб мінімізувати вплив виробничих питань, що впливають на однорідність мікроструктури та властивостей, спеціальний процес заходи щодо покращення були впроваджені), але також для глиноземна кераміка з подібними композиціями, отримана з деяких інших виробників. Ці дані добре корелюють з загальне поняття, пов'язане з впливом нижчої однорідності і наявності мікродефектів на утворення тріщин і зламу вдосконаленої кераміки, і вони також підтверджені вимірювання твердості (дослідження

мікроструктури). Отже, завдяки використанню кераміки можна отримати легку броню із відмінними якістьми, проте неможливо рекомендувати «найкращий» керамічний матеріал, який може бути найбільш підходить для кожної ситуації також з урахуванням виробничі можливості, вага і вартість. Навпаки, відповідний матеріал можна підібрати в залежності від конкретної ситуації та сформованих вимог броні [10].

1.4 Матеріали броні на основі металів та сплавів

Метали і сплави часто обирають в якості матеріалів для застосування у виготовленні засобів індивідуального захисту завдяки високій механічній міцності. Необхідні для броні властивості міцності та твердості матеріалу можна отримати шляхом вибору металу та сплаву, наприклад сталі.

Броня на основі сталі має стійкість проти корозії та зносу. Таким чином, метал і сплав демонструють покращений термін служби та продуктивність.

Найширше використовують сталеву броню. За її допомогою можна забезпечити захист аж до п'ятого класу за товщини бронеелемента 5,0...6,5 мм, що відповідає поверхневій густині 39...51 кг/м² [10,11]. Більші товщини сталевих бронеелементів недопустимі через їхню надто велику масу.

Броньована сталь є середньовуглецевою (0,3...0,55%С), середньолегованою мартенситного класу. Високі характеристики міцності досягаються внаслідок термообробки, яка передбачає гартування на мартенсит і низький відпуск. Під час деформування сталей (прокатування, штампування, кування тощо.) відбувається подрібнення мікроструктури, збільшується густина дислокацій – структура стає одноріднішою.

Дрібнозерниста сталь має вищу міцність внаслідок більшої площі меж між зернами, які є природним бар'єром під час руху дислокацій.

Отже, для збільшення міцності сталей потрібно намагатися створювати наддрібнозернисту структуру, насичену дислокаціями. У засобах індивідуального захисту застосовують протикульові броньовані сталі високої твердості, у яких як легувальні елементи можна використовувати хром, нікель, молібден, ванадій, кремній. Складність створення таких сталей зумовлена необхідністю поєднання екстремально високих значень твердості й міцності, які забезпечують опір проникненню кулі, і достатнього рівня пластичності та в'язкості для запобігання крихкому руйнуванню сталевоброньованого елемента. Кульову стійкість броньованої сталі можна підвищити, збільшивши її твердість. Однак у разі достатньо великої твердості перешкоди з гомогенної вуглецевої броньованої сталі вона стає крихкою під час обстрілювання навіть звичайними сталевими кулями зазнає ураження за типом пролomu чи розколювання. Для того щоб уникнути цього, необхідно зберегти пластичність сталі.

Механізми легування сталей достатньо складні й ґрунтуються на тому, що легувальні елементи змінюють температури поліморфних перетворень заліза, впливають на розчинність вуглецю в аустеніті й на хімічний склад сталей. У разі введення до складу сталей таких легувальних елементів, як марганець і нікель. ГЦК-ґратка аустеніту стає стійкою за кімнатної температури. Ці сталі мають не тільки високі значення характеристик міцності, а й достатньо високу ударну в'язкість і здатність до деформаційного зміцнення. У випадку введення як легувальних елементів хрому, молібдену, вольфраму, ванадію, кремнію тощо температурний інтервал стійкості аустеніту зменшується і, відповідно, зростає температурний інтервал стійкості фериту. Перелічені легувальні елементи сприяють збільшенню межі плинності, границі міцності і твердості сталей.

Під час деформування сталей (прокатування, штампування, кування тощо) відбувається подрібнення мікроструктури, збільшується густина дислокацій – структура стає одноріднішою.

Розглянемо запропоновані марки та властивості сталей виробництва Франції.

Таблиця 1.2 – Марки та властивості бронесталей Франції

Марка сталі	Хімічний склад	Товщина, мм	σ_b , МПа	HB
MARS 190	0.3%C; 1.1%Cr; 2%Ni; 0.45%Mo	2...50	1100	388
		51...500	900	
MARS 240	0.28%C; 1.5%Cr; 1.5%Ni; 0.3%Mo	38	1700	534
		38...50	1650	
MARS 270	0,35%C; 0,75%Cr; 3.1%Ni; 0.4%Mo	25	2000	601
		25...75	1700	
MARS 300	0.5%C; 0.8%Si; 4.0%Ni; 0.4%Mo	8	2180	578...655

Як видно з наведеної таблиці, то дивлячись на хімічний склад, на властивості міцності значно впливає легування нікелем, завдяки зміцненню твердого розчину та утворенню дрібнозернистої структури. На твердість, звичайно впливає вуглець. Порівняємо основні марки броньованих сталей виробництва Швеції.

Таблиця 1.3 – Марки та властивості бронесталей Швеції

Марка сталі	Хімічний склад	Товщина, мм	σ_b , МПа	HB
ARMOX 300 S	0,18%C; 1.5%Mn; 0.4%Cr; 0.65%Mo;	5...60	900	360...420
			1150	

	0.003%B			
ARMOX 370 S	0.3%C; 1%Mn; 1.1%Ni;0.65%Mo; 0.002%B	5...12.9	1300	390...440
		35...59.9	1300	300...350
ARMOX 560 S	0.38%C; 1%Mn; 1.2%Cr; 3%Ni; 0.65%Mo; 0.002%B	6...20	1850	534...601
ARMOX 600 S	0.5%C; 0.45...0.8%Mn; 0.8%Cr; 2.5%Ni; 0.65%Mo;0.002%B	4...10	2180	578...655

Як, видно, з таблиці, що в запропонованих сталях активно використовуються як легувальний елемент марганець та невелика кількість бору. Бор як легувальний елемент став застосовуватися нещодавно. Ще два десятки років тому не було відомо про чудовий вплив цього елемента на властивості сталі. Надзвичайно мала кількість бору дуже сильно підвищує прогартованість сталі. Всього 0,002% бору можуть замінити 2% нікелю або 0,3% молібдену. Марганець у вуглецевій сталі міститься в невеликій кількості та особливого впливу на її властивості не має. Однак він утворює із залізом тверду сполуку, що підвищує твердість і міцність сталі, дещо зменшуючи її пластичність. Марганець зв'язує сірку у з'єднання MnS, перешкоджаючи утворенню шкідливого з'єднання FeS. Крім того, марганець розкислює сталь. Сталь до складу якої входить велика кількість марганцю набуває істотної твердості та опору зносу.

Крім того, є ще дослідження що куленепробивні границі межі сталевих підкладок було покращуються за рахунок використання покриттів. Під час удару відбувся перехід гумоподібного стану в склоподібний. Еластомірне покриття і композитні панелі, що складаються з твердого і м'якого

використовувалися матеріали для підвищення стійкості до поширення тріщини. Важливим аспектом є розпад і зниження інтенсивності розповсюдження ударної хвилі[12]. Деякі дослідники вивчали вплив впливу на мікроструктуру та поширення тріщин, щоб виявити, що параметр ґратки може бути причиною виходу матеріалу із результатів у можливому зниженні стійкості до кількох ударів. Через те, що запальний ефект має тимчасовий характер, не має жодних ефектів на мікроструктуру надбудови бронесталей. У сталі 50CrV4 поширення тріщини впливає на удар і стійкість до частих ударів, зменшується із зниженням пластичності. Відповідно до результатів були підготовлені моделі поведінки неоднорідної надбудови броні спостерігається вплив на пластичність матеріалу від геометрії процесу руйнування, напруження та деформації. Вища пластичність буде вигідною, якщо враховувати стійкість до кількох ударів.

1.5 Сучасні композиційні матеріали для броні

Композитні матеріали, армовані волокном, характеризуються високими механічними властивостями, меншою вагою, стійкістю до корозії, легкістю виготовлення та зносостійкістю. Тому ці матеріали широко використовуються в різних галузях військової промисловості, зокрема таких як автомобілі, літаки, морські корпуси та легка броня для балістичного захисту [13]. Необхідно проектувати легкі матеріали, забезпечити захист від нападу без шкоди для рухливості людини. Метали замінюються скловолокном, зокрема, завдяки низькій вартості. Високоєфективні полімерні волокна уможливив розробку нових гнучких броньових систем винятковий захист від пробиття куль [13]. Чисельне моделювання підтверджено шляхом виконання експериментальних результатів на основі балістичних випробувань на композитних матеріалах, армованих вуглецевим волокном, і

сталевій пластині. З'ясовано, що з точки зору опору пробиття композитний броньовий матеріал був більш ефективний, ніж сталева пластина. Для оцінки позитивних характеристик в розробці броні, цей підхід був досліджений і вивчений. Після отримання різних результатів, пов'язаних з механізмом руйнування кожного шару послідовність концепції нашарування броні була визнана принципово правильною. Майбутня робота буде зосереджена на товщині і продуктивності кожного шару [14]. Розробляються інші типи композитних матеріалів із визначеним і структурованим градієнтом властивостей, тобто матеріали з функціональним призначенням використовується як броньовий матеріал. Керамічний шар також використовується для надання високої міцності та твердості броні з функціональними матеріалами [15]. В іншій доповіді було зазначено, що композити титан/борид титану показали хорошу термічну стабільність і можуть витримувати високу температуру середовища [16]. В полімерний композиційний матеріал (ПМК), полімерні матеріали наприклад деякі полікарбонати та кевлар. Вони показали задовільну стійкість проти кулевих ударів та випробувань на міцність, які є основними критеріями для проектування та виробництва маски для обличчя та бронежилетів. Вони демонструють високий рівень співвідношення міцності та маси, що робить його придатним для застосування як засіб індивідуального бронезахисту. Коли керамічні матеріали додаються у формі композитної системи броні, характеристики композитного матеріалу броні покращено з точки зору твердості, ударної міцності та міцності проти кулевих ударів [17,18]. Однак розвиток нанотехнологій також зробив свій внесок у галузі броньових матеріалів. Заповнений наночастинками нанокомпозит на основі поліефіру та поліаміду показали себе краще характеристики в приглушенні ударної енергії руйнування [19].

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІЖДЕНЬ

Досліджується сталь із середнім вмістом вуглецю, яка термічно обробляється для забезпечення широкого діапазону значень твердості. Зразки були отримані за допомогою вакуумно-дугового плавлення поставлявся у вигляді листового прокату товщиною 25 мм. Хімічний склад сталі наведено в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 Хімічний склад досліджуваної сталі, %мас

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Al
0.3...0.35	0.2...0.3	0.5...0.7	1.4...1.7	1.5...2.0	0.3...0.5	0.1...0.2	0.02

Температури критичних точок визначали дослідним методом, і вони становлять $A_{c1} = 758^{\circ}\text{C}$, $A_{c3} = 808^{\circ}\text{C}$.

2.1 Дослідження механічних характеристик

Випробування на розтяг проводились на універсальній випробувальній машині УМЕ-10Т. Для випробування на розтяг використовували зразки з робочою частиною у вигляді циліндру. Для циліндричних зразків $l_0 / d_0 = 10$, основний діаметр $d_0 = 10$ мм., $l_0 = 100$ мм. Зразок встановлювався у захватах та розтягувався на універсальній випробувальній машині.

Згаданими стандартами встановлені методи визначення модуля пружності E , границі пропорційності $\sigma_{\text{пц}}$, границі пружності $\sigma_{0,02}$, границі плинності умовної $\sigma_{0,2}$ та фізичної σ_T , тимчасового опору (границі міцності) σ_B , відносного рівномірного видовження δ_p , відносного видовження після

розриву δ , відносного звуження поперечного перерізу після розриву ψ .

Результатами випробування була побудована діаграма розтягу для зразків із різною температурою відпускання (рисунок 2.1)

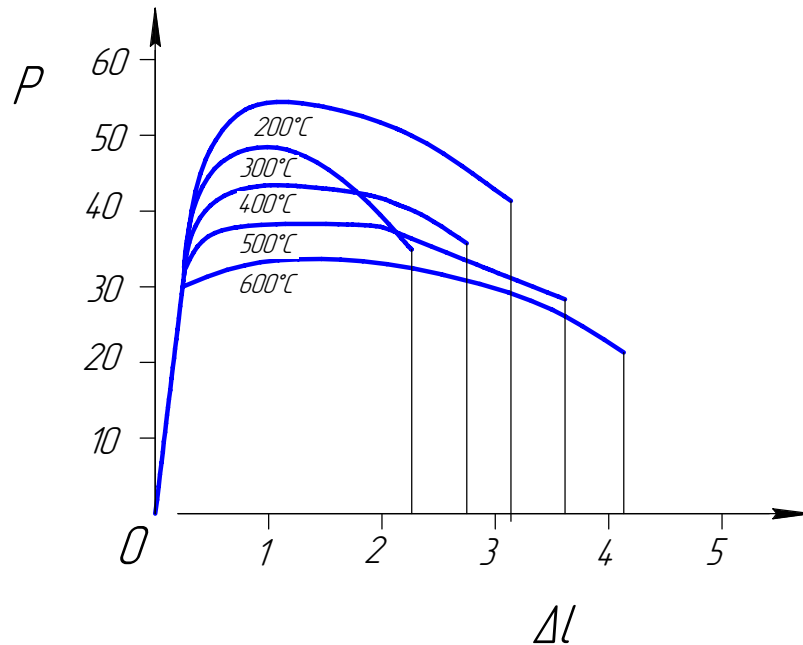


Рисунок 2.1 – Діаграма розтягу зразків із досліджуваної сталі

Випробування ударним згином проводилось на маятниковому копрі, гранична енергія якого не перевищувала 300 Дж.. Для випробувань використовували зразки перерізом 10x10 мм, довжиною 55 мм з U-подібним концентратором напруження для визначення КСУ ($r = 1$ мм) та без концентратора напружень для визначення КС.

При проведенні випробувань маятник підіймали вгору і фіксували шаблоном. Стрілку встановлювали на нуль. Зразок поклали на нижні опори копра симетрично щодо опор і так, щоб U-подібний надріз був обернений в сторону, протилежну напрямку удару. Потім, повернувши засувку, відпускали маятник, який при своєму падінні руйнував зразок і рухаючись далі, переміщав стрілку за шкалою, на якій зчитували величину енергії, збереженої маятником після руйнування зразка.

Робота ΔWF , витрачена маятником на руйнування визначалася по залежності: $\Delta WF = Gh_1 - Gh_2 - W_{\text{втрат}}$, де G - вага маятника; Gh_1 - потенційна енергія, запасена маятником в самому верхньому його положенні; Gh_2 - потенційна енергія, збережена маятником після руйнування зразка. $W_{\text{втрат}}$ - енергія втрат, що витрачається маятником на подолання недоречних опорів (тертя в вузлах копра, опір, струшення копра і фундаменту, на зминання зразка на опорах і під ножем, на повідомлення енергії уламків зразка і на пружну деформацію штанги маятника).

Твердість HRC вимірювали у відповідності із ГОСТ 9013–76 Для визначення твердості за Роквелом застосовували прилад типу ТК-2 (твердомір конусний). За індентор було обрано алмазний конус з кутом при вершині 120° , із $P_0 = 98\text{Н}$, $P_1 = 1373\text{Н}$, $P = 1471\text{Н}$. Твердість за Роквелом виражається в одиницях умовної шкали і визначалася як різниця глибин проникнення індентора після попереднього (P_0) та основного (P_1) навантаження. Для вимірювання твердості можна використовувати зразки з наступними розмірами $10 \times 10 \times 20$ мм або $10 \times 10 \times 30$ мм

До проведення випробування висуваються наступні вимоги:

- випробування проводять при температурі 20°C ;
- під час випробування пристрій повинен бути захищеним від ударів та вібрацій;
- опорні поверхні робочого столика-підставки та зразка повинні бути очищеними від сторонніх речовин. Зразок повинен лежати на підставці стійко, без зміщення та прогину під час випробування;
- перші три вимірювання після зміни наконечника, робочого столика або підставки є пробними і не записуються в протокол випробування;
- границя вимірювання твердості за шкалою С: 20...67 одиниць.

При вимірюванні твердості повинні бути дотримані наступні умови:

- перпендикулярність навантаження, що діє, до випробовуваної поверхні зразка виробу;
- плавне прикладання попереднього навантаження P_0 ;

- плавне прикладання протягом 2...8с основного навантаження до максимального значення;
- плавне зняття через 2 с основного навантаження після різкого уповільнення руху стрілки індикатора.

Відлік результатів вимірювання твердості за шкалою індикатора з їх округленням до 0,5 ділення шкали проводять при дії попереднього навантаження P_0 , що продовжується.

Відстань між центрами двох сусідніх відбитків або від центру відбитку до краю зразка повинно складати не менше 3 мм, якщо в нормативно-технічній документації на металопродукцію не встановлені інші вимоги.

Кількість відбитків при визначенні твердості за Роквелом вказують в нормативно-технічній документації на металопродукцію.

2.2 Дослідження мікроструктури

Мікроструктуру сталі досліджували методами оптичної та електронної мікроскопії.

Приготування металографічних шліфів зазвичай складається з наступних операцій: вирізки зразка та підготовки поверхні, шліфування, полірування, травлення.

Шліфування починають на папері з більшим абразивним зерном (№ 60), потім переходять на шліфування папером з дрібнішим зерном та завершують на папері № 220...280. Шліфують зразок, злегка притискаючи його до кола, що обертається (диску). Щоразу при переході на більш тонкий папір зразок очищають від наждачного пилу, повертаючи на кут 90°, і шліфують доти, доки зникнуть сліди попередньої обробки. Після тонкого шліфування зразок промивають струменем води для видалення частинок абразиву і полірують.

Механічне полірування проводять протягом 8...10 секунд на спеціальному полірувальному верстаті, диск якого обтягнутий фетром змоченому рідиною ($\text{H}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3$). Для металографічного дослідження мікроструктури зразки піддавали щавленню в реактиві: 5 г FeCl_3 + 5 мл HCl + 100 мл H_2O або 92 мл HCl + 5 мл H_2SO_4 + 3 мл HNO_3 + 5 г CuSO_4 + 50 мл $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

Після травлення шліф промивають водою, протирають та просушують фільтрувальним папером.

Горизонтальний металографічний мікроскоп МІМ-8 призначений для дослідження мікроструктури металів у світлому полі при прямому та не прямому освітленні, а також у темному полі та в поляризованому світлі.

Для візуального спостереження об'єктів мікроскоп забезпечений монокулярною та біноккулярною насадками. Власне збільшення біноклярної насадки $\times 2,5$.

Набір ахроматичних та апохроматичних об'єктивів та окулярів забезпечує збільшення мікроскопа при візуальному спостереженні – від $\times 100$ до $\times 1350$.

Предметний столик мікроскопа має механізми для координатного переміщення об'єкта. Освітлення проводиться від електролампи розжарювання потужністю 170Вт, 17В, що живиться від освітлювальної мережі 220В через понижувальний трансформатор, з секційним перемикачем для регулювання яскравості розжарювання лампи.

Також є додаткове обладнання у вигляді окулярної веб-камери UMD300, що забезпечують якісні знімки досліджуваної поверхні в цифровому вигляді.

РЕМ широко використовується для вивчення топографії поверхні. Діапазон можливих збільшення при фрактографії, як правило, обмежений $\times 10000$. Перевага РЕМ перед світловим мікроскопом полягає в глибині фокусу, що перевищує оптичну на кілька порядків. Таким чином, при

невеликих збільшеннях, у фокусі знаходяться елементи зламу, перепад висот між якими становить кілька міліметрів, а при великих - кілька мікронів.

Вивчення поверхні руйнування проводять, як правило, у вторинних електронах. Це дозволяє не тільки покращити просторову роздільну здатність порівняно з відбитими електронами, але й отримувати сигнал із затінених ділянок зразків, що знаходяться поза прямою видимістю.

Початковий огляд проводять за відносно малих збільшеннях $\times 5$ - $\times 50$ і отримують макроскопічну картину зламу з великою глибиною фокусу. Це допомагає інтерпретувати особливості будови зламів, виявити ймовірний механізм руйнування, область вогнища, зону зародження та шляхи поширення тріщини, що відрізняються макрорельєфом та шорсткістю. Потім окремі елементи поверхні руйнування досліджують зі збільшенням $\times 500$ - $\times 2000$, що дозволяє визначити мікромеханізми руйнування.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДВИЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗАХИСНИХ ЕЛЕМЕНТІВ БРОНЕЖИЛЕТІВ

Бронежилет (згідно з ДСТУ ХХХ1: 201) є засіб індивідуального захисту людини у вигляді жилета, який забезпечує захист торса людини від дії холодної та вогнепальної зброї і складається з матеріалів, здатних затримати кулю та розсіяти її енергію. Згідно з класифікацією за конструктивним виконанням ці індивідуальні жилети складаються із захисних частин переду і спинки та можуть мати амортизувальні елементи для погашення енергії удару та зменшення дії засобу ураження на тіло людини.

Для отримання в металі легкої протикульової броні високого рівня механічних властивостей, які гарантують захист людини або техніки, доцільно проводити ефективну зміцнювальну термічну або хіміко-термічну обробку на стадії готових виробів (передні і задні пластини бронежилетів) або напівфабрикатів (пластини для виготовлення корпусів БТР, БМП, обшивки літаків, вертольотів та тощо). Цей принцип у роботі прийнятий за основу розробки параметрів промислової технології у зв'язку з тим, що досягти в металопрокаті (в умовах прокатних станів) планованого співвідношення міцності – пластичності – в'язкості ($\geq \sigma_b \sim 1700$ МПа, HRC $\sim 49 \dots 50$, $\delta_5 \sim 14$ %, $\psi \sim 50$ %, KCU ~ 80 Дж/см²).

Головні вимоги до броні – це поєднання високої стійкості (опірності проникненню куль або снарядів) із живучістю та здатністю витримувати багаторазову дію засобів ураження і при цьому не руйнуватися і не давати тріщин та сколів із внутрішнього боку броньованих пластин. Стійкість і живучість броньових сталей досягаються головним чином шляхом їх легування і відповідної термічної (комбінованої) обробки. Броня повинна також зварюватись і мати прийнятну для промисловості технологію

виробництва [20]. Вітчизняні промислові підприємства мають деякі сталі та технології виготовлення листового прокату (у т. ч. і термомеханічної обробки) з броньових сталей в умовах металургійних підприємств, але їх кількість обмежена, а рівень механічних властивостей пластин із металопрокату зарубіжних виробників та співвідношення міцності – пластичності – в’язкості не дозволяє відібрати з них найбільш підходящі протикульові сталі для виготовлення виробів V та VI рівня захисту, які відповідають вимогам у товщинах $\sim 4,5 \dots 6$ мм. Слід зазначити, що в останні 7...10 років багато металургійних підприємств різних країн світу виготовляють листовий металопрокат товщиною від 2 мм до 80 мм подвійного призначення (як зносостійкий для промислового використання і у той же час як прокат, як можливо використовувати як броньовані вироби – пластини бронежилетів, прокат для виготовлення зварних корпусів бронетехніки).

Хімічний склад сталей наведено в таблиці 2.1. Зразки із наведених сталей піддавались аустенізації при температурах 830, 870, 910, 950°C протягом однієї години із подальшим гартуванням в маслі. В на рисунку 3.1 наведено залежність твердості від температур гартування.

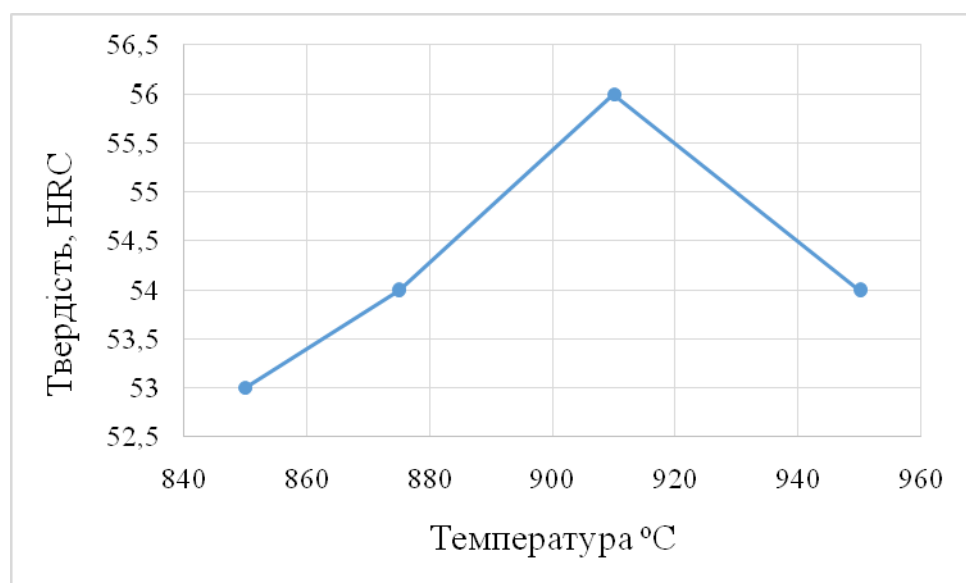
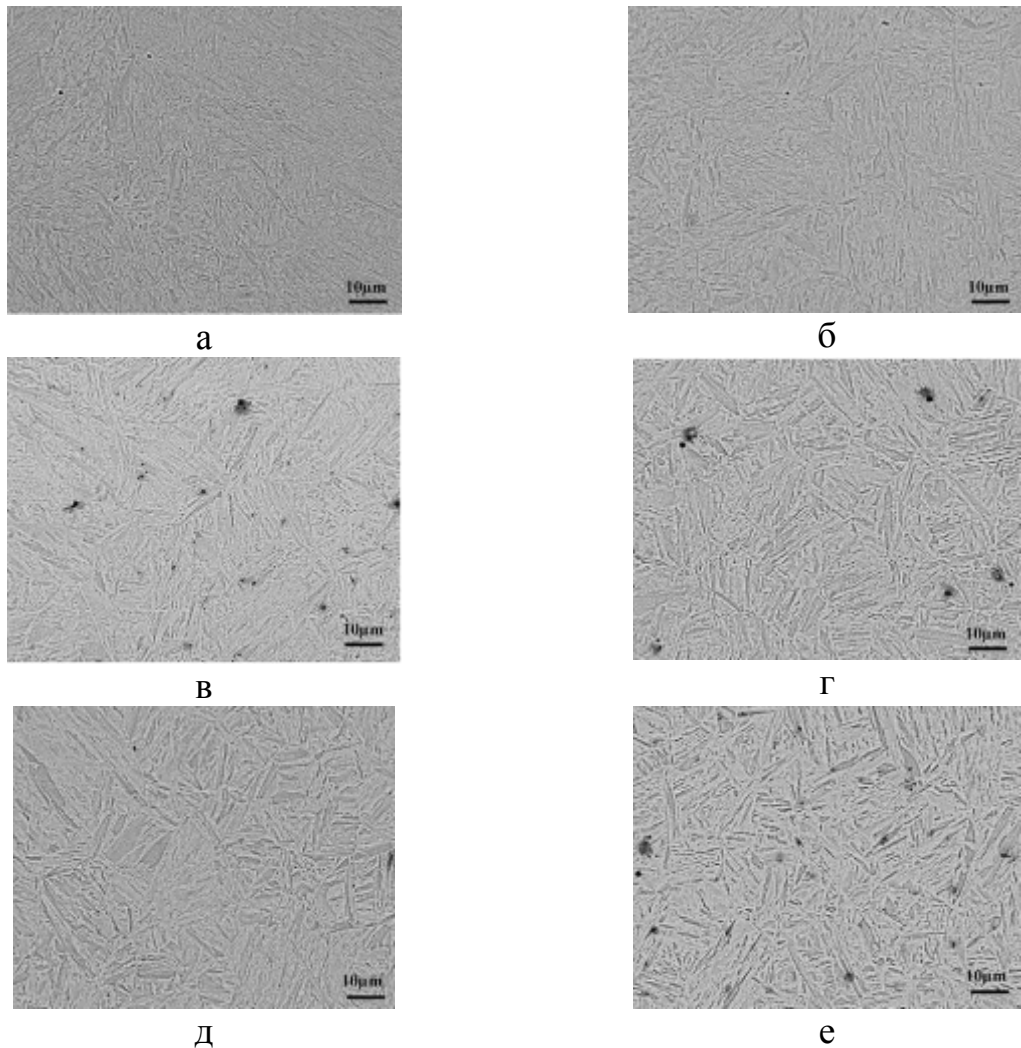


Рисунок 3.1 – Графік залежності твердості від температури гартування

Як видно з наведеного рисунку найбільше значення твердості для температури 910°C , далі сталь витримували протягом однієї години і далі гартування в олії до отримання мартенситної структури. Далі після гартування сталь нагрівали до температур відпускання 200, 300, 400, 500, 600°C протягом двох годин з наступним охолодженням на повітрі. Мікроструктура сталі наведена на рисунку 3.2.



а – гартування 910°C ; б – відпуск 200°C ; в – відпуск 300°C ; г – відпуск 400°C ; д – відпуск 500°C ; е – відпуск 600°C

Рисунок 3.2 – Мікроструктура сталі броні в залежності від температури

На рисунку 3.2 показано мікроструктуру сталі в загартованому стані рис 3.2 а і видно в структурі рейки мартенситу. І як видно з мікрофотографій з підвищенням температури відпуску мартенсит При 200°C (рисунку 3.2 б)

відбувається розпад тетрагонального мартенситу, що супроводжується зменшенням об'єму. Природа розпаду мартенситу як правилорозглядається з позицій кінетики перетворення, стану α -фази і карбідних перетворень, що проходять при відпусканні. На початку розпаду в кристалах мартенситу на дефектах кристалічної ґратки утворюються сегрегації вуглецю, а потім відбувається виділення проміжного низькотемпературного гексагонального ϵ -карбіду. Стосовно α -фази, ϵ -карбід орієнтований так, що дотримується співвідношення $(0001)\epsilon // (001)\alpha$, чим забезпечується когерентність на міжфазній границі. На першому етапі виділення ϵ -карбіду відбувається без дифузії вуглецю на значні відстані і вуглець для його утворення використовується з прилеглих до зародка в об'ємі матриці. У зв'язку з цим ріст кристала з часом припиняється. В результаті такого розпаду утворюються два твердих розчини, один із яких збіднений вуглецем і оточує кристал ϵ -карбіду, а другий твердий розчин має вихідний вміст вуглецю. Другий етап розпаду мартенситу протікає при температурах вище 150°C . Швидкість дифузії вуглецю при цьому зростає і кристали ϵ -карбідів збільшуються. Одночасно йде подальше утворення нових кристалів. Усе це призводить до ще більшого збіднення α -розчину вуглецем. Із підвищенням температури (рисунок 3.2, в) спостерігається розширенням зразка і пов'язане з розпадом $A_{\text{зал}}$. Структура після нагрівання до 300°C характеризується виділенням значної кількості проміжних ϵ -карбідів, орієнтаційно зв'язаних з $\langle$ -розчином, який містить ще близько 0,1%С. Когерентна границя між ϵ -карбідами і матрицею призводить до значних акомодацийних напружень у матриці, пластичність якої у зв'язку з невисоким залишковим вмістом вуглецю підвищується. Когерентна деформація створює значні напруження в системі ϵ – карбід–розчин, в результаті чого у фериті відбувається локальнийнаклеп. У результаті значного збіднення α -розчину вуглецем до 300°C в системі карбід– α -розчин так змінюються міжплощинні відстані, що їхні ґратки вже погано припасовуються одна до однієї і відбуваються усунення когерентності, та перетворення ϵ -карбіду в цементит. Це

призводить до усунення акомодацийної деформації ґраток, зникнення мікронапружень 2-го і 3-го роду. Це супроводжується значним скороченням (стиском) матеріалу зразка. При цих температурах також продовжується подальше виділення вуглецю з фериту і до 400°C його залишається біля 0,01%. При температурі вище 400°C, але починається вже на другому етапі першого перетворення і зв'язано з коагуляцією. До 300°C відбувається коагуляція ϵ -карбіду, а вище 400°C – Fe_3C . Процес відбувається завдяки переносу вуглецю через α -розчин від карбідних частинок меншого розміру до великих, ростом великих частинок і поступовим розчиненням, а потім і зникненням дрібних карбідів. В результаті коагуляції зменшується загальне число карбідних частинок, збільшуються розміри великих карбідів і відстань між ними.

Механічні властивості після термічної обробки в залежності від температури відпуску наведені в таблиці 3.1.

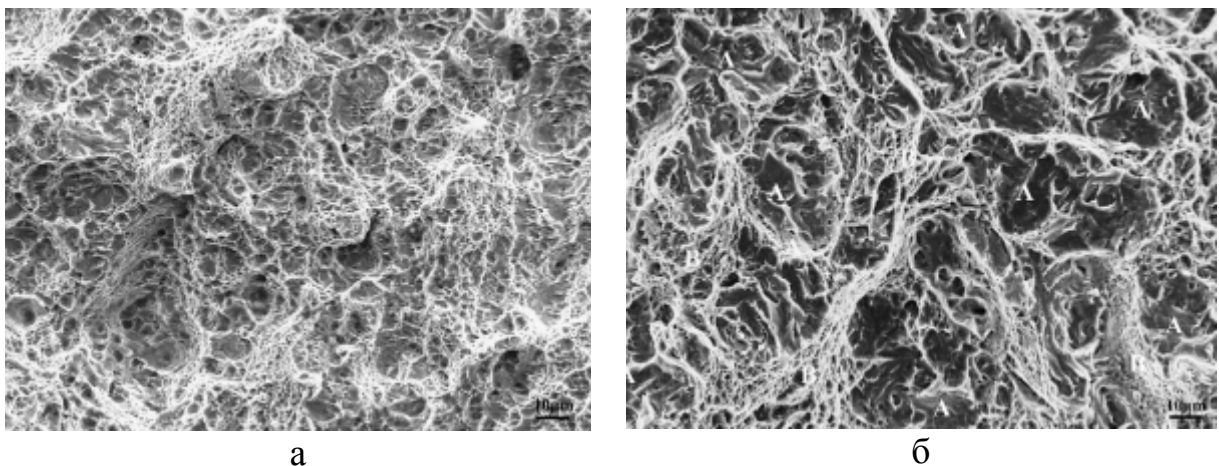
Таблиця 3.1 – Механічні властивості сталі для броні в залежності від температури відпуску

Температура °C	σ_T МПа	σ_B МПа	HRC	δ , %	DOP, мм	KCU Дж/см ²
0	1367	1900	54	9	16,5	19
200	1417	1808	53	12	12,6	31
300	1463	1700	50	7,5	15,5	22
400	1433	1587	48	10	16,0	26
500	1286	1409	45	12	17,6	38
600	1146	1247	39	16	20,5	85

Як видно з таблиці, механічні властивості сталі значно змінюються в залежності від температури відпуску. Границя текучості змінюється в діапазоні 1146...1463 МПа, а границя міцності в межах 1247...1900 МПа. У загартованому стані матеріал має найвищий рівень міцності і

твердості. Відповідно, що відносне видовження збільшується з температурою відпуску. Але при цьому спостерігається зниження міцності та пластичності при 300°C. Це можна пояснити відпускнуо крихкістю. Ударна в'язкість дає хорошу індикацію енергії необхідні для утворення та поширення тріщини КСУ змінюється в межах 19–85 Дж/см² в залежності від температури відпуску. З підвищенням температури відпуску енергія удару зростає до 31 Дж/см² при 200°C, з подальшим падінням до 22 Дж/см² при 300°C. З подальшим підвищенням температури відпуску ударна в'язкість зростає.

Для того, що охарактеризувати механізм руйнування було досліджено за допомогою скануючої електронної мікроскопії, поверхню руйнування зразків після ударного згину.



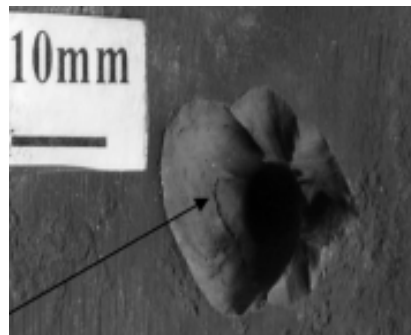
а – після гартування; б – при температурі відпускання 300°C

Рисунок 3.3 – Мікроструктура рельєфу зламу після руйнування

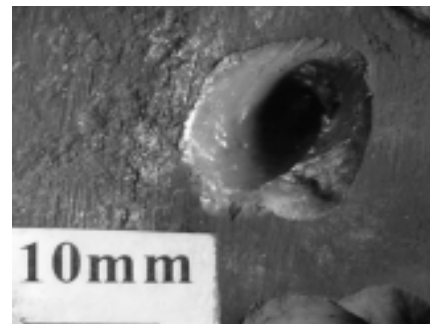
Рельєф руйнування вказує на пластичне руйнування в загартованому матеріалі (рис. 3.3а). Наявність слідів пластичної деформації позначається, перш за все, на волокнистості зламу та витягнутості волокон; руйнування витягнутих волокон відбувається з утворенням матових, переважно темних по фарбуванню майданчиків руйнування, пластичний злам, внаслідок сильної деформації поверхневих зерен не має кристалічного блиску. Морфологія ямочок та пошкодження вказують на характер руйнування змішаного типу,

яке спостерігається при відпусканні зразку при 300°C (рис.3.3 б) одна області вказує на тріщину квазіскола, а область В уявляє собою пластичну форму руйнування. У змішаних зламів крихкі зони не займають усієї поверхні руйнування. Крихка ділянка на зламі відокремлюється від пластичного досить чітко. Ця лінія має опуклість від осередку руйнування.

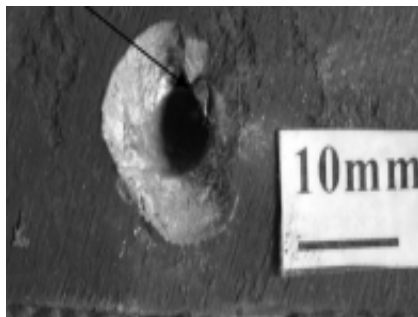
Після балістичних випробувань кожне місце удару піддавалось детальному огляду. Спочатку всі отвори на передній грані пластина-мішені була сфотографована. На рисунку 3.4 показано макроскопічне порівняння отворів, утворених на передніх гранях сталевих мішеней, при різних температурах термічної обробки.



а



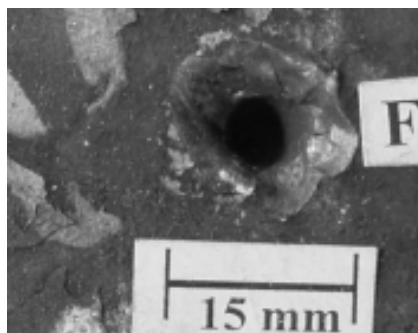
б



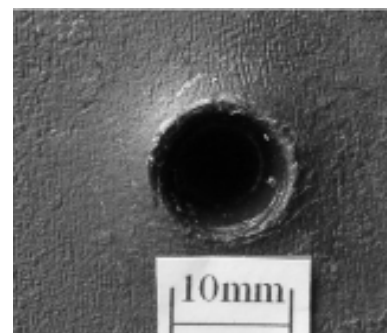
в



г



д



е

а – загартований зразок; б – відпуск 200°C; в – відпуск 300°C; г – відпуск 400°C; д – відпуск 500°C; е – відпуск 600°C

Рисунок 3.4 - Види лицьової сторони мішеней після пробиття снарядом

Зламана пелюстка спостерігається на передній поверхні всіх термічно оброблених мішеней, крім із мішені відпущеної при температурі 600°C. Навколо також видно утворення губ периферії кратера. Усередині стінки кратера спостерігаються тріщини як для загартованих, так і для 300°C відпущених мішеней (рисунок 3.4 а, в). На задній стороні мішені не спостерігається жодних пошкоджень або опуклостей пластини.

Під час вимірювання глибини прострілу, поширена помилка виникає через губу, утворену на передній поверхні пластини. Щоб цього уникнути, був застосований простий метод виміряти глибину проникнення пластин. На рисунку 3.5 показано схема вимірювання глибини проникнення.

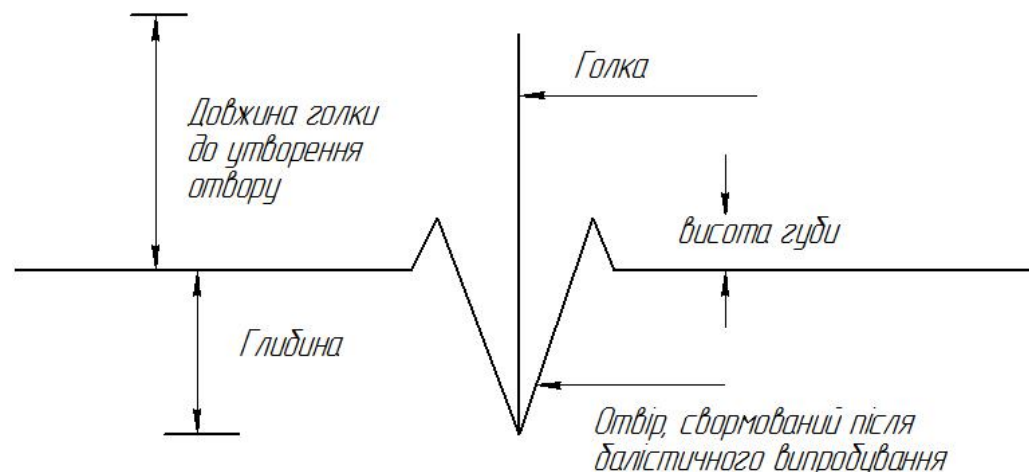


Рисунок 3.5 - Схема методу вимірювання глибини проникнення

В цьому методі використовується тонка голка діаметром 0,75 мм із загостреним кінчиком вставлений у кратер. Далі слідкуємо за тим, щоб максимально торкнутися найнижчої частини кратера. Частина голки залишається над пластиною, вимірюється щохвилино за допомогою штангенциркуля. Потім вираховуючи його із загальної довжини голки, фактична глибина виходить проникнення. При нормальному куті цей спосіб здається, забезпечує більш безпомилкові вимірювання глибини прострілу.

Середні значення глибини прострілу для всіх термічно оброблених пластин наведено в таблиці 3.1.

Рисунок 3.6 ілюструє зміну вимірюваних балістичних характеристик в залежності від глибини проникнення.. Діапазон температур відпуску глибини проникнення в пластинах може бути розділений на 4 області АВ, ВС, CD і DE, як показано на рисунку 3.6.

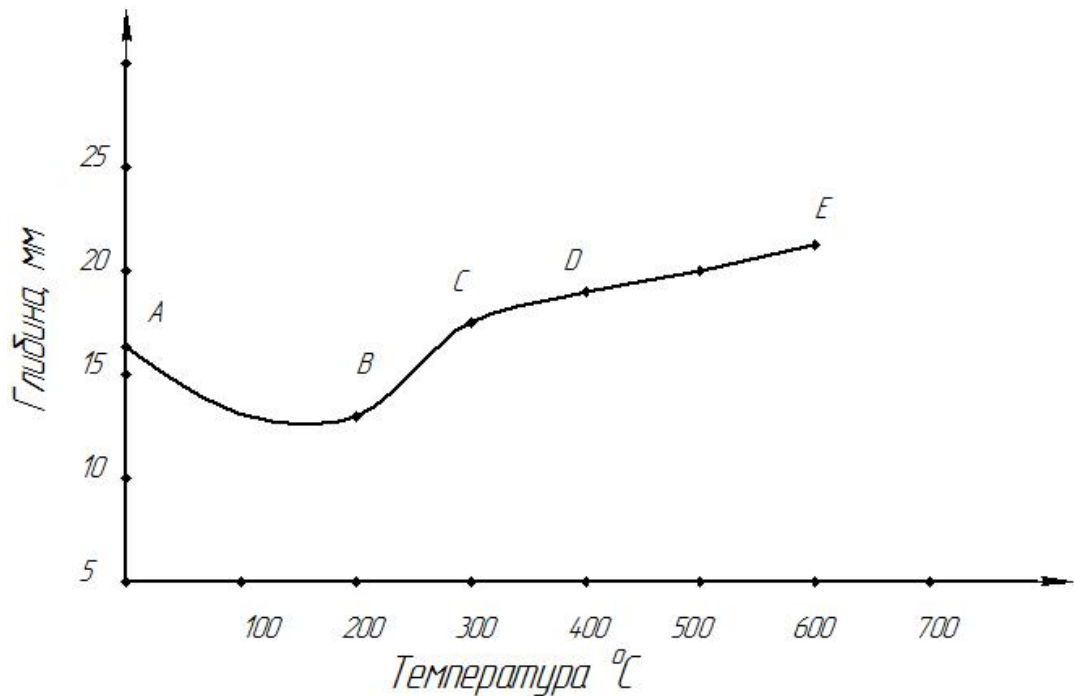


Рисунок 3.6 – Залежність глибини проникнення від температури відпускання

У першій області АВ, що відповідає температурі відпуску до 200°C спостерігається зниження глибини проникнення зі збільшенням температури відпуску.

У другій області до н.е., відповідає гартуванню температура 200...300°C, невелике, але значне підвищення глибини прострілу спостерігається. Третя ділянка CD демонструє незначне збільшення глибини прострілу. Спостерігається стійке і різке підвищення глибини прострілу в четвертій області DE, при температурах вище 400°C.

Із дослідження на рис. 3.1 виявлено, що повна аустенітизація відбувається при 808°C . Проте при вимірюванні твердості після гартування було виявлено, що аустенітизація при 910°C з подальшим гартуванням в маслі надає матеріалу максимальну твердість. На рисунку 3.7 показана рентгенівська дифракція термооброблених пластин, загартованих при температурі 850°C з охолодженням до кімнатної температури.

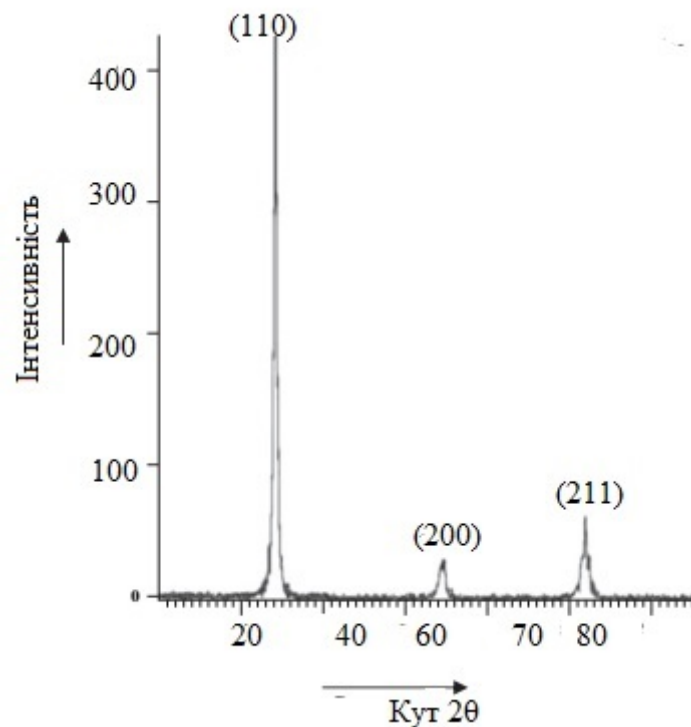


Рисунок 3.7 – Рентгенограма термообробленої пластини загартованої від температури 850°C

Рентгенограма чітко демонструє піки високої інтенсивності що відповідає лише фазі мартенсит. Значення меншої твердості, що спостерігаються при гартуванні нижче 910°C , можуть бути, ймовірно, пояснюється утворенням більш м'яких фаз, таких як ферит, який може не виявляється при рентгенівському випромінюванні через низьку об'ємну частку ($<5\%$). Спостереження максимальної твердості при 910°C можна пояснити, розчиненням легувальних елементів. Розчинення легувальних елементів, у тому числі вуглецю, з карбідів збільшується з підвищенням

температури аустенізації. Таким чином, гартування від вищої температури аустенізації призводить до збільшення кількості вуглецю в розчині та подальшого збільшення твердості. Нагрівання більше 910°C , зростання зерна утвореного аустеніту стає надмірним, що погіршує твердість. Зростанням зерна вище 910°C може бути пов'язано з відсутністю карбідів, які розташовані на границях зерен. Як і очікувалося, спостерігається найвищий рівень міцності та твердості в загартованому стані. Це пов'язано з трансформацією більш твердої мартенситної фази з аустеніту під час гартування. Утворення мартенситу супроводжується великою спотворенням гратки, яке призводить до збільшення міцності і твердості сталі. Проте внутрішні напруження, що виникають під час мартенситного перетворення призводить до значного зниження пластичності та в'язкості, як видно з таблиці 3.1. Процес відпускання зменшує внутрішні напруження через границі рейки, спричиняючи перегрупування атомів. Температури відпускання нижче 300°C , не усувають утворені внутрішні напруження. Повне усунення напружень при 300°C супроводжується перегрупуванням та обмеження руху дислокацій спричиняє до збільшення границі текучості.

При відпусканні вище 300°C зниження пластичності відбувалося внаслідок наступних ознак: а) огрублення мартенситних рейок; б) легке переміщення дислокацій; в) утворення цементиту.

Наявність тріщин на внутрішній стінці отвору після дослідження пострілом як загартованих так і відпущених при 300°C мішеней (рис.3.4 а, б), можна пояснити втратою пластичності та міцності. Зниження пластичності та ударної в'язкості при 300°C свідчить про наявність відпускнуї крихкості. Відпускну крихкість можна спостерігати на фрактографії зламу зразка, відпущеного при 300°C (рис. 3.3 б). В наслідок крихкості відбувається зміна режиму роботи руйнування від повного пластичного до змішаного типу руйнування. Відпускуна крихкість властива цілому ряду сталей при вищезгаданій температурі відпускання і характеризується зниженою ударною в'язкістю. Причина її появи - виділення карбідів по границям зерен.

Це спричиняє крихкість границь і відповідно крихкість усієї деталі. Збільшення температури відпускання викликає розпад мартенситу по всьому об'єму деталі та відповідно вирівнювання структури, що спричиняє підвищення в'язкості.

Цей вид крихкості притаманний тією чи іншою мірою всім сталям. Відмінною рисою крихкості першого роду є її необоротний характер; повторне відпускання при тій же температурі не покращує в'язкості. Сталь у стані незворотної відпускну крихкості має блискучий міжкристалічний злам. Крихкий стан обумовлено виникненням об'ємно-напруженого стану, що виходить при неоднорідному розпаді мартенситу. Нагартування усуває відпускну крихкість сталі або запобігає її розвитку (при пластичній деформації, що проводиться до виникнення відпускну крихкості) - у тих випадках, коли випробування сталі виробляють у напрямку пластичної деформації.

Якщо розглядати балістичні характеристики, то можна зробити висновок, що зі збільшенням в температура відпуску глибина прострілу збільшується або зменшується залежно від впливу на механічні властивості. Глибина прострілу поступово зростає зі зменшенням міцності на розрив. Крім того глибина прострілу залежить не тільки від зміну значень міцності, пластичності та в'язкості, але також залежить від ступеня цієї зміни.

Збільшення твердості цільової пластини посилює ерозію та руйнування снаряда, що, у свою чергу, забезпечує меншу проникаючу здатність. Глибина прострілу в загартованому стані спостерігається більше, ніж у сталі відпущеної при 200°C, хоча має дуже високу твердість. Це може бути пояснене фактом наявності внутрішніх напружень при нижчій ударній в'язкості сталі ніж у відпущеному стані. Хоча значення міцності найвищі, але низькі міцність і наявність внутрішні напружень спричиняють значну глибину прострілу. З відпуском при 200°C внутрішні напруження зникають, і міцність сталі збільшується і відповідно зменшується глибина прострілу. З підвищенням температури відпускання твердість цільових пластин

знижується, що призводить до меншого опору і, отже, збільшення глибини прострілу.

Для того, щоб краще зрозуміти вплив температури відпускання на механічні властивості та балістичні характеристики досліджувана сталь представлена в різних температурних областях (рис 3.6), а в таблиці 3.2 разом із відповідними процентними змінами в механічні властивості та глибина прострілу відповідно до кожної області.

Таблиця 3.2 - Зміна механічних властивостей в інтервалі температур

№	Область	Температурний інтервал °C	Механічні властивості
1	AB	0...200	Глибина прострілу (24%) σ_b , МПа (3.6%) HRC (5.3%) δ , % (25%) KCU, Дж/см ² (63%)
2	BC	200...300	Глибина прострілу (23%) σ_b , МПа (3%) HRC (6,7%) δ , % (37%) KCU, Дж/см ² (29%)
3	CD	300...400	Глибина прострілу (28%) σ_b , МПа (2%) HRC (5.4%) δ , % (33%) KCU, Дж/см ² (18%)
4	DE	400...600	Глибина прострілу (28%) σ_b , МПа (20%) HRC (22%) δ , % (56%) KCU, Дж/см ² (227%)

Згідно таблиці 3.2 вплив різних механічних властивостей та глибини прострілу більш помітний, коли відсоткові зміни властивостей обчислені у відповідному температурному інтервалі. В області АВ (температура відпуску діапазоні 0...200°C), твердість зменшується приблизно на 5% при 200°C від значень після гартування, протеспостерігається збільшення на 3,6% ударної

в'язкості при 200°C. Глибина прострілу зменшується на значні 24%. Таким чином, поліпшення балістичних характеристик прямо пропорційно збільшенню пластичності (25%) та ударної в'язкості (63%). В області температурного діапазону 200...300°C), хоча границя міцності збільшується майже на 3% зниження інших властивостей, таких як твердість, відносне видовження та ударна в'язкість призводить до істотного збільшення глибини прострілу. В області CD (діапазон температур відпуску 300...400°C), спостерігається зниження границі міцності та значення твердості, а відносне видовження подовження та ударна в'язкість збільшуються. Зниження міцності та твердості є більш-менш збалансованим на відміну від збільшенням пластичності та ударної в'язкості. Це дало результат у незначній зміні глибини прострілу, що спостерігається в цій області. Ділянка DE (діапазон температур відпускання 400...600°C), показує аналогічну зміну у властивостях CD. Спостерігається зниження границі міцності та твердості та збільшення відносного видовження та ударної в'язкості із підвищенням температури відпуску. Незважаючи на те, що спостерігається значне збільшення пластичності (56%) і значення ударної в'язкості (227%) на цій ділянці через помітне зниження границі міцності (20%) і значень твердості (22%) глибина швидко зростає. Низька міцність і твердість зменшує поглинання енергії удару матеріалом. Міцність матеріалу набагато важливіша характеристика, ніж пластичність проти недеформованих снарядів стрілецької зброї. Звідси балістичні характеристики матеріалу значно погіршуються.

Отже, балістичні властивості є складною функцією багатьох властивостей як границя текучості, міцність на розрив, твердість, пластичність, ударна в'язкість. Жодна з властивостей окремо не є самодостатньо відповідним чином спрогнозувати балістичну поведінку. Оптимальне поєднання міцності, твердості та міцності має важливе значення для задовільних балістичних характеристик, яких можна досягти обраним циклом термічної обробки, а саме гартування від температури 910°C та

відпускання при 200°C . Глибина проникнення (прострілу) не є лінійною функцією міцності та/або значенням міцності. Ступінь зміни механічних властивостей змінюється по-різному в залежності від температури відпускання. Зміна механічних властивостей, у свою чергу, призводить до збільшення або зменшення глибини проникнення. Існує значення граничної міцності нижче якого глибина проникнення різко зростає, як це спостерігається у випадку при відпусканні вище 400°C .

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Тенденції розвитку світового ринку бронепластин

Повномасштабне вторгнення росії в Україну вимагає як найкращого покращення озброєння та забезпечення Збройних Сил України (ЗСУ) високотехнологічним озброєнням та забезпечення армії надійним захистом.

Основні аспекти ВТП і ОПП визначаються наступними передумовами: тенденції науково-технічного прогресу в області озброєнь; способи і методи ведення озброєної боротьби; оперативно-тактичні і технічні можливості вірогідного супротивника; досягнутий рівень технічної оснащеності української армії; науково-технічний, технологічний і виробничий потенціал оборонної промисловості, її здатність задовольнити потреби ЗСУ в озброєнні необхідної якості, бойових і експлуатаційних характеристик та потрібної кількості; можливість доступу на світовому ринку озброєння до зразків військової техніки та технологій для їх закупівлі та створення вітчизняних аналогів.

Практичне втілення ВТП і ОПП, як правило, пов'язане з необхідністю:

а) вирішення відомих протиріч між військовою необхідністю і оборонною достатністю, між оборонною достатністю і ресурсними можливостями;

б) перевірки прийнятих рішень, щодо технічного оснащення ЗСУ, в реальних умовах.

Україна має високий науково-технічний потенціал, який дозволяє їй входити у десятку найкращих виробників військової техніки. Це дає можливість щорічно отримувати до бюджету приблизно 1 млрд. дол. США.

Як відомо учасники АТО забезпечувались бронежилетами укомплектованими в основному бронеплитами, або елементами для їх виготовлення, імпортного виробництва. З відкритих джерел інформації

відомо, що це складні багатошарові композитні плити, одним з основних елементів яких є керамічна плитка з карбідів бору або кремнію, а також оксиду алюмінію. Проте постає необхідність виробництва власних бронежилетів. Промисловий випуск бронежилетів з керамічними пластинами на основі карбиду бору було освоєно в Україні на початку 80-х років минулого сторіччя. Однак під кінець цих років у період розвалу Радянського Союзу виробництво їх повністю знищено. У 2014 р. нами розпочато розробку та освоєння бронеплит 6-го класу захисту, де як керамічна складова використовується шар на основі високощільного нанозернистого оксиду. Базою для успішної реалізації цього проекту є такі чинники: — науково-дослідний та технологічний досвід упродовж 30 років у царині розробки сучасних керамічних матеріалів інструментального й конструкційного призначення в т. ч. для роботи в умовах дії значних навантажень;

— наявність необхідної матеріально-технічної бази для досліджень та серійного випуску готової продукції.

Основу ідеології вирішення цієї проблеми становить критерій: «якість-вага-ціна» розроблених матеріалів.

Основна ідея розгляду даної роботи викладена у таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Актуалізація виробництва

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Розробка бронепластин	1. Виготовлення бронежилетів 6го класу захисту	Покращення захисту бійців ЗСУ
	2. Виготовлення бронепластин із високими захисними	Зменшення ціни та покращення якості

	властивостями і низькою вагою	
--	----------------------------------	--

Для реалізації ідеї із найбільшою для підприємства вигодою, необхідно проаналізувати характеристику потенційного ринку. Дана характеристика представлена у вигляді таблиці 4.2:

Таблиця 4.2 - Попередня характеристика потенційного ринку

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	2	3
1	Головні конкуренти	Львівський оборонний кластер
		Харківський завод засобів індивідуального захисту
		НВП «Темп-3000
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Війна в Україні, мобілізація, необхідність у забезпеченні ЗСУ якісними бронежилетами
3	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	1.Складне і вартісне устаткування;2. Необхідність у довготривалих випробуваннях. 3. Складність ліцензування та виходу на ринок 4. Необхідність високого інтелектуального потенціалу. 5. Високі вимоги до стандартизації та сертифікації як самого виробника так і продукції, яку він виробляє.
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Згідно з Ліцензійними умовами введений цілий ряд вимог, що стосуються нормативно-правової документації, проектної документації, вимог до санітарних норм, охорони праці. ЦНДІ ОВТ ЗСУ потребує теоретичної, методологічної і методичної основи для ухвалення обґрунтованих управлінських рішень.

Визначаємо попередні характеристики потенційних груп клієнтів, їх та сформуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Попередня характеристика потенційних клієнтів

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів (користувачів)
Необхідність у надійному захисті діючої армії ЗСУ	ЗСУ	ДСТУ, державні екологічні норми; Цінова політика;	- високий рівень захисту; - мінімальна вага; - низька вартість; - комфортність у носінні; - довговічність;

Черговим етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (таблиця 4.4) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін.

Таблиця 4.4 - SWOT- аналіз ПАТ «Мотор Січ»

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
1	2

- виробництво бронежилетів з високим рівнем захисту - велика кількість досвідчених кваліфікаційних кадрів та наукового потенціалу - достатня забезпеченість власними коштами (коефіцієнт фінансової незалежності близький до одиниці).	- недостатня ємність внутрішнього ринку; - значна частина поставляється із країн партнерів
--	---

Продовження таблиці 4.4

1	2
Можливості:	Загрози:
- вихід на міжнародний ринок; - підтримка з боку держави; - створення надійного бронежилету	- політична нестабільність (підстава сумнівів у інститутах правління); - нестабільність національної валюти; - війна між Росією та Україною, загроза обстрілів із країни агресора; - дорожчання імпортової сировини

Події останнього часу переконливо доводять що поставлені задачі відносяться до першочергових пріоритетних розробок, як гаранта суверенітету і територіальної цілісності країни.

4.2 Розрахунок кошторису витрат на проведення науково-дослідницької роботи

Основною проблемою висвітленою в дипломній роботі є можливості покращення властивостей бронепластин для подальшого використання як захист діючого складу воїнів ЗСУ.

До складу витрат на виконання науково-дослідницької роботи включається вартість всіх ресурсів, необхідних для реалізації комплексу робіт.

Визначаємо витрати на оплату праці з урахуванням балансу робочого часу одного працівника (таблиця 4.5, 4.6), визначаємо суму ЄСВ.

При виробництві швидкорізальних сталей застосовують виробничі потужності плавильної дільниці, дільниці токарної обробки, поверхневої обробки, термічної дільниці та дільниці травлення.

Таблиця 4.5 - Склад, чисельність та фонд заробітної плати виробничих працівників

Категорії працівників	Наявна чисельність, осіб		Тарифна ставка, грн / годину	Еф. фонд робочого часу,	Тарифний заробіток, грн.	Преміальний відсоток	Розмір премії, тис, грн.	Річ. фонд зар. плати, тис, грн	ЄСВ, тис, грн.
	за зміну	на добу							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Виробничі працівники, в тому числі: 1.Основні працівники	15	15	76	190	346446,0	50	103933,8	450379,8	76218,1
2.Допоміжні працівники	2	2	72	198	180675,0	50	54202,5	234877,5	39748,5
3.Черговий та ремонтний персонал	1	1	50	206	173452,0	50	52035,6	225487,6	38159,4

Разом виробничих працівників	18	18	-	Σ	700573,0	-	210171,9	910744,9	154126,0
------------------------------------	----	----	---	----------	----------	---	----------	----------	----------

Таким чином фонд заробітної плати основних працівників з урахуванням преміальних виплат складає 910744,9грн, тобто 50,6 грн. одну бронепластину. Сума ЄСВ встановлена на рівні 22% від тарифного заробітку. Сума ЄСВ становитиме 154126 грн.

Визначаємо склад, чисельність та фонд заробітної плати адмінперсоналу (таблиця 4.7). Розраховуємо загальний посадовий оклад як добуток тарифу та 10% від річного фонду часу (186 годин) відповідної кількості працівників.

Таблиця 4.6 - Склад, чисельність та фонд заробітної плати адмінперсоналу

Посада	Наявна Кількість осіб	Загальний Посадовий оклад, грн	Преміаль- ний відсоток до окладу, %	Сума премії грн	Загальний фонд оплати праці, грн	ЄСВ, грн
1	2	3	4	5	6	7
Начальник цеху	1	17093,4	20,0	3418,7	20512,1	3760,6
Заступники	2	29760,0	20,0	5952,0	35712,0	6547,2
Керівники груп	5	51708,0	20	10341,6	62049,6	11375,76
Майстри	5	42 408,0	20	8481,6	50 889,6	9329,76

дільниць						
Керівник ПДБ	1	11346,0	20,0	2269,2	13615,2	2496,1
Керівник ТБ	1	11904,0	20,0	2380,8	14284,8	2618,9
Керівник ФЕУ	1	10230,0	20,0	2046,0	12276,0	2250,6
Керівник БВ	1	11160,0	20,0	2232,0	13392,0	2455,2
Керівник БТЗ	1	9858,0	20,0	1971,6	11829,6	2168,8
Керівник ВТК	1	11160,0	20,0	2232,0	13392,0	2455,2

Продовження таблиці 4.6

1	2	3	4	5	6	7
Механік цеху	1	9858,0	20,0	1971,6	11829,6	2168,8
Енергетик	1	9114,0	20,0	1822,8	10936,8	2005,1
Робітники ПДБ	3	22096,8	20,0	4419,4	26516,2	4861,3
Робітники ТБ	5	39060,0	20,0	7812,0	46872,0	8593,2
Робітники ФЕУ	2	15810,0	20,0	3162,0	18972,0	3478,2
Робітники БО	2	16963,2	20,0	3392,6	20355,8	3731,9
Робітники БТЗ	2	14359,2	20,0	2871,8	17231,0	3159,0
Керівники	5	55800,0	20,0	11160,0	66960,0	12276,0

лабораторій						
Робітники УК	2	16740,0	20,0	3348,0	20088,0	3682,8
Голов. Інженер	1	15047,4	20,0	3009,5	18056,9	3310,4
Конструктор	1	14061,6	20,0	2812,3	16873,9	3093,6
Майстри КБ	5	54498,0	20,0	10899,6	65397,6	11989,6
Головний металург	1	15177,6	20,0	3035,5	18213,1	3339,1
Головний метролог	1	11122,8	20,0	2224,6	13347,4	2447,0
Старший метролог	1	9653,4	20,0	1930,7	11584,1	2123,7

Продовження таблиці 4.6

1	2	3	4	5	6	7
Головний технолог	1	11160,0	20,0	2232,0	13392,0	2455,2
Майстер контролер	5	7179,0	20,0	1435,8	8614,8	1579,4
Всього	68	632566,8	-	126513,4	759080,2	139164,7

Таким чином, річний фонд заробітної плати адмінперсоналу складатиме 759080,2 грн. з урахуванням преміальних виплат, тобто 42,17 грн. на одну лопатку. Сума ЄСВ для адміністративних працівників на рік становитиме 139164,7 грн, тобто 7,73 грн на одну деталь. Загальний ЄСВ становить 16,29 грн на одну деталь або 293290,7 грн.

Розраховуємо матеріальні витрати на виконання річної виробничої програми виготовлення бронежилетів.

Річна програма випуску бронежилетів 100000 штук.

Таблиця 4.7 - Сировинні витрати

Матеріальні витрати	Норматив у розрахунку на один. Продукт, %	Обсяг сировини, кг	Ціна, грн/кг	Сума грн
1	2	3	4	5
Fe	83,71	10000	48	48000
C	4,16	500	7.2	3600
Mo	3,3	360	300	108000
V	0,015	100	600	60000
Ni	5,5	600	201,2	120720
Разом	100	11560	-	232320

Таким чином, загальні сировинні витрати на 100000бронежилетів, що становлять річну програму випуску, складають 2200000 грн, тобто 22 гривень копійки на кожну бронепластину.

Розраховуємо вартість спожитих послуг, під час виробництва (табл. 4.8).

До розрахунку електропостачання необхідно віднести вартість електроенергії витраченої на переплавлення, токарну обробку, зачистку, полірування, термічну обробку у печах, травлення у електролітичних ваннах та освітлення відповідних ділянок.

Тариф на купівлю електроенергії ПАТ «Запоріжжяобленерго» складає 1,705 грн за кВт/год. Тариф на розподіл електроенергії для підприємств другого класу складає 0,653 грн за кВт/год. Таким чином вартість одного кВт/год складає 2,356 грн.

Таблиця 4.8 - Розрахунок вартості спожитих послуг

Вид послуг	Норматив у розрахунку на один. продук. (послуг)	Виробнича програма	Тарифи	Сума грн
1	2	3	4	5
Електропостачання	33,49	18 000	2,356	602 908,2
Водопостачання	3,21	18 000	54,888	57 841,2
Теплопостачання	5,76	18 000	34,56	103 680,0
Газопостачання	7,25	18 000	-	130 620,6
Разом	49,72	-	-	895 050,0

Витрата електроенергії загальна на одну садку складає 600 кВт/год, що становить 1413,6 грн, тобто 18,848 грн на одну бронепластину.

Витрати на освітлення на годину складають 23,56 грн.

Вартість електроенергії першої дільниці складає 19,7904 грн на одні деталь. Вартість електроенергії на токарну обробку складає 4,7832 грн на одну деталь. Вартість всієї поверхневої обробки складатиме 2,5601 грн на одну деталь. Вартість термічної обробки складатиме 4,4764 грн на одну деталь. Вартість електроенергії на травлення складатиме 1,8848 грн на одну деталь.

Загальні витрати на електроенергію становлять 33,4949 грн на одну деталь.

Тариф на водопостачання та водовідведення становить 54,888 грн на 12 м³.

Вартість тепла становить 34,56 грн на 1 м² у зимовий період. Вартість газу розраховується виходячи із використання аргону у термічній обробці та подачі кисню в охолоджувачі.

Визначаємо річну суму амортизації з урахуванням первісної вартості основних засобів та норми амортизації (табл. 4.9). Час використання становить 10% від загального річного на дільниці. Амортизація розраховується за наступною формулою:

$$B_p = (B_n^n - Z_n^n + \sum Z_n^{n-1}) \times A^n / 100 \quad (4.1)$$

де B_n^n – початкова вартість основних засобів n-ного періоду;

Z_n^n – вартість засобів, що вибули за відповідний період;

Z_n – вартість засобів, що надійшли за відповідний період.

Таблиця 4.9 - Розрахунок амортизації

Група основних засобів	Норма амортизації, %	Первісна вартість ОЗ тис.грн	Надійшло ОЗ, тис. грн.	Вибуло ОЗ тис. грн.	Сума А, тис. грн.
1	2	3	4	5	6
Будівлі	2	23667	-	-	473,3
Споруди	3	7560	-	-	226,8
Обладнання	8	93720	1200	5810	7128,8

Продовження таблиці 4.9

1	2	3	4	5	6
Інструменти, інвентар	10	2250	150	-	240,0
Інші основні засоби	10	275	25	-	30,0
Інвентарна тара	20	500	120	100	104,0
Предмети прокату	10	1 280	120	200	120,0
Разом	-	134 792	1 845	6 360	8598,9

Оскільки важко здогадатися в якому з місяців біли введені які кошти, зробимо загальний розрахунок витрат на рік за остаточною вартістю ОЗ із нормою амортизації, і віднесемо 10 % її до вартості випуску деталей

Таким чином загальна амортизація складає 8598900 грн.

Таблиця 4.10 - Кошторис витрат

Калькуляційні статті	Витрати	
	у розрахунку на одиницю, грн.	у розрахунку на весь обсяг, грн.
1	2	3
Сировина та матеріали	55,49	998550,00
Електропостачання	33,49	602908,20
Водопостачання	3,21	57841,20
Теплопостачання	5,76	103680,00
Газопостачання	7,25	130620,60
Разом	105,2	1 893600,00

Продовження таблиці 4.10

1	2	3
Заробітна плата основних виробничих працівників	50,6	910744,90
ЄСВ	16,29	293290,70
амортизація	47,77	859890,00
Загальновиробничі витрати	15,56	280 072,10
Виробнича собівартість	250,4	4 507 200
Адміністративні витрати	42,17	759 080,20
Інші витрати	2,11	37 980,00
Повна собівартість	294,68	5 304 240

Амортизація, яку можна віднести на виробництво інструменту відповідно становить 859890 грн, або 47,77 грн на одну бронепластину.

Визначаємо повну собівартість одиниці продукції.

Витрати на утримання та експлуатацію основних засобів (поточний ремонт) приймаємо за 0,2% від фактичної вартості

Таким чином повна собівартість деталей 294,68 грн.

Очікувана ціна деталей складає 325 грн/шт.

Умовно спростимо інфляційні очікування та реальну зміну вартості сировини та послуг.

Визначаємо очікуваний дохід та фінансовий результат.

Таким чином, очікуваний дохід від реалізації швидкорізального інструменту становить 5850000 гривень. Очікуваний фінансовий результат становить 545760 гривень.

Таким чином при виконанні плану з виробництва чистий прибуток складатиме в розмірі 545760 гривень.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі дипломної роботи надані основні заходи з охорони праці при дослідженні можливостей підвищення експлуатаційних властивостей бронепластин.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Будь-яка небезпека реалізується завдаючи шкоди завдяки якоїсь причини або кількох причин. Без причин немає реальних небезпек. Отже, запобігання небезпек або захист від них базується на знанні причин їх виникнення. Між реалізованими небезпеками і причинами їх виникнення існує причинно-наслідковий зв'язок, небезпека – це наслідок якоїсь причини, яка, в свою чергу є наслідком іншої причини.

- небезпеки які пов'язані з порушеннями роботодавцями вимог НПА ОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників». Вимог щодо облаштування виробничих приміщень, що може бути пов'язано з втратою конструктивної міцності будівель та споруд, незабезпеченням придатних метеорологічних умов, перевищенням гранично-допустимих концентрацій шкідливих речовин, недостатнього рівня освітлення;

- небезпеки які пов'язані, з порушенням вимог ергономіки стосовно, організації робочих місць дослідників в приміщенні дослідницької лабораторії, зокрема невідповідності розмірів робочих зон., а також максимально можливої кількості осіб, що можуть там перебувати відповідно до СНиП 2.09.04 – 87 «Административные и бытовые здания» та СНиП 2.09.02 – 85 «Производственные здания», нерационального розташування дослідницького приладдя та офісного обладнання;

- можливість ураження електричним струмом внаслідок невиконання правил з електробезпеки, несправності обладнання, відсутності заземлення, що може призвести до електричних травм або летального наслідку;

- можливість отримання механічних травм при підготовці зразків або дослідницьких виробів до термічної обробки що може бути пов'язано з порушеннями правил охорони праці під час роботи з абразивним інструментом (НПА ОП 28.0-1.30-12) зокрема: використання абразивного інструменту який не пройшов випробування, порушення правил експлуатації, що може призвести до тяжких травм;

- небезпеки які пов'язані з дослідженням структури металуметодом оптичної металографії з використанням оптичних мікроскопів зокрема: ушкодження органів зору при хибній комбінації світлофільтрів, об'єктивів та окулярів;

- можливість отримання механічних травм внаслідок порушень правил з охорони праці при підготовці зразків для випробування твердості, механічних та технологічних властивостей та при безпосередніх випробуваннях. Основними небезпеками можуть бути: використання застарілого та небезпечного обладнання, порушення умов проведення випробувань;

- 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;

- незадовільні параметри мікроклімату які повинні відповідати фізіологічним потребам організму працюючих, із врахування енергетичних витрат на виконувану роботу згідно з ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообміну, що може призвести до загальних захворювань. Невідповідність вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення» освітлення робочих зон дослідницької лабораторії внаслідок виходу з ладу освітлювальних приладів або хибного розрахунку їх кількості та потужності, що може призвести до погіршення зору;

- 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 споживної безпеки, що може привести до пожежі.

5.2 Заходи по забезпеченню безпеки

- Згідно вимог НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» передбачено:

усі працівники повинні пройти навчання та перевірку знань з питань охорони праці відповідно до «Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці», затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці (Держпраці) від 26.01.2005 №15.

Роботодавець повинен забезпечити повну і вичерпну інформацію працівників з питань охорони праці як відносно підприємства в цілому так і відносно специфіки виконуваних робіт на робочих місцях, де зазначені можливі небезпечні ситуації та заходи для їх запобігання. Найбільш ефективним є проведення відповідних інструктажів (вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий).

Шляхи пересування в робочій зоні включаючи сходи, стаціонарні переходи, аварійні виходи повинні бути позначені відповідними знаками, мати дороговкази, бути розташовані і мати такі розміри, щоб прохід або проїзд був легким і безпечним. Наприклад: підлоги приміщень не повинні мати нерівностей, отворів або небезпечних ухилів, двері аварійних виходів повинні відкриватись назовні і замикатись, так щоб у випадку необхідності будь-яка особа могла легко і швидко їх відкрити без застосування додаткових засобів, захищеність робочих зон, шляхів пересування, аварійних виходів категорично забороняється.

Виробниче приміщення повинні мати достатню площу і висоту для раціонального планування відповідно до СНиП 2.09.04-87 «Административные и бытовые здания» та СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания».

- Конструкція робочого місця дослідника має відповідати сучасним вимогам ергономіки і забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні пристроїв і документів, які необхідні для виконання досліджень.

Висота робочої поверхні робочого столу ВДТ має регулюватися в межах 680...800мм, а ширина і глибина – забезпечувати можливість виконання операцій у зоні досяжності.

Для виключення можливості ураження електричним струмом згідно з ПУЕ-2017 «Правила устро́йства електроустано́вок» передбачається:

- всі співробітники лабораторії повинні пройти навчання та перевірку знань з електробезпеки та у відповідності з НПАОП.0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» отримати 2-3 групу з електробезпеки. Періодично один раз на рік необхідно перевіряти опір заземлення, який не повинен перевищувати 4 Ом. Якість заземлення перевіряється щорічно з оформленням акту відповідно нормативних вимог ГОСТ 12.1.019-79 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»;

- періодично, не рідше ніж два рази на рік, передбачається перевіряти справність контактів електроз'єднань, штепсельних вилок з'єднувальних провідників. В тому випадку, якщо при дотику до не струмопровідних частин електроприводу відчувається електричний струм, передбачається вимикання приладу від електромережі. Ремонт електричного обладнання проводять особи, котрі мають кваліфікаційну групу (не менше III групи) з електробезпеки;

- усі ремонтні роботи на мікроскопі проводять тільки після повного відключення від електричної мережі. При зміні катоду після розкриття електронної гармати перед тим, як доторкнутися рукою до фокусуючого електроду, треба зняти заряд з катодного вутла шляхом його заземлення;

- усі ремонтно-монтажні роботи або огляд високовольтних частин мікроскопу проводити не менш, ніж двома особами;

Для захисту людей від ураження електричним струмом передбаченно використовувати подвійну ізоляцію провідників.

Організація робочого місця передбачає: Конструкція робочого місця, його розміри та взаємне розташування його елементів повинні відповідати антропометричним, фізіологічним і психофізіологічним характеристикам людини, а також робоче місце забезпечує зручне положення людини. Це досягається регулюванням положення крісла, висоти кута нахилу підставки для ніг за умови її використання, або висоти розмірів робочої поверхні.

Повинне забезпечуватись виконання трудових операцій в зонах моторного поля (оптимальної досяжності, легкої досяжності) в залежності від необхідної точності і частоти дій.

Організація робочих місць повинна забезпечувати стійке положення та вільність рухів працівника, безпеку виконання трудових операцій виключати або допускати лише в деяких випадках роботу в незручну позиціях, які зумовлюють підвищену втомлюваність. Розташовуючи столи у робочому приміщенні дослідника, слід виходити із цілей підвищення продуктивності праці при мінімумі витрат енергії. Одночасно беруть до уваги фізіологічні фактори і об'єм, площу, напрям денного світла і штучного освітлення, що падає на стіл. На робочому місці не повинно бути нічого зайвого. Оскільки погляд працюючого здебільшого спрямований на лівий бік стола, то на ньому розміщують ще не виконанні документи, праворуч-виконані. Всі необхідні для роботи предмети повинні знаходитись поряд з працівником, але не заважати йому.

Ті предмети, якими користуються частіше, розташовуються ближче, ніж ті предмети, котрими користуються рідше. Предмети, котрі беруть лівою рукою, повинні знаходитись зліва, а ті предмети, котрі беруть правою рукою, повинні знаходитись справа. Якщо використовують обидві руки, то місце розташування пристосувань вибирається з врахуванням зручності захоплення його двома руками; Небезпечніше, з точки зору можливості травмування працівника обладнання повинне розташовуватись вище, ніж

менш небезпечні. Проте слід враховувати, що важкі предмети під час роботи зручніше і легше опускати, ніж піднімати

Для уникнення механічних травм при виготовленні зразків необхідно працювати на справному станку, своєчасно проводити заміну деталей, термін експлуатації яких вже закінчився та використовувати захисні окуляри та рукавиці; для виключення травмування органів зору передбачено застосування захисних окулярів, які служать для захисту очей від ушкоджень частками твердих тіл, що летять попереду, знизу і збоку. Ці окуляри оснащені фігурними боковинами, що відкидаються. Застосовувати прозорий екран для захисту очей робітника від поранень частками, що відлітають. Заходи безпеки при роботі на шліфувальних і заточувальних верстатах: установка абразивних кіл на верстатах повинна проводитися тільки спеціально проінструктованими наладчиками;

При визначенні типу структури використовується горизонтальний металографічний мікроскоп МИМ-8 призначений для дослідження мікроструктури металів та інших не прозорих об'єктів в світловому полі при прямому і відбитому освітленні, а також в темному полі і в поляризованому світлі. Для візуального спостереження об'єктів мікроскоп забезпечений монокулярною і бінокулярною насадками. Власне збільшення бінокулярної насадки – 2,5 х. Освітлення здійснюється від електролампи розжарювання потужністю 170 Вт, 17 В, живиться від освітлювальної мережі 220 В через понижуючий трансформатор, забезпечений секційним перемикачем для регулювання яскравості напруження лампи.

Для електронного мікроскопа можливі 3 варіанти аварійної ситуації:

- відключення електроживлення;
- відключення води;
- прорив повітря в вакуумну систему.

У таких ситуаціях першочерговим завданням вважається охолодження печі дифузійного насоса і, по можливості, збереження вакууму в системі. У всіх випадках слід спочатку відключити високу напругу, піч диф. насоса

івимкнути головний автомат на стінці. При відмові водопостачання постаратися обмотати мокрими ганчірками піч диф. насоса і включити вентилятор для обдування. Гарячі мокрі ганчірки слід міняти, поки вакуум в системі не почне падати. після охолодження приступити до усунення несправності. При прориві повітря в колону мікроскопа, як правило, спрацьовує автоматика, відсікаючи дифузійний насос від решти обсягу, і вимикається напруження катода і висока напруга. Треба тільки простежити, щоб форвакуумний насос не працював «на повітря», а переключити його на закритий обсяг, наприклад на відкачку боксу з фотопластинками.

Для попередження шкідливої дії іонізуючих випромінювань необхідно усувати всяку можливість опромінювання організму дозами, які перевищують гранично допустимі. Ступінь ураження радіоактивними речовинами організму людини залежить від ряду чинників: виду випромінювання (альфа-, бета-, гамма-промені і т. тощо); кількості ізотопу (активності); його властивостей (енергії частинок в період піврозпаду та ін.); шляхів попадання в організм людини та його індивідуальної чутливості. Для захисту від зовнішнього опромінювання, яке має місце при роботі із закритими джерелами випромінювання, основні зусилля необхідно направити на попередження переопромінення персоналу шляхом:

- збільшення відстані між джерелом випромінювання і людиною (захист відстанню);
- скорочення тривалості роботи в зоні випромінювання (захист часом);
- екранування джерела випромінювання (захист екранами).

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Для забезпечення нормально метеорологічних умов праці передбачена вентиляція, що являє собою систему технічних засобів, що забезпечує регулярний повітрообмін в приміщенні. Вона призначена для видалення з приміщення надлишкового тепла, вологи, шкідливих газів і парів та створення найбільш сприятливого (що відповідає санітарно-гігієнічним вимогам) мікро-клімату та іонного складу (згідно ГОСТ 12.1.005-88.).

Поєднання природної і штучної вентиляції утворює змішану систему вентиляції саме таку слід використовувати у лабораторних приміщеннях.

Природна вентиляція може бути неорганізованою, коли повітря подається в приміщення і віддається з нього за рахунок інфільтрацій через несутільності і пори зовнішніх огорожень. Природна вентиляція вважається організованою, якщо вона має пристрої, що дозволяють регулювати напрямки задушливих потоків і величину повітрообміну (витяжні канали, шахти, квартирки і фрамуги будівель, аераційні ліхтарі та тощо).

У приміщенні лабораторії встановлюється кондиціонер для необхідного кондиціювання повітря, а також у приміщенні повинні бути вікна у яких повинні бути частини що відчиняють для природної аерації. (ГОСТ 30646-99 Кондиціонери центральні загального призначення.).

Режим праці й відпочинку передбачає дотримання певної тривалості безперервної роботи на ПК і перерв, регламентованих з урахуванням тривалості робочої зміни, видів і категорії трудової діяльності.

За характером трудової діяльності виділено три професійні групи, згідно з діючим класифікатором професій (ДК-003-95 і зміна №1 до ДК-003-95): група А – робота зі зчитування інформації з екрана з попереднім запитом; група Б – робота з введення інформації; група В – творча робота в режимі діалогу із ПК.

Категорії тяжкості й напруженості роботи на ПК визначаються рівнем навантаження за робочу зміну: для групи А – по сумарному числу знаків, що

зчитуються; для групи Б по сумарному числу знаків, що зчитуються, або знаків, що вводяться; для групи В – за сумарним часом безпосередньої роботи на ПК. У таблиці наведені категорії тяжкості й напруженості робіт залежно від рівня навантаження за робочу зміну. При 8-годинній робочій зміні й роботі на ПК регламентовані перерви варто встановлювати:

- для першої категорії робіт – через 2 години від початку зміни й через 2 години після обідньої перерви тривалістю 15 хвилин кожна;

- для другої категорії робіт – через 2 години від початку робочої зміни й через 1,5-2,0 години після обідньої перерви тривалістю 15 хвилин кожна або тривалістю 10 хвилин через кожну годину роботи;

- для третьої категорії робіт – через 1,5-2,0 години від початку робочої зміни й через 1,5-2,0 години після обідньої перерви тривалістю 20 хвилин кожна або тривалістю 15 хвилин через кожну годину роботи.

При 12-годинній робочій зміні регламентовані перерви повинні встановлюватися в перші 8 годин роботи аналогічно перервам при 8-годинній робочій зміні, а протягом останніх 4-х годин роботи, незалежно від категорії виду робіт, щогодини тривалістю 15 хвилин.

Тривалість безперервної роботи на ПК без регламентованої перерви не повинні перевищувати 2-х годин.

Ефективними є нерегламентовані перерви (мікропаузи) тривалістю 1-3 хвилини. Регламентовані перерви й мікропаузи доцільно використовувати для виконання комплексу вправ і гімнастики для очей, пальців рук, а також масажу, які наведені у Державних санітарних правилах і нормах роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПІН 3.3.2.007-98.

Користувачам ПК, що виконують роботу з високим рівнем напруженості, показане психологічне розвантаження під час регламентованих перерв і наприкінці робочого дня в спеціально обладнаних приміщеннях (кімнатах психологічного розвантаження).

Всі професійні користувачі ПК повинні проходити обов'язкові попередні медичні огляди при надходженні на роботу, періодичні огляди з обов'язковою участю терапевта, невропатолога й окуліста, а також проведенням загального аналізу крові й ЕКГ.

Для забезпечення задовільних параметрів повітряного середовища необхідно використовувати природну вентиляцію, загальну штучну та систему водяного опалення згідно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические нормы к воздуху рабочей зоны», ГОСТ 2.2.137-96 «Оборудование для кондиционирования воздуха и вентиляции. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.4.021-75 «ССБТ. Системы вентиляционные. Общие требования». СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование».

Виробниче освітлення організується і нормується згідно вимог ДБН В.2.5-28-2018, залежно від:

- розряду зорової роботи, тобто її характеристики (найменшого розміру об'єкта який різниться, світлості фону, контрасту об'єкта з фоном);
- виду і системи освітлення. Також необхідно врахувати, що передбачається оптимальне (необхідне) освітлення виробничих приміщень і робочих місць: природне (бокове або верхнє), штучне, робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне, чергове.

5.4 Заходи безпеки надзвичайних ситуацій

Підрозділ «Заходи з пожежної безпеки» розробляється відповідно до вимог НАПБ.А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». Розгляд підрозділу слід почати з аналізу речовин і матеріалів, що використовуються при роботі об'єкта, і метою визначення категорії його пожежної небезпеки, відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» та СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания». Тобто вказати до якої категорії виробництва з пожежної небезпеки (А, Б, В, Г, Д) належить об'єкт (цех, дільниця, підстанція) що розглядається (проектується, модернізується). Відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки і вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва». Загальні вимоги, указати ступінь вогнестійкості приміщення об'єкта (цеху, дільниці, підстанції). Показати наявність засобів виявлення загорянь і пожеж згідно вимог ДБН В 2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту». З огляду на пожежну небезпеку, передбачити первинні засоби пожежогасіння (вогнєгасники різних видів), відповідно до вимог ДСТУ 4297:2004 «Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнєгасників. Загальні технічні вимоги», розділ «Типові норми належності вогнєгасників». Виробничі приміщення можуть бути обладнані стаціонарними установками автоматичного пожежогасіння.

Комплекс протипожежних заходів для приміщення (лабораторії, офісу) обладнаного ПК з ВДТ розроблений згідно вимог НАПБ А. 01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». Виходячи з аналізу речовин та матеріалів які використовуються при роботі у приміщенні відповідно до вимог ДСТУ Б В. 1.1-36.2016 «Визначення категорій приміщень будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» приміщення (офіс) обладнане ВДТ належить до виробництв категорії «Д» з пожежної небезпеки – простір у приміщенні у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали.

Оскільки приміщення (лабораторія, офіс) обладнане ПК і ВДТ належить до виробництва категорії «Д» з пожежної небезпеки, тому згідно вимог ДБН В 1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» вона має ступінь вогнестійкості.

З технічних та організаційних заходів запобігання пожеж в приміщенні (лабораторії, офісу) обладнаному ПК з ВДТ передбачені наступні протипожежні заходи. На силовому обладнанні, силових та освітлювальних колах, згідно вимог пункту 3.1 «ПУЕ» встановлені захисні пристрої, що вимикають джерело живлення від ділянки електричного кола, у якій виникло коротке замикання.

Згідно вимог ДБН В 2.5-56.2014 «Системи протипожежного захисту» в приміщенні (лабораторії, офісі) обладнаному ПК з ВДТ встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «Сигнал-ВК6». Яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика.

Оскільки приміщення що обладнане ПК з ВДТ має площу 39м², тому відповідно до вимог п 3.8 розділу «Типові норми належності вогнегасників» ДСТУ 4297:2004 «Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників.

Загальні технічні вимоги» для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 2 штук (з розрахунку один вогнегасник з величиною заряду вогнегасної речовини 3кг і більше на 20м² площі приміщення). Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10м.

Керівники об'єктів повинні передбачити управління надзвичайними ситуаціями. Для задачі забезпечення безпеки людини в НС стратегія управління повинна включати здійснення трьох цілей:

- Запобігання причин виникнення;
- Запобігання найекстремальніших ситуацій;

- Пом'якшення, максимальне послаблення наслідків надзвичайних ситуацій.

Перший варіант запобігання причин виникнення надзвичайних ситуацій розроблена, щоб не допускати таких дій або процесів, які несуть загрозу населенню. Дана стратегія виконується або відмовою від будівництва небезпечних об'єктів, або знищенням чи перепрофілюванням виробництв - джерел підвищеної небезпеки.

Другий варіант, запобігання самої НС – спрямований, щоб не допустити, виходу небезпечного процесу з-під контролю шляхом використання надійних аварійних систем, сигналізації, автоматики та інших заходів з підвищення надійності і стійкості роботи підприємств, а також шляхом заходів евакуації.

Третя стратегія - пом'якшення наслідків - орієнтується на ослаблення локалізацію наслідків НС. Цей варіант має першочергове значення в управлінні стихійними лихами і ситуаціями «комбінованого» типу.

Найбільший ефект дає керування разом усього трьох варіантами, особливо при аваріях техногенного характеру для реалізації кожної із стратегій управління необхідно розробляти і приймати комплекс превентивних та оперативних заходів.

Превентивні:

- аналізування і виявлення причин, що ведуть до катастрофи;
- прогнозування вогнищ ураження, втрат і збитків на підприємстві;
- заходи з підвищення стійкості;
- обґрунтування сил і засобів для проведення дій з локалізації вогнищ ураження та пошуково-рятувальних робіт;
- навчання робітників способам захисту;
- підготовка надійного КП управління.

Оперативні:

- оповіщення про НС;
- проведення всіх видів дослідження та оцінки обстановки;

- проведення першочергових захисних заходів (укриття в ЗС. евакуація.
- використання сил постійної готовності для локалізації катастрофи;
- надання першої медичної та першої лікарняної допомоги;
- нарощування сил і засобів в ОП за рахунок залучення формувань підвищеної готовності;
- якнайшвидше постачання постраждалих продовольством та іншими життєво необхідними засобами;
- введення аварійно-відновлювальних заходів.

При виникненні НС організовується надзвичайне управління, яке складається з чотирьох стадій ліквідації наслідків:

- стадія прийняття екстрених заходів. Ціль - включити механізм управління і вчасно зреагувати на НС. Основна мета початкової стадії - встановлення факту НС, попередня оцінка обстановки в зоні лиха і масштабів наслідків, мобілізація і встановлення оперативних завдань органам надзвичайного управління, віддача розпоряджень на залучення служб для допомоги постраждалим, сприяння місцевим органам управління в організації рятувальних робіт і локалізації зони лиха власними силами; інформування населення та вищих органів управління про НС та вжиті заходи. Тривалість початкової стадії - 1-10 годин;

- стадія оволодіння ситуацією та організації управління в зоні лиха, складається у плануванні та організації рятувальної операції. Задача: якнайкраще у всіх деталях дослідити обстановку, першочергово прийняти обґрунтоване рішення і скласти план ліквідації наслідків НС; підрахувати сили і засоби, ресурси для всього комплексу заходів в зоні лиха, організувати чітку взаємодію всіх залучених сил і аварійних служб. Тривалість другої стадії - від декількох годин до кількох діб;

- основна і визначальна стадія. Ціль - змінити надзвичайний характер ситуації: відновити безпеку населення в зоні лиха, прибрати загрозу життю і здоров'ю всім постраждалим, створити мінімальні умови для життєдіяльності населення, що залишилося. Завдання: організувати в найкоротші строки

рятувальних робіт на всіх постраждалих об'єктах зони лиха, надання допомоги потерпілим для захисту їх життя, здоров'я і підтримання життєздатності в екстремальних умовах; евакуація постраждалих із зони лиха та їх життєзабезпечення; терміновому проведенні аварійно-відновлювальних робіт на системах тепло-, водо-, газо-, електросистемах і зв'язку в зоні лиха. Тривалість - кілька діб - кілька тижнів;

- стадія відновлення, тобто економічне, соціальне, культурне та екологічне відновлення зони лиха. Органи надзвичайного управління передають функції постійної дії місцевим органам управління. Розробляється програма з черговістю комплексу дій з реабілітації постраждалої зони;

ВИСНОВОК

Розглянуто умови експлуатації та дослідження засобів індивідуального захисту від початку XX століття до нашого часу. Зазначено, що із вдосконаленням військової стрілецької зброї необхідно розробляти відповідні засоби індивідуального захисту. Наведено приклади та механічні характеристики різних видів матеріалів для виготовлення бронепластин.

Досліджено середньолеговану поліпшувальну сталь для виготовлення елементів бронезахисту. Проведенні випробування на механічні, шляхом дослідження основних параметрів твердості, ударної в'язкості, границі міцності та текучості. Балістичні характеристики визначені методом пристрілювання зразків із бронепластин та вимірюванням глибини проникнення. Встановлено вплив температури гартування і відпускання на характеристики сталі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мыльников, В. В., Абросимов, А. А., Романов, И. Д., Романов, А. Д. (2014). Анализ материалов и их свойств, применяемых для средств индивидуальной бронезащиты. *Успехи современного естествознания*, (9-2), 143-147.
2. Heaton L.D. Wound Ballistics. U.S. Army Medical Department, 1962.
3. Dunstan S. Flak jackets: 20th century military body armour. Osprey publishing, 1984. №. 157.
4. Григорян, В. А., Кобылкин, И. Ф., Маринин, В. М., Чистяков, Е. Н. Материалы и защитные структуры для локального и индивидуального бронирования. М.: *РадиоСофт*. 2020
5. Юрова Т. Бронежилети та розвантажувальні системи в бойовому екіпіруванні солдата Армії оборони Ізраїлю ХХ–ХХІ ст. [Електронний ресурс]. *Військово-історичний меридіан. Електронний фаховий журнал*. 2016. №. 2. С. 12.
6. Нові тенденції у сфері пасивного захисту. *Jane's IDR*. 2013. №4 С. 62-64
7. Horn, K., Biever, K., Burkman, K., DeLuca, P., Jamison, L., Kolb, M., & Sheikh, A. *Lightening body armor: Arroyo support to the army response to section 125 of the National Defense Authorization Act for fiscal year 2011*. Rand arroyo center Santa Monica CA. 2012
8. Medvedovski E. Ballistic performance of armour ceramics: Influence of design and structure. Part 1. *Ceramics International*, 36(7). 2010. C2103-2115.
9. Medvedovski E. Ballistic performance of armour ceramics: Influence of design and structure. Part 2. *Ceramics International*, 36(7). 2010. 2117-2127.

10. David N. V., Gao X. L., Zheng J. Q. Ballistic resistant body armor: contemporary and prospective materials and related protection mechanisms. *Applied Mechanics Reviews*. 2009. T. 62. №. 5.
11. Bhat A. Advancement in fiber reinforced polymer, metal alloys and multi-layered armour systems for ballistic applications. A Review. *Journal of Materials Research and Technology*. 2021. T. 15. C. 1300-1317.
12. Teng X., Wierzbicki T., Huang M. Ballistic resistance of double-layered armor plates. *International journal of impact engineering*. 2008. T. 35. №. 8. C. 870-884.
13. Crouch I. G. Body armour—New materials, new systems. *Defence Technology*. 2019. T. 15. №. 3. C. 241-253.
14. Kulkarni S. G. et al. Ballistic helmets—their design, materials, and performance against traumatic brain injury. *Composite Structures*. 2013. T. 101. C. 313-331.
15. Mehara M. Performance evaluation of advanced armor materials. *Materials Today: Proceedings*. 2021. T. 47. C. 6039-6042.
16. Sharma S. Recent progress of composite materials in various novel engineering applications. *Materials Today: Proceedings*. 2018. T. 5. №. 14. C. 28195-28202.
17. Pereira A. C. Ballistic performance of multilayered armor with intermediate polyester composite reinforced with fique natural fabric and fibers. *Journal of Materials Research and Technology*. 2019. T. 8. №. 5. C. 4221-4226.
18. de Oliveira Braga F. et al. Ballistic comparison between epoxy-ramie and epoxy-aramid composites in Multilayered Armor Systems. *Journal of materials research and technology*. 2018. T. 7. №. 4. C. 541-549.
19. Gooch B. Chen M. Development and ballistic testing of a functionally gradient ceramic/metal appliqué, *Mater. Sci. Forum* 308 -311. 1999) 614-621.
20. Deineko L. M., Loboda P. I., Stolbovyi V. O. Розробка параметрів комплексної технології обробки основних жорстких елемент

івпротикульовихбронезилетів.*Metal Science and Heat Treatment of Metals* 3 (2019). 34-44

21. Правила улаштування електроустановок : ПУЕ-2017. На заміну ПУЕ 86 ; чинний з 2017-08-21. – К. : Міненерговугілля України, 2017. 617 с. (Правила).

22. Опалення, вентиляціятакондиціонування: ДБНВ.2.5- 67:2013. На замінуСНиП 2.04.05-91; крімрозділу 5 та додатка 22; чинний від 2014-01-01.К.:МінрегіонбудУкраїни, 2013. 149 с. (ДержавнібудівельнінормиУкраїни).

23. Системипротипожежногозахисту: ДБНВ.2.5-56:2014. На замінуДБНВ.2.5-56:2010; СНиП 2.04.05-91 (розділи 5 та 22); чинний від 2015-07-01. К.: Мінрегіон України, 2014.191 с. (Державні будівельні норми).

ДОДАТОК А