

УДК 623.445

С.А. Манжура

Національна академія Національної гвардії України, Харків

ВИБІР МАТЕРІАЛІВ БРОНЕПЛАСТИН ДЛЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАСОБІВ БРОНЕЗАХИСТУ СИЛ ОХОРОНИ ПРАВОПОРЯДКУ

У статті проведений аналіз існуючих і перспективних матеріалів, що використовуються у засобах індивідуального бронезахисту. Цей аналіз показав, що вони не в повній мірі задовольняють сучасним вимогам. Функціонально ефективний матеріал для засобів індивідуального захисту повинен мати одночасно як високу твердість, співмірну або вищу за твердість ударних елементів, так і високу в'язкість, тобто здатність протистояти крихкому. Показано перевага багатошарових бронепластин з металів у вищих класах захисту над композиційними панелями і альтернативними конструкціями на основі нових бронематеріалів. Враховуючи відносно високу вартість випробувань, пропонується часткова заміна експериментальних досліджень проведенням комп'ютерного моделювання процесів зіткнення вражаючого елемента з перешкодою, що дозволить цілеспрямовано проектувати оптимальні захисні структури при мінімальних витратах часу і фінансів.

Ключові слова: засоби індивідуального бронезахисту, характеристики бронематеріалів, багатошарові бронепластилини, класи захисту, моделювання високошвидкісних процесів.

Вступ

Постановка проблеми. В даний час тривають розробки нових і модернізація наявних засобів індивідуального бронезахисту (ЗІБ), які спрямовані на підвищення бронезахисних властивостей і зниження маси виробів.

При цьому можна стверджувати, що рівень захисних властивостей сучасних бронематеріалів на сьогоднішній день досяг певної межі, яку можливо перевершити за рахунок модернізації наявних матеріалів бронезахисних структур з використанням нових технологій їх виробництва, а також нанотехнологій.

Одним з напрямків розробки, впровадження та використання нових технологій є створення полегшених захисних структур з підвищеною живучістю на основі багатошарових пакетів металів (зокрема, сталі), що забезпечують захист при впливі сучасних куль стрілецької зброї. «Такой подход позволит снизить вес защитных элементов боевой экипировки на 30–35 %, повысив при этом надежность и уровень защиты личного состава и боевой техники в условиях боевых действий или террористических актов» [1].

Використовуючи матеріали, що з'явилися з урахуванням нових технологій виробництва, можна прогнозувати швидке вдосконалення засобів захисту, появу нових виробів, які відповідають сучасним вимогам.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш поширеним і ефективним засобом індивідуального бронезахисту, що застосовується в силових структурах, є бронезилет. Сучасний ринок спорядження пропонує широкий вибір бронезилетів (для періодичного і постійного носіння, прихованого і зовнішнього, захисту від куль і осколків).

Аналіз літературних джерел [2–5] про експлуатаційні характеристики і захисні властивості ЗІБ показує, що проглядається тенденція заміни бронезилетів з металевими бронеструктурами новими моделями бронезахисту з композиційними панелями на основі кераміки та надвисокомолекулярного поліетилену (НВМПЕ). Однак силові структури не відмовляються від “металевого” захисту і як і раніше замовляють сталеві бронезилети і титанові шоломи [6]. На даний час захист від куль стрілецької зброї може гарантувати тільки індивідуальний захист із застосуванням металевих пластин, показуючи відносно великий відсоток непробиття і захищеності носія.

Поліпшення якісного стану таких пластин зі зменшенням їх маси можливо шляхом переходу з гомогенних сталевих бронеелементів на багатошарові гетерогенні [7].

Незважаючи на різноманіття конструкцій бронезилетів, велика їх частина складається з елементів однакового призначення, основними з яких є бронеелементи або бронепанелі [2; 8–9]. Для протикольного захисту використовуються посилені балістичні тканинні пакети, а також алюмінієві, титанові, сталеві бронеелементи. Бронеелементи або бронепанелі розміщуються в спеціальних відсіках, розташованих на чохлах бронезилетів. Зазвичай, зовнішня поверхня містить протирикошетний пакет з декількох шарів балістичної тканини, який уловлює вторинні осколки від куль і бронеелементів.

Однак досвід експлуатації бронезилетів показує, що чимало з них не можуть забезпечити необхідний захист і комфортність через нераціональне формування структури матеріалів і конструктивного рішення окремих вузлів. «Это особенно касается бронезилетов для наружного ношения, которые из-за большой массы, жёсткости, толщины пакета ма-

териалов, неравномерного розподілення тиску на опорній поверхні тіла ускладнюють процеси тепло- і воздухообміну, підвищують стомлюваність, викликають болючі відчуття в хребті і появу гематом на плечовому поясі фігури, обмежують амплітуду рухів» [10].

На сьогоднішній день в більшій мірі відсутні науково-обґрунтовані принципи проектування засобів індивідуального бронезахисту з боку забезпечення вимог функціональності і ергономіки до даного виду екіпіровки. Також відсутні систематизовані рекомендації по обґрунтуванню застосування тих чи інших матеріалів для виготовлення ЗІБ. Все вищеперераховане не дозволяє вирішувати проблеми конструювання індивідуального бронезахисту в повному обсязі. У зв'язку з цим, розробка методології проектування і вибору ергономічних бронезахистів для вирішення особливим складом силових підрозділів конкретних службово-бойових завдань (СБЗ) є актуальним завданням підвищення комфортності та ефективності захисту [11].

Метою статті є аналіз можливості застосування різних матеріалів для виготовлення засобів індивідуального бронезахисту для вирішення особливим складом силових підрозділів конкретних службово-бойових завдань.

Виклад основного матеріалу

За останні роки індивідуальні засоби бронезахисту пройшли чималий шлях еволюції, проте в результаті найбільшого поширення набули тільки три їх конструкції – на основі металу, арамідних тканин і комбіновані.

Найбільша проблема сучасного бронезахисту полягає в співвідношенні «вага-якість захисту», тобто, досить надійний бронезахист виявляється важким, а той який має прийнятну вагу – має низький клас захисту.

Рівень бронезахисту залежить від матеріалів, які в ньому використовуються. Незалежно від класу, бронезахисти можуть бути трьох видів: м'які, тверді й напівтверді.

Жорсткі бронезахисти містять в собі бронепластилини, які виготовляються зі сталі, титану, алюмінію, металокераміки, кераміки або НВМПЕ. Вони дуже відрізняються за своїми властивостями і кожен з матеріалів має свої плюси і мінуси.

У бронезахистах 4–6 класів захисту, які цікавлять нас сьогодні, враховуючи види застосовуваної зброї, використовуються бронепластилини з металу, сплавів або металокераміки.

Для протикольного захисту бронезахисти забезпечуються керамічними бронепластинами, які беруть на себе великий відсоток енергії удару і зменшують бронепробитість за рахунок руйнування кераміки. Але такий захист швидко виходить з ладу, і стає ремонтнепридатним [7; 9].

Сучасні броньові сплави дозволяють зменшити товщину панелей в два-три рази в порівнянні з панелями, виготовленими зі сталі, і, отже, в два-три рази зменшують вагу виробу.

Порівняльні габаритні характеристики деяких матеріалів за рівнями захисту представлені в табл. 1 [12–13]. За цими двома параметрами проведена їх обробка, стандартним методом створений узагальнений параметр і отримані дані, які наведені на рис. 1.

Таблиця 1

Порівняльна таблиця товщини та поверхневої щільності деяких матеріалів для забезпечення певного рівня захисту

Матеріал	Рівень захисту по ДСТУ В 4103-2002					
	1	2	3	4	5	6
Поверхнева щільність (г/дм ²)/Товщина захисної структури (мм)						
Броньова сталь	135/1,7	187/2,4	343/4,4	413/5,3	500/6,4	860/11,0
Титан	135/3,0	155/3,5	310/7,0	376/8,5	445/10,0	–
Алюміній	135/5,0	190/7,0	590/22,0	724/27,0	860/32,0	1160/43,0
Надвисокомолекулярний поліетилен (НВМПЕ)	40/4,0	104/11,0	210/22,0	–	–	–
Кераміка на основі корунду	–	–	–	–	360–400/17	420–460/19
Кераміка на основі карбиду бору	–	–	–	–	260–290/16	340–360/20

З табл. 1 видно, що броня з НВМПЕ, яка використовується в 2-му і 3-му класах захисту, в 5 разів товщі сталевий. Керамічна броня, яка використовується в 5-му класі захисту, також в 2 рази товще сталевий. Живучість такої броні набагато нижче, ніж у аналогічного сталевого екземпляру. Так само створюються проблеми при конструюванні бронезахистів через значну товщину структур з нових матеріалів.

Стає практично неможливо розробити виріб прихованого носіння.

Для вибору варіанту комплектації ЗІБ для виконання конкретного СБЗ, крім захисних властивостей необхідно враховувати також і масу комплексу. Маса екіпіровки при активним фізичному навантаженні надає виснажливу дію і відображається на загальній ефективності дій особового складу.

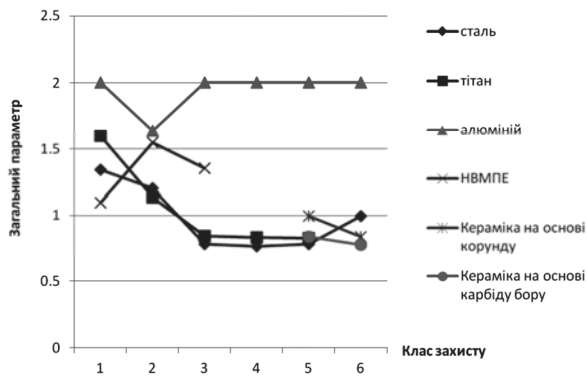


Рис. 1. Зміна загального параметру матеріалів для бронепластин в залежності від класу захисту

В [14] наведена залежність дистанції, яку може здолати військовослужбовець, від маси екіпіровки. Кожен кілограм екіпіровки в діапазоні від 4 до 46 кг збільшує час виконання завдання на $\approx 2\%$. Іншими словами при масі екіпіровки більше 40 кг військовослужбовець буде під вогнем противника майже в 2 рази довше, ніж без неї. Бойова ефективність при цьому зменшується в кілька разів.

Створюються також і важкі бронезилети, але вони використовуються до декількох годин, після чого настає перевтома. Вони застосовуються для нетривалого оборонного бою і спеціальних короткочасних операцій. На сьогодні при обмеженій масі екіпіровки до 24 кг, на засоби захисту відводиться не більше 8 кг [10; 14].

З урахуванням вищевикладеного й спираючись на рис. 1, можна зробити висновок про те, що найбільш перспективними на даному етапі матеріалами є до 5 класу сталь і титан, а для 6 класу металокераміка. Основна проблема використання стали в ЗІБ є досить висока маса й цьому параметру необхідно приділити найбільшу увагу. Створення більше лег-

ких сплавів і багатошарового бронематеріалів, що буде давати комбінацію високої бронестійкості, малої товщини й невеликої ваги, є одним з перспективних рішень даної проблеми.

Аналіз свідчить про те, що ефективний матеріал повинен мати одночасно як високу твердість, співмірну або вищу за твердість ударних елементів, так і високу в'язкість, тобто здатність протистояти крихкому руйнуванню під дією високошвидкісного руйнівного елемента.

Однак численні спроби розробити високоефективну гомогенну бронесталь наштовхувалися на фундаментальну залежність: високотверді сталі мають низьку в'язкість, а високов'язкі – низьку твердість. Заміна відносно дешевих низьколегованих сталей значно дорожчими високолегованими у бронезахисних структурах не призводить до суттєвого збільшення їх параметра “ефективність / вартість”.

Оминути неможливість мати гомогенний матеріал, що поєднує високу твердість з високою в'язкістю, можна шляхом використання багатошарових бронематеріалів, до складу яких входять низьколеговані сталі з різним вмістом вуглецю.

Результати попередніх експериментів з натурального тестування дослідницьких зразків багатошарових структур бронематеріалів і їх захисних властивостей засвідчили можливість отримання бронематеріалів $\sim 8\text{--}10$ мм завтовшки, протикільна стійкість яких відповідає 4, 6-му класу, причому їх вага на 15–20 % менша ваги пластин із фінської сталі RAMOR 550 (табл. 2).

Таким чином, створення багатошарового бронематеріалу, що буде давати комбінацію високої бронестійкості, малої товщини й невеликої ваги, є одним з перспективних напрямків удосконалювання ЗІБ.

Таблиця 2

Порівняльна таблиця маси пластин ЗІБ

	Пластина (250×300 мм)							
	4 клас				6 клас			
	товщина, мм	маса, кг	товщина, мм	маса, кг	товщина, мм	маса, кг	товщина, мм	маса, кг
Фінська сталь RAMOR 550	5	3,6	6	4,2	8	5,6	10	6,7
Кераміка (Темп 3000 Корсар М3м)					35,6	4,05		
Металева багатошарова структура (У12А; Ст3)	5	2,87	6	3,46	8	4,64	10	5,81

Розглянемо терміни служби індивідуального захисту, що базується на різних матеріалах. Арамідні тканини в нормальних умовах експлуатації служать близько п'яти років. Але виробы на їх основі не уявляють гарантованого захисту від сучасних високошвидкісних куль. У керамічній пластині після 1–2 влучень куль утворюються мікротріщини, і вона може бути пробита при черговому попаданні в де-

фектну ділянку. Найменше зношуються сталеві пластини – при попаданні в них вони деформуються, але і в подальшому забезпечують заданий рівень захисту.

Також на відміну від бронекераміки сталь не “розсиплеться” і не втратить практично миттєво своїх характеристик міцності [12]. Головний плюс сталевих бронепластин – їх багаторазовість.

Для протиккульного захисту використовуються сталі товщиною $\approx 6-7$ мм, а броньовий захист з багат шарового матеріалу має меншу вагу [7; 12]. Зниження ваги складає по площі броньового листа 8-9%, що грає суттєву роль для підвищення технічних характеристик бронезилетів за рахунок зниження їх ваги. На сьогоднішній день вже створено ряд нових технологій по випуску багат шарових бронесталей, відповідних новітнім технічним вимогам [6].

Враховуючи відносно високу вартість випробувань, актуальним завданням є розробка більш інформативних методів дослідження, що дозволяють цілеспрямовано знаходити оптимальні захисні структури при мінімальних витратах часу і коштів.

Процес взаємодії куль стрілецької зброї або осколків з елементами захисту схильний до впливу численних факторів, що мають випадковий характер. Для кожної пари пуля-перешкода результат взаємодії має імовірнісний характер. При цьому балістична стійкість бронезахисту залежить від характеристик цієї взаємодії і характеризується ймовірністю непробиття перешкоди.

Відповідно до сучасних підходів щодо аналізу складних явищ, процес взаємодії кулі з бронематеріалом може бути представлений комп'ютерним моделюванням процесу. Для цього, крім адекватної фізико-математичної моделі необхідно врахування всіх характеристик матеріалів і структур, які визначають балістичну стійкість.

На цей час для моделювання та дослідження пластичної деформації, що спостерігається при високошвидкісних процесах зіткнення вражаючого елемента з перешкодою найбільше поширення отримали моделі Купера-Саймондса [15], Джонсона-Кука [16] і Зеріллі-Армстронга [17].

Ці моделі мають порівняно невелику кількість констант, що характеризують матеріал-об'єкт моделювання, і реалізовані в сучасних пакетах чисельного аналізу.

Для підбору параметрів моделі з умови найкращого збігу результатів розрахунку і експерименту найбільш бажано з усіх моделей, що забезпечують врахування всіх необхідних ефектів, що мають місце в конкретному процесі, вибрати модель з найменшим числом параметрів, що підлягають визначенню. Для перевірки правильності міркування, а також коригування математичних моделей процесу взаємодії кулі і перешкоди необхідно проведення експериментальних досліджень.

Як показує практика, експериментальне визначення параметрів моделі пластичної поведінки матеріалу є складним завданням, пов'язаним з пошуком і аналізом великого обсягу даних вимірювань деформацій, швидкостей деформацій і температур.

У літературі описуються дані, що стосуються лише обмеженого числа матеріалів. Крім того, параметри одного і того ж матеріалу, взяті з різних джерел, можуть відрізнятися досить значно [18].

Таким чином параметри моделі доводиться визначати з умови найкращого збігу з відомими експериментальними даними.

Висновки

Створення нових конструкцій ЗІБ з використанням найсучасніших технологій повинні привести до суттєвого підвищення їх захисних характеристик, що має дуже велике значення для подальшого розвитку даного напрямку техніки.

У зв'язку з цим сучасний стан та прогноз розвитку ситуації, а також конкретні пропозиції щодо використання новітніх досягнень науки і техніки в даній області, стануть значущим внеском у формування науково-технічної політики в галузі створення нових матеріалів для ЗІБ. Крім того, вони сприятимуть реалізації положень Концепції розвитку Національної гвардії України [19].

Зниження ваги ЗІБ і бойової екіпіровки, вдосконалення їх захисних та експлуатаційних властивостей сприятиме скороченню безповоротних бойових втрат особового складу і підвищення ефективності бойових можливостей підрозділів НГУ.

Список літератури

1. Калиулин М.Р. Основные направления развития средств индивидуальной бронезащиты / М.Р. Калиулин // Спецсредства индивидуальной бронезащиты: сб. тезисов докладов международной научно-практической конференции НПО «Специальная техника и связь». 24 апреля 2013 г. – М., 2013. – С. 10.
2. Сильников М.В. Средства индивидуальной бронезащиты / М.В. Сильников, В.А. Химичев. – М.: Изд-во Фонд «Университет», 2000. – 478 с.
3. Новые тенденции в области средств индивидуальной защиты пехотинца [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.defens-update.com/features/du-2-07/infantry_armor_cooling.htm. – 20.06.2017 р. – Загл. с экрана.
4. Кулаков И.В. Не превращайте пехотинца в танк / И.В. Кулаков // Независимое военное обозрение. – 2000. – №17. – С. 20-23.
5. Рекомендации по выбору бронеплит [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://bronezhilye.com.ua/rekomendacii-broneplastiny>. – 25.06.2017 р. – Загл. с экрана.
6. Бронезилеты и новые броневые материалы. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.i-mash.ru/index.php?newsid=39773> – 30.08.2016 р. – Загл. с экрана.
7. Сильников М.В. Состояние, перспективы развития и унификации носимого вооружения и боевой индивидуальной экипировки / М.В. Сильников, В.И. Байдак // Защита и безопасность: общественно-правовой и научно-технический журнал. – 2008. – № 3(6). – С. 7-19.
8. Семькин В.В. Средства индивидуальной бронезащиты: учебное пособие / В.В. Семькин. – М.: Московский университет МВД России, 2008. – 66 с.
9. Материалы и защитные структуры для локального и индивидуального бронирования / В.А. Григорян. – М.: Изд. РадиоСофт, 2008. – 406 с.
10. Пелешок С.А. Совершенствование медико-биологических исследований средств индивидуальной защиты военнослужащих / С.А. Пелешок, А.А. Власов,

В.П. Ганапольский // Новейшие тенденции в области конструирования и применения баллистических материалов и средств защиты: сб. тезисов докладов 12 международной научно-практической конференции НПО «Специальная техника и связь». 24 апреля 2013 г. – Москва, 2013. – С. 110.

11. Разработка методологии проектирования эргономичных бронезилетов с использованием композиционных текстильных материалов [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://tekhnosfera.com/razrabotka-metodologii-proektirovaniya-ergonomichnyh-bronezhiletov-s-ispolzovaniem-kompozitsionnyh-tekstilnyh-materialov> #ixzz4c8oUgxo – 13.05.2017 р. - Загл. с экрана.

12. Анализ материалов и их свойств, применяемых для средств индивидуальной бронезащиты [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=34372> – 18.06.2017 р. – Загл. с экрана.

13. ДСТУ В 4103-2002 «Засоби індивідуального захисту. Бронезилети. Загальні технічні умови». – К.: Изд-во стандартів, 2002. – 20 с.

14. Сахарова Н.А. Физиолого-гигиеническая оценка бронезилетов / Н.А. Сахарова, В.Е. Кузьмичев // Успехи современного естествознания. – 2003. – № 9. – С. 42-46.

15. Cowper G.R. Strain hardening and strain rate effects in the impact loading of cantilever beams [Text] /

G.R. Cowper, P.S. Symonds // Brown Univ., Div. of Appl. Mech. – 1952. – Report № 28. – 46 p.

16. Johnson G.R. A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high temperatures [Text] / G.R. Johnson, W.H. Cook // Proceedings of the 7-th International Symposium on Ballistics. – The Hague, The Netherlands. – 1983. – Pp. 541-547.

17. Zerilli E.J. Dislocation mechanics based constitutive relations for material dynamics calculations [Text] / E.J. Zerilli, R.W. Armstrong // J. Appl. Phys. – 1987. – №61(5). – Pp. 1816-1825.

18. Кузькин В.А. Применение численного моделирования для идентификации параметров модели Джонсона-Кука при высокоскоростном деформировании алюминия / В.А. Кузькин, Д.С. Михалюк // Вычислительная механика сплошных сред. – 2010. – № 1. – С. 32-43.

19. Про схвалення Концепції розвитку Національної гвардії на період до 2020 року [Текст]: розпорядження Кабінету Міністрів України від 01 лютого 2017 р. № 100-р // Урядовий кур'єр. – 2017. – 02 лютого. – С. 24.

Надійшла до редколегії 8.06.2017

Рецензент: д-р військ. наук проф. Г.А. Дробаха, Національна академія Національної гвардії України, Харків.

ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ БРОНЕПЛАСТИН ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СРЕДСТВ БРОНЕЗАЩИТЫ СИЛ ОХРАНЫ ПРАВОПОРЯДКА

С.А. Манжура

В статье проводится анализ существующих и перспективных материалов, которые используются в средствах индивидуальной бронезащиты. Этот анализ показал, что они не в полной мере удовлетворяют современным требованиям. Функционально эффективный материал для средств индивидуальной защиты должен иметь одновременно как высокую твердость, соотносимую или высшую чем твердость ударных элементов, так и высокую вязкость, т.е. способность противостоять разрушению. Показано преимущество многослойных бронепластин из металла для высоких классов защиты над композиционными панелями и альтернативными конструкциями на основе новых бронематериалов. Учитывая относительно высокую стоимость экспериментов, предлагается частичная замена экспериментальных исследований проведением компьютерного моделирования процессов столкновения ударного элемента с препятствием, что позволит целенаправленно проектировать оптимальные защитные структуры при минимальных затратах времени и финансов.

Ключевые слова: средства индивидуальной бронезащиты, характеристики бронематериалов, многослойные бронепластины, классы защиты, моделирование высокоскоростных процессов.

CHOICE OF MATERIALS ARMOR PLATES FOR INDIVIDUAL PROTECTION MEANS FORCE RIGHTS PROTECTION

S. Manzhura

The article substantiates the relevance of studies of the characteristics of various modern materials used for the design of individual armor protection. In addition, the analysis of existing and promising materials, which are used in individual armor protection. Their characteristics are compared depending on the protection class and a generalized parameter is obtained by a standard method, which makes it possible to construct the dependence of this parameter on the protection class. This analysis showed that they do not fully meet modern requirements. A functionally effective material for individual armor protection must simultaneously have both a high hardness, correlated or higher than the hardness of the impact elements, and a high viscosity, that is, the ability to withstand destruction. Numerous attempts to develop a highly efficient homogeneous armored steel have come up against a fundamental dependence: high-hardness steels have low viscosity, high-viscosity steels have low hardness. The advantage of multi-layer armored plates from metal for high protection classes over composite panels and alternative designs based on new armored materials is shown. Considering the relatively high cost of the experiments, it is proposed to partially replace the experimental studies by computer simulation of collision processes of the impactor with an obstacle, which will allow the targeted design of optimal protective structures with minimal time and financial expenses. The obtained results can be used at the stage of development of domestic armored plates for individual means of protection.

Keywords: personal body armor, protection classes, characteristics of armored materials, multilayer armor plates, protection class, modeling of high-speed processes.