УДК 677.
07:687.17

ЯНА ВЕРБЕЦЬКА[1], СВІТЛАНА ЛОЗОВЕНКО[1],
ЛАРИСА БІЛОЦЬКА[1], ЮЛІЯ ХАРЧЕНКО[2]
[1]Київський національний університет технологій та дизайну, Україна
[2]Аналітично-дослідна випробувальна лабораторія «Текстиль-ТЕСТ», КНУТД, Україна

АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БРОНЕЖИЛЕТІВ

Мета. *Провести порівняльний аналіз текстильних матеріалів спеціального призначення, що використовуються у виробництві бронежилетів, визначити їхні переваги, недоліки та перспективи розвитку.*

Ключові слова: *бронежилет, матеріали для виготовлення бронежилетів, арамідні волокна, надвисокомолекулярний поліетилен.*

Постановка завдання. Засоби індивідуального балістичного захисту є критично важливими для безпеки військовослужбовців. Ключовими критеріями для проєктування бронежилетів є досягнення високого ступеня захисту від кінетичної дії уражаючих чинників за умови мінімізації загальної маси виробу та збереженні його оптимальних ергономічних властивостей. Такі вимоги зумовлюють необхідність аналізу сучасних текстильних матеріалів спеціального призначення та дослідження перспективних напрямів їх застосування.

Методи досліджень. Дослідження проводились із використанням системного підходу, методів аналізу та синтезу.

Результати досліджень. За об'єкт дослідження обрано технологічний процес виготовлення модульного бронежилету, загальний вигляд якого представлено на рис. 1. Як зазначають науковці [1–4], вибір матеріалу бронежилета визначає його захисні характеристики, вагу та довговічність.

Ключовими матеріалами, що наразі використовуються для виготовлення м'яких балістичних елементів, є арамідні волокна (торгова назва – Кевлар) та надвисокомолекулярний поліетилен.

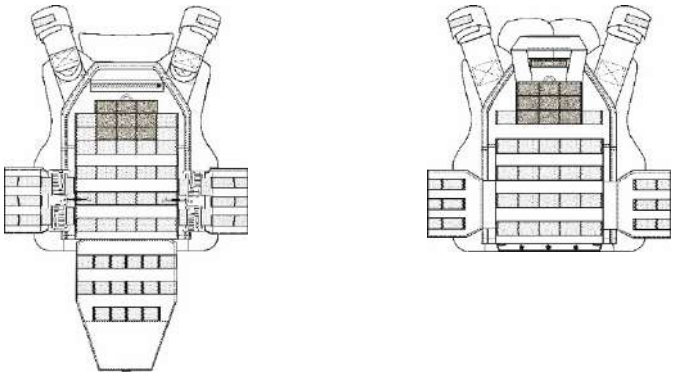
Кевлар характеризується високими показниками міцності та термостійкості, традиційно застосовується для створення м'яких бронепакетів (призначених для протидії пістолетним кулям та осколкам), балістичних шоломів, а також у виробництві захисного одягу для пожежників та спортивного екіпірування для фехтувальників [5]. Його ключовими перевагами є:

– Виняткова питома міцність. За умови рівної маси, міцність

Кевлару перевищує міцність сталі у п'ять разів. Ця властивість зумовлена структурою щільно сплетених волокон, які ефективно розсіюють кінетичну енергію засобів ураження, трансформуючи її в теплову енергію.

– Терморезистентність. Кевлар не плавиться при нагріванні, а піддається термічній деструкції у діапазоні температур 430–480 °C. При цьому він зберігає свою механічну міцність при нагріванні до 150 °C та еластичність у кріогенних умовах (до −196 °C).

Недоліком арамідних волокон є зниження їхніх захисних властивостей під впливом вологи та ультрафіолетового випромінювання. Цей чинник вимагає обов'язкового застосування герметичних вологостійких захисних чохлів для збереження балістичних характеристик.



а б

Рис. 1. **Модульний бронежилет: а – вигляд спереду; б – вигляд ззаду**

Надвисокомолекулярний поліетилен (відомий як НВМПЕ, UHMWPE, Dyneema, Spectra) – це термопластичний полімер з надзвичайно довгими молекулярними ланцюгами. Завдяки унікальному комплексу фізико-механічних властивостей, цей матеріал займає провідну позицію серед сучасних інженерних рішень для створення високоефективного балістичного захисту. Ключові переваги надвисокомолекулярного поліетилену:

– Надвисокі питома міцність та пружність. За показниками питомої міцності НВМПЕ значно перевершує конструкційну сталь, а також на 40% – арамідні волокна. При балістичному впливі матеріал не піддається розриву, а демонструє значне розтягування волокон, що забезпечує високоефективне розсіювання кінетичної енергії удару.

– Мінімальна густина – становить близько 0,93–0,97 г/см³, що менше за густину води. Ця характеристика дозволяє знизити масу

бронеелементів до 30% порівняно з кевларовими аналогами, а також виготовляти шоломи з позитивною плавучістю.

– Стійкість до зовнішніх впливів. Матеріал вирізняється повною гідрофобністю, не втрачаючи своїх захисних властивостей у вологому середовищі, та демонструє високу резистентність до дії більшості хімічних реагентів і ультрафіолетового випромінювання.

– У практичному застосуванні НВМПЕ використовується переважно для виробництва жорстких бронепанелей (які забезпечують захист від гвинтівкових боєприпасів), а також для надлегких балістичних шоломів та м'яких бронеелементів.

Недоліком НВМПЕ є низька термостійкість: матеріал починає втрачати механічну міцність за температури вище 80 °C і плавиться за 130 °C. Порівняльний аналіз Кевлару та НВМПЕ представлено у табл. 1.

Таблиця 1 – **Порівняльний аналіз Кевлару та НВМПЕ**

Матеріал / характеристика	**Кевлар**	**НВМПЕ**
Поверхнева густина, г/м^2	Вища (густина 1,44 г/см^3)	Нижча (густина 0,93 г/см^3)
Міцність на розрив, ГПА	~3,6 ГПа	4–10 ГПа
Термостійкість	Висока (до 300 °C)	Низька (до 80-100 °C)
Вологостійкість	Низька (втрачає міцність)	Висока (водонепроникний)
Термін служби	~5 років	Більше 10 років
Вартість	Нижча	Вища

Для виготовлення зовнішніх елементів бронежилетів (зокрема, чохлів-плитоносок) та тактичного екіпірування застосовуються тканини, які не мають протибалістичних властивостей, але функціонально забезпечують довговічність, міцність і зносостійкість усієї конструкції. Серед таких матеріалів найбільш поширеними є Oxford та Cordura.

Oxford – водостійка синтетична тканина на основі поліефіру із водостійким покриттям, широко використовується для тентів, чохлів, наметів, рюкзаків, спецодягу, тактичного спорядження. Властивості: відносно висока міцність та зносостійкість, гідрофобні та вітрозахисні властивості завдяки поліуретановому просоченню, стійкість до ультрафіолетового випромінювання, відносно низька поверхнева щільність та економічна доступність.

Cordura є зареєстрованою торговою маркою нейлонової тканини, яка здобула статус «золотого стандарту» у виробництві військового спорядження. Ключові переваги: виняткова міцність на розрив та стійкість до стирання, довговічність, водостійкість та відносно малу щільність.

Різновиди: найбільш популярні тканини Cordura 500D

(оптимальний баланс між міцністю та легкістю) та Cordura 1000D (стандарт максимальної зносостійкості для військового спорядження). Сфера застосування – виготовлення плитоносок, тактичних рюкзаків, підсумків та іншого спорядження, яке має витримувати екстремальні умови експлуатації.

Порівняльний аналіз тканини Oxford та Cordura наведено у табл.2.

Таблиця 2 – **Порівняльний аналіз тканин для плитоноски (зовнішнього чохла)**

Матеріал/ характеристика	**Cordura 1000D**	**Cordura 500D**	**Oxford**
Міцність	Дуже висока	Висока	Середня
Поверхнева щільність	Важкий матеріал	Середня	Легкий матеріал
Вартість	Середня	Середня	Низька
Вологопроникність	Низька	Низька	Середня
Стійкість до УФ-випромінювання	Висока	Висока	Середня
Стійкість до зношування	Дуже висока	Висока	Середня
Переваги	Міцний, стійкий до механічних пошкоджень	Міцний, невелика вага	Легкий та бюджетний
Недоліки	Важкий	Менш зносостійкість	Менш стійкий до УФ-випромінювання і зношування

Слід зазначити, що науковцями постійно ведуться дослідження спрямовані на підвищення ефективності засобів індивідуального захисту. Серед основних векторів розвитку можна виокремити такі:

1. Графен. Теоретичні моделювання свідчать, що багатошаровий Графен може демонструвати двократну перевагу над Кевларом у здатності поглинання енергії кінетичного удару при мінімальній товщині матеріалу. Це робить Графен одним із найбільш перспективних компонентів для створення броні майбутнього.
2. «Рідка броня». Розробка базується на матеріалах, що містять неньютонівські рідини, які миттєво переходять у твердий стан у момент імпульсного впливу. Такі бронежилети можуть зберігати гнучкість та ергономічність у звичайних умовах, забезпечуючи при цьому високий ступінь захисту під час балістичного ураження.
3. «Композитна броня». Створення гібридних матеріалів дає змогу поєднувати найкращі властивості різних компонентів. Зокрема, використання надвисокоармованого органопластику дозволяє зменшити товщину і масу керамокомпозитної броні більше ніж удвічі із збереженням захисних характеристик. Важливу роль також відіграє технологія виробництва: перехід до використання некручених арамідних ниток замість кручених може підвищити балістичну

стійкість тканини на 12–16%.

Висновок. Проведений аналіз підтвердив, що жоден окремий матеріал не здатен гарантувати універсальні захисні властивості бронежилета. Найвищий рівень безпеки досягається шляхом багатошарової інтеграції елементів, яка поєднує зовнішню оболонку (чохол-плитоноску), м'які балістичні пакети та жорсткі бронеплити. Раціональна конструкція передбачає використання зовнішньої оболонки з міцного поліамідного матеріалу (наприклад, Cordura 500–1000D). Арамідні волокна (Kevlar) та поліетиленові волокна (НВМПЕ) ефективно поглинають кінетичну енергію засобів ураження, але поліетиленові волокна вирізняються меншою питомою масою та підвищеною стійкістю до вологи. Перспективним вектором підвищення ефективності бронежилета є застосування нових матеріалів, які здатні до динамічної зміни фізичних параметрів у момент удару, підвищуючи рівень захисту при оптимізації загальної маси виробу. Проведений аналіз дозволив сформулювати ключовий напрям подальших досліджень – наукове обґрунтування комплектації матеріалів з метою забезпечення максимальної балістичної стійкості модульного бронежилета.

Література

1. Бояров В.Т., Жданюк М.М., Чередніков О.М. Розробка пропозицій щодо застосування демпфіруючих елементів бронепластин (медичний аспект) // Проблеми якості оборонної продукції: організаційні, технічні та фінансово-економічні аспекти: матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції (Київ, 30 червня 2022 року). Київ, 2022. С. 13-15.
2. Guleria T., Verma N., Zafar S., Jain V. Fabrication of Kevlar®-reinforced ultra-high molecular weight polyethylene composite through microwave-assisted compression molding for body armor applications // Journal of Reinforced Plastics and Composites. 2020. Vol. 40(7–8). P. 307-320. DOI: https://doi.org/10.1177/0731684420959449
3. Боброва С. Ю., Галавська Л. Є. Розробка балістичних трикотажних полотен для виготовлення засобів бронезахисту // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну: Серія «Технічні науки». 2015. № 3 (86). С. 114-120. URL: https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/471
4. Високоміцні склокомпозиційні матеріали спеціального призначення : бронестійкі сити : навч. посібник / О. В. Саввова, Г. К. Воронов, О. І. Фесенко, Ю. О. Смирнова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. 162 с.
5. Харченко Ю. М. Дослідження формостійкості трикотажного полотна для фехтувального одягу при статичних та динамічних навантаженнях / Ю. М. Харченко, Л. А. Дмитренко, Л. Б. Білоцька та ін. // Технологічний аудит та резерви виробництва. 2016. № 5 (3). С. 38-46.