

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

КЛАСИФІКАЦІЯ, КОНСТРУКЦІЯ ТА ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА ЗАСОБІВ БЕЗПЕКИ

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра
за освітньою програмою «Технології виробництва літальних апаратів»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

Укладачі: Т.Р. Гараненко, А.В. Кліско

Електронне мережеве навчальне видання

Київ
КПІ ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО
2023

УДК 623.445 (075.8)
К47

Укладачі: *Гараненко Тетяна Романівна*, канд. техн. наук
Кліско Андрій Валерійович

Рецензент *Бабак А.Д.*, канд. техн. наук, КПІ ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний редактор *Лавріненко А.Д.*, канд. техн. наук

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 2 від 26.10.2023 р.)
за поданням вченої ради навчально-наукового інституту
(протокол № 2 від 25.09.2023 р.)*

Класифікація, конструкція та основи виробництва засобів безпеки [Електронний ресурс] : конспект лекцій : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за освіт. програмою «Технології виробництва літальних апаратів» спец. 131 «Прикладна механіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Т.Р. Гараненко, А.В. Кліско. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 490 с.

В навчальному посібнику викладено методичні матеріали, які надають уяву про специфіку технологічних процесів виготовлення засобів безпеки. Приділено увагу вибору класу матеріалів для деталей і виробів засобів безпеки використовуючи знання будови металів та неметалів та методів модифікації їх властивостей. Наведено відповідні методи і ресурси сучасної інженерії для знаходження оптимальних рішень проектування засобів безпеки. Зміст і обсяг дисципліни «Класифікація, конструкція та основи виробництва засобів безпеки» призначений для здобувачів ступеня магістр за спеціальністю 131 Прикладна механіка буде також корисним як здобувачам вищої технічної освіти, так і інженерно-технічним робітникам.

УДК 623.445 (075.8)

Реєстр. № НП 23/24-107. Обсяг 19 авт. арк.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>
Свідectво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюд0увачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023

Від автора

...Ідея ... Вона безцінна ... Ви є цінністю в цьому світі поки здатні мислити. Чим більше ідей генерується вашим мозком, тим більше бажаючих ними заволодіти. Здатність мислити дало можливість першим ковалям створити знаряддя праці, яке полегшило життя. Потім ковалі створили вироби, які прикрасили побут. Крок за кроком людство прийшло до першого польоту та освоєння космосу... Але жадібність, заздрість і байдужість омертвляє людський мозок, звільняє тваринні інстинкти, що приводить до конфліктів, війн, втрат. Це стало причиною створення ковалями меча й щита, щоб зберегти і передати накопичені знання і досвід майбутнім поколінням. Мета даного курсу не навчити воювати, а зрозуміти, як важливо вміти захистити себе, свої ідеї та їх результат.

Зміст

Тема 1. Система засобів безпеки	6
1. Історія утворення системи безпеки. Проблеми та тенденції розвитку засобів безпеки.	7
2. Класифікація системи засобів безпеки. Класифікація засобів індивідуального бронезахисту. Стандартизація індивідуальних засобів бронезахисту. Класи захисту.	62
3. Стандартизація індивідуальних засобів бронезахисту. Класи захисту.	72
4. Загальні принципи конструювання засобів індивідуального захисту. Ергономічні та експлуатаційні вимоги до засобів безпеки.....	91
Тема 2. Балістичні матеріали та їх використання	123
5. Балістичні матеріали (бронематеріали) та їх використання. Класифікація броні.	124
6. Протибалістичні волокна. Види волокон.....	145
7. Структура нитки. Способи отримання ниток.....	171
8. Тканина. Структура тканини. Види тканин.....	191
9. Штапельні волокна. Неткані протибалістичні матеріали.	201
10. Протибалістичні композити на основі препрегів. Види препрегів. Технологія виготовлення препрегів.....	210
11. Види матриць (смоли). Використання матриць.....	217
12. Технологія виготовлення препрегів. Способи нанесення матриць (смол).....	237
13. Якість препрегів. Випробування, зберігання, утилізація препрегів	251

14. Багатошарові композити (ламінати)	260
15. Керамічні матеріали. Види кераміки.	269
16. Прозорі бронематеріали	287
17. Металева броня	300
Тема 3. Формоутворення протибалістичних виробів	330
18. Технологія виготовлення виробів з легких протибалістичних композитів.....	331
19. Методи виготовлення виробів з композиційних матеріалів	340
20. Формування протибалістичних виробів. Каски. Поліцейські щити.	350
21. Формоутворення протибалістичних вставок	359
22. Багатошарові захисні структури	366
Тема 4. Бронезахист транспортних засобів.....	373
23. Загальні принципи бронезахисту транспортних засобів.....	374
24. Бронювання повітряних транспортних засобів	421
Тема 5. Балістичні випробування засобів броньованого захисту ...	435
25. Стандарти та специфікації легких бронезахисних матеріалів	436
Скорочення.....	480
Визначення	482
Навчальні матеріали та ресурси	487

Тема 1. Система засобів безпеки

«Хто не захищається, тот гине»

Г. Манн

1. Історія утворення системи безпеки. Проблеми та тенденції розвитку засобів безпеки.

1.1. Історія розвитку індивідуального броньованого захисту

1.2. Історія розвитку корабельної броні

1.3. Проблеми сучасності

1.4. Екзоскелети як сучасні бойові обладунки

1.5. Перспективи розвитку бронезахисних елементів

1.1. Історія розвитку індивідуального броньованого захисту

Розвиток засобів безпеки до н.е.

Кування - найдавніший спосіб обробки металів тиском. Його поява збігається з періодом переходу людства від кам'яного віку до бронзового. Самородна мідь була першим металом, який увійшов в ужиток древніх народів саме завдяки застосуванню кування. Освоєння способу обробки самородного металу куванням, нерозривно пов'язане з тривалим нагромадженням людиною навичок і досвіду, пов'язаних з виготовленням кам'яних знарядь праці і зброї шляхом обробки каменю кам'яним же молотом. Самородна мідь, яку первісні люди спочатку теж вважали різновидом каменю, при ударах кам'яного молота не давала характерних для каменю відколів, а змінювала свою форму і розміри без порушення цілісності матеріалу. Ця чудова технологічна властивість нового каменю стало найпотужнішим стимулом видобутку самородного металу і використання його людиною. Крім того, кування підвищує твердість і міцність металу і грає найважливішу роль в створенні більш ефективних знарядь праці і зброї. Кування було першим і єдиним в перший час способом підвищення твердості міді.

Розвиток засобів безпеки до XIV н.е.

Якщо взяти за точку відліку доісторичні часи, то розвиток європейського захисного спорядження йшов за двома напрямками - класичного і варварського. До першого належать бронзові і залізні обладунки мікенців, греків і римлян (рис. 1.1). Цей розвиток почався близько 2000 року до н.е. і закінчився на початку Середніх століть у Східній Римській імперії (Візантії).

Початок другого напрямку поклали шкіряні і кольчужні обладунки варварів - кельтських і тевтонських народів (рис. 1.2), які століттями боролися з Римом і врешті-решт розбили велику імперію в V і VI століттях. Цей тип обладунків проіснував в Європі аж до XVII століття.



Рис. 1.1. Обладунки древніх греків, римлян, мікенців

Кольчуга представляє собою гнучкий матеріал, дуже твердий, але не важкий. Кольчуга досить міцна для того, щоб захистити свого носія від

ріжучих ударів, хоча і була вразлива для ударів списом. Хоча кольчуги, як правило, чудово витримували удари стріл, вони не могли встояти проти стріл арбалета і страшних стріл валлійських і англійських лучників. Кольчугу робили з металевих кілець, переплетених між собою так, що кожне кільце розплющували, накладали один на одного і заклепували, або з суцільних кілець, які видавлювалися з тонкої залізної пластини. Такі суцільні кільця - коли їх застосовували - чергувалися з заклепаними кільцями.

Кольчужні вироби - сорочки, капюшони, гольфи, рукавички - виготовляли за тим же принципом, за яким в наш час в'яжуть вироби з вовни, збільшуючи або зменшуючи кількість петель-кілець у ряду або число самих рядів - в залежності від способу носіння - лицьового або виворітного. Суцільні кільця вибивали пуансоном з тонкого металевого листа, заклепані кільця виготовляли з дроту. Шматок дроту потрібної довжини накручували на стрижень необхідного діаметра. Виходила справжня котушка з одним шаром згорнутої кільцями дроту. Цей дріт розрізали по прямій лінії уздовж стрижня і отримували безліч відкритих незамкнутих кілець. Ці кільця розжарювали, розплющували кінці і пробивали в них отвори для заклепок. Потім кільця переходили від коваля до виробника кольчуги, який збирав їх відповідно потрібної викрійки, з'єднували між собою кільця і заклепували їх кінці.

Кольчужна сорочка була довга, майже до колін. Шийний отвір затягувалося шнуром або застібкою з клапаном, а після 1100 року короткі вільні рукави стали довгими і облягаючими. Після 1175 року рукава багатьох гауберків стали закінчуватися глухими рукавицями, які натягували на кисть руки (рис. 1.2,б).



а)



б)

Рис. 1.2. Обладунки: а) шкіряні; б) кольчужні.

Приблизно до 1250 року неодмінною складовою частиною гауберка був кольчужний капюшон. Після 1250 року цей капюшон стали робити у вигляді окремої деталі. На самому початку епохи носіння кольчуг, ноги захищалися тільки шкірою або полотняними штанами (крій приблизно такий же, як сучасні джинси), які хрест-навхрест підв'язувалися у колін, якщо лицар не носив чобіт до коліна, однак починаючи з 1100 року заможні воїни почали носити кольчужні панчохи, які були довжиною до ступні і теж покривали її.

Панчохи утримувалися смугами шкіри, прикріпленими до поясу. Кольчужні обладунки захищали свого власника від наслідків ріжучих і рубаних ударів, але оскільки кольчуга гнучка й податлива, то вона не

могла захистити від гематом і переломів. Тому під кольчугу надягали шкіряний одяг - довгі штани на ноги і облягаючий шкіряний камзол і щільну сорочку.

Цей шкіряний одяг, що носився під кольчугою, досить ефективно поглинав силу ударів, але все-таки головним засобом захисту воїна був щит і моторність в ухилянні від ударів. Було набагато краще ухилитись від удару, ніж випробовувати на міцність обладунки.

Доісторичні шоломи або ковпаки кували з тонкої бронзи, але вже на початку Середніх століть шоломи стали робити з трикутних залізних пластин, приклепаних до бронзового остову. Середньовічні шоломи були по нижній кромці окантовані горизонтальною смугою на рівні брів, а до цієї смуги кріпили дві або більше викривлених залізних смуг, які під кутом скріплювалися на вершині шолома.

Після 1050 року шоломи такого типу все частіше стали робити з однієї залізної пластини. В середині XIII століття до кольчужних панчів, додали пластинчастий захист коліна. Ці пристосування, названі наколінниками, кріпилися до нижньої кромки штанів, що прикривали стегна. Деякі штани робили у вигляді окремих рукавів, які одягалися поверх стегна, як шаровари, але в деяких випадках це були справжні штани, що нагадували за формою бриджі.

У деяких випадках, головним чином після 1230 року, передню нижню частину ноги стали закривати легкими металевими пластинами, які називали напівпоножі, але зустрічалися вони рідко, аж до кінця століття. Починаючи приблизно з 1300 року всі частіше стали використовувати закриті захисні обладунки для нижніх кінцівок.

Виготовляли їх з двох пластин, одна для передньої частини ноги, друга - для задньої. Пластини з'єднувалися одна з одною петлями на

зовнішнім боці ноги і застібалися за допомогою ременів і пряжок на внутрішній бічній стороні.

Кірасою називається захисне пристосування, що прикриває одночасно груди і спину, термін стали вживати починаючи з XV століття.

Для додання пластині основної грубої форми застосовували холодну ковку, хоча, можливо, протягом цього процесу пластину один або два рази відпалювали або гартували. Деякі операції, наприклад гнуття деталі, гнуття краю деталі, можна було виготовляти тільки шляхом гарячого кування. Після того як всім заготовкам надавали потрібну форму, наступала найважча частина роботи: складання та підганяння частин.

Цей етап був, звичайно, найважливішим, бо якщо різні деталі не підійшли б одна до одної або не перекривалися б між собою, то не була б виконана головна мета виготовлення обладунків - вони не захищали б свого господаря, не забезпечували б достатньої гнучкості і свободи рухів, а між частинами виникли б небезпечні зазори. Коли збірку і підганяння деталей закінчували, виріб передавали полірувальникам, які чистили і полірували обладунки на водяних абразивних колесах.

Звичайно, у обладунків були і великі недоліки. Найбільшим з них - незалежно від того, наскільки власник був прилаштований до їх носіння і наскільки добре вони підігнані, - були задуха і перегрівання. В обладунках воїн міг страждати від нестерпної спеки.

Техніка ручного кування задовольняла виробництво до тих пір, поки були потрібні невеликі за розміром і масою ковані вироби. Під впливом розвитку суднобудування, військової, будівельної та деяких інших галузей техніки, що викликали потребу на великі залізні якорі, ланцюги, смугове і листове залізо, металообробні, в тому числі ковальські, виробництва оснащувалися різноманітними механічними пристроями,

що дозволяють обробляти важкі заготовки заліза. В XIII – XIV з'являються механічні молоти, що приводяться в дію енергією падаючої води.

Період найбільшого поширення **кольчуги** тривав приблизно до 1350 року, а період найбільшого поширення **пластинчатих обладунків** приблизно від 1350 до 1650 року, хоча, звичайно, після 1550 про значне поширення пластинчатих лат говорити вже не доводиться і мистецтво виготовлення панцирної зброї поступово занепадає.

Розвиток засобів безпеки в XIV - XV н.е.

Одними з найдосконаліших засобів індивідуального бронезахисту є лицарські обладунки XIV- XV ст. готичного і максиміліанівського типу (рис. 1.3.).



Рис. 1.3. Рицарські обладунки

Про лицарські обладунки все знають, але не всі знають, що причиною їх появи був кінний удар списом з хватом під пахвою і упором списа в луку сідла і в щит. Поява цього удару в XII столітті призвело до того, що звичайні пластинчасті і кольчужні обладунки стали неефективними, як в іншому і шоломи. Подібний удар при попаданні в шолом ламав шийні хребці, а іноді і саму голову. В обладунках готичного типу проблема була вирішена.

Панцирні обладунки носили в першій половині 14-го століття. Їх виробляли з бруска сталі чи загартованого заліза; ці бруски розковували в плоскі пластини вручну або водяними падаючими молотами. Пластини потім розрізали по заготовленим лекалам різних частин майбутньої зброї, а потім кували їх на шаблоні або в формі.

Розвиток засобів безпеки в XIX н.е.

З появою та розвитком ручної вогнепальної зброї захисні обладунки втрачають свою роль. Лицарські обладунки, поступаються місцем легким панцирам, наколінникам, які захищали лише груди і спину і частини кінцівок (рис. 1.4). З часом наколінники зникають, а нагрудники починають виготовлятися з міцної шкіри й тканин. Такі види обладунків не могли захистити від кулі з близької відстані, але залишалися у використанні у зв'язку з широким використанням холодної зброї. В деяких родах військ обладунки залишалися до середини XIX століття. Найдовше обладунки у вигляді кіраси протрималися на озброєнні кірасирів — важкої кавалерії.



Рис. 1.4. Розвиток обладунків до XIX н.е.

«Хейлунцзянська рушниця» була знайдена в районі боїв бунтівного принца Наяна (Китай) з військом великого хана Хубілія (1287 - 1288). На сьогодні найстаріша із збережених ручна вогнепальна зброя в світі.

Розвиток засобів безпеки в Першу світову війну

До Першої світової війни засоби індивідуального захисту практично не використовувалися із - за великої пробивної здатності куль нарізної стрілецької зброї. Однак розвиток скорострільної та снарядної артилерії, оснащеної розривними (фугасними, уламками і шрапнелльними) снарядами, привело до розуміння необхідності оснащення піхоти противоуламковими засобами захисту, як мінімум голови.

Багато країн вступили у війну, маючи на постачанні противоуламковий сталевий шолом. Більшість таких шоломів було з широкими полями для захисту від шабельного кавалерійського удару. Війська деяких країн мали також нагрудники і кірасу.

Перша світова війна показала, що вогневі та технічні засоби зробили величезний стрибок в розвитку в порівнянні з попередніми війнами. В умовах окопної війни застосування кавалерії на поле бою було практично

зведено до нуля. Нemoжливим виявилoся і переміщення піхоти в щільних побудовах.

Бійцeві нeобхідно було переміщатися повзком, а потім вести бій в траншеях супротивника. Кіраси виявилися не тільки дуже важкими і незручними, але і занадто слабкими для захисту від пострілів в упор. В результаті у піхоти із засобів захисту залишили тільки протиуламкові шоломи без полів, а захисні жилети віддали артилеристам і штурмовим частинам, хоча обмежено їх застосовували. Шоломи захисні використовували спостерігачі і снайпери, яким не потрібно було активно рухатися на полі бою.

Можливості створення таких засобів захисту, як шолом, кіраси, нагрудники, обмежувалися наявністю балістичних захисних матеріалів. Фактично існувало тільки два матеріали - сталь і шовк. Шовк був більш ефективним за протиуламковою стійкістю, але дорогим матеріалом.

Розвиток засобів безпеки в та після Другої світової війни

Друга світова війна в цілому підтвердила висновки Першої світової. Її важливою відмінністю стала поява **механізованих частин**, що змінило характер війни **з окопного на маневрений**. Це призвело до недоцільності комплектації снайперів і спостерігачів важкими шоломами.

З появою кулеметів виникла необхідність якимось чином захистити піхотинця від згубного вогню. Спочатку вирішили повернутися до кіраси. Німці для штурмових частин сконструювали кірасоподібний сталевий нагрудник, який захищав груди, живіт та шию піхотинця від куль та уламків. Однак він був занадто важким, сковував рухи піхотинця і не захищав від гвинтівкових куль (рис. 1.5.).



Рис. 1.5. Німецький солдат під час другої Світової війни

Для ефективного захисту у бронежилетах використовували елементи з високоміцної сталі, які були дуже важкими. Просте нарощення бронеелементів підвищувало масу всієї системи, тому лише деякі роди військ використовували такі бронежилети (наприклад, американські льотчики бомбардувальники). Занадто тонкі пластини не забезпечували надійного захисту (рис. 1.6.).

Новий інтерес до бронежилетів виник у середині XX століття в зв'язку з новими винаходами високоякісних та легких сортів сталі, застосуванням нових видів металів та неметалічних матеріалів. Справжньою революцією став винахід **кевлару**. Також суттєвим внеском стало вдосконалення бронеелементів із застосуванням алюмінію. Використовують комбінацію металевих, керамічних та тканинних елементів.



Рис. 1.6. Льотчик-бомбардувальник під час другої Світової війни

Вперше масово бронежилети були застосовані американцями в Кореї. Статистика показувала: 30% загиблих було від куль і 70% від уламків, у відкритій місцевості 10% - поранення від куль, 90% - від уламків. Бронежилети були тільки протиуламкові і навіть пістолетні кулі тримали не всі і не з усіх дистанцій, застосування їх дозволило зменшити втрати в 2-3 рази.

Досвід локальних конфліктів і партизанських воєн (Афганістан, В'єтнам) показав, що в таких війнах ймовірність ураження вогнем стрілецької зброї вище, ніж в звичайних війнах. В сучасних бронежилетах було ведено крім протиуламкове ще й противокульове бронювання (рис. 1.7.).

Наука досі не спромоглася винайти броню, яка б надійно захищала від усіх типів куль. Відповідно до різних фізичних властивостей броні бронежилети можуть витримувати влучання одних і не витримувати зовсім інших куль в силу їх різноманітних характеристик (початкової швидкості, зупиняючої та заброньової дії тощо).

Попри стрімкий розвиток технологій, а в деяких випадках і внаслідок їх розвитку, екіпіровка сучасного піхотинця важить більше, ніж будь-коли. Навіть у порівнянні з древніми воїнами, одягненими у важкі лати і озброєними масивними залізними мечами. Вимоги сучасного бою призводять тільки до збільшення ваги обладнання, яке вимушений нести на собі боєць.



а



б

Рис. 1.7. Засоби індивідуального бронезахисту: а - солдат майбутнього за версією журналу LIFE, 1959 рік; б - сучасне обмундирування солдату армії США

Проблема вагового перевантаження переслідує вояків тисячоліттями. У 107 році до н.е. давньоримський полководець Гай Марій вирішив, що обози з припасами знижують мобільність його легіонів на марші. Тому легіонерам було наказано носити все необхідне з собою.

Тобто, крім зброї, лат і щита воїн повинен був нести на собі ще й запас провіанту на два тижні, плетений кошик, лопатку, флягу з водою, шанцевий інструмент і кирку. З таким вантажем, вага якого досягала 40

кг, легіонери кожен день здійснювали піші марші по 20 миль (32 км), за що і отримали прізвисько "мули Марія".

Через тисячу років потому настав час середньовічних лицарів. Їх бойова екіпіровка, хоча і важила близько 30 кг, дозволяла сісти верхи на коня без сторонньої допомоги. Так, французький лицар Жан де Менгр став відомим завдяки тому, що, перебуваючи в повному бойовому спорядженні, міг піднятися по внутрішній стороні приставних сходів тільки за допомогою рук.

З появою вогнепальної зброї відпала необхідність у використанні важких лат і кольчуг. Однак це не призвело до зменшення вагового навантаження на солдата, оскільки тепер йому доводилося носити на собі запас боєприпасів.

Під час громадянської війни в США вага екіпіровки солдата Союзної армії сягала 30 кг разом із п'ятикілограмовим мушкетом. З початком Другої світової війни комплект оснащення американського піхотинця важив уже майже 38 кг.

Це стало однією з причин великих втрат американської армії під час операції з висадки союзницьких військ у Нормандії в 1944 році, коли багато поранених бійців просто не змогли дістатися берега і потонули.

Американські військові завжди визнавали існування цієї проблеми. З 1945 року США здійснили щонайменше п'ять великих дослідницьких проектів з питань зниження вагового навантаження бійця. Але жоден з них не був успішним. В кінцевому рахунку, навантаження сучасного піхотинця не тільки не зменшилося, але збільшилося більш ніж удвічі.

Створення засобів захисту армії оборони Ізраїлю

ЦАХАЛ (Цва хагана ле-исрає ль, армія оборони Ізраїлю) - армія, якої бояться вороги і від якої не прагнуть «відкосити» по здоров'ю; армія де немає дідівщини, де поважають індивідуальність, де слово патріотизм не порожній звук, а служба - честь. Була заснована 26 травня 1948 року указом Тимчасового уряду на чолі з Давидом Бен – Гуріоном – через два тижні після утворення Держави Ізраїль.

За законом всі громадяни Ізраїлю, включаючи тих, що мають подвійне громадянство та проживають в іншій країні, а також всіх постійно проживаючих на території держави після досягнення 18 років призиваються на службу в ЦАХАЛ. Максимальний термін служби – 36 місяців (32 місяці для бойових частин), для жінок – 24 місяці. Жінки в Ізраїлі є військовозобов'язаними, більшість з них проходять службу в ЦАХАЛ. Жорстко припиняються нестатутні відносини. При будь-яких ознаках дідівщини проводяться розслідування на дуже високому рівні, винуватці інциденту відправляються у військову в'язницю.

Бойовий підрозділ Каракаль

У 2000 році парламентом Ізраїлю був прийнятий закон, котрий дозволив жінкам проходити військову службу в рядах бойових підрозділів. В армії оборони Ізраїлю була запущена експериментальна програма зі створенню окремих бойових рот з переважаючим жіночим складом, а пізніше сформований окремий піхотний батальйон (рис. 1.9.). Він був названий на честь каракала - степової рисі, що живе в ізраїльській пустелі Арава. Самці і самки цієї тварини не відрізняються один від одного. У батальйоні Каракаль дівчата становлять не менш як дві третини службовців, при цьому посади і обов'язки ні на якому рівні не розділяються між статями.

18,6млрд

доларів складав бюджет
Армії оборони Ізраїля
в 2015 році.

Це 6,2% від ВВП країни.

176500 людини - чисельність
військовослужбовців
в Ізраїлі (діюча армія).

Для порівняння:

в Україні - 250000

в Китаї - 2333000

в США - 1492200

21,3

військовослужбовців припадає на
1000 чоловік населення Ізраїлю.

Це найвищий показник
серед розвинутих країн.

Аналогічний показник в Україні - 5,9;
в США - 4,6; в Китаї - 1,7.

Найвищий показник серед країн світу
КНДР - 47,8.

В Ізраїлі найвищий в світі ГЛОБАЛЬНИЙ ІНДЕКС МІЛІТАРИЗАЦІЇ. Даний показник відображає вагу і важливість військового апарату держави по відношенню до його суспільства в цілому. Індекс розраховується, зокрема, з урахуванням відношення військових витрат з ВВП та витрат на охорону здоров'я, а також відношення чисельності важкого озброєння та всього населення країни. По даним Bonn International Center for Conversion (BICC) за 2015 рік:

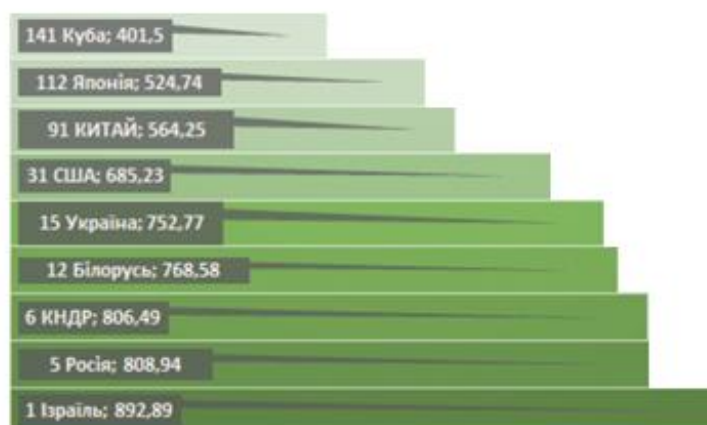


Рис. 1.8. Статистичні дані (2015 р.)

Відмітний знак - салатові берети з емблемою піхоти і червоні черевики.

Основне завдання батальйону - охорона південних кордонів Ізраїлю.

В природі немає ідеально круглих речей, тому голі каски добре видно. З метою маскуванню на них надягають безформні шапки, або ж до них прикріплюються гілки дерев.

Жіноча і чоловіча військова форма практично однакова, але кожен намагається її вдосконалити. Прати форму, як правило, возять додому.

Тактичні наколінники допомагають при стрільбі з положення лежачи. Гумки внизу підтримують штани, щоб вони не висіли, коли доводиться повзти, що б не бруднилися і не чіплялися за колючки.

В черевиках є маленькі кишені для пластинок з особистим номером, ще один номер їх двох половинок висить на шийі.

Черевики на чоловічі і жіночі не діляться, підошви у них у всіх однакові по рельєфу, щоб можна було по слідах на землі відразу помітити чужака території, що охороняється.

В кишенях веста (жилета) все повинно лежати на своїх місцях: якщо боєць помре, інший солдат відразу зможе вихопити необхідне - патрони, гранати, пов'язки, складаний ніж, ліхтарик, фляжку.

Ручний кулемет IMI Negev Commando важить 7 кг і вражає цілі на відстані до 800 м. Кулеметником може стати будь-який солдат незалежно від статі, якщо він досить витривалий.

Ідеальна форма

В природі немає ідеально круглих речей, тому голі каски добре видно. З метою маскування на них надягають безформні шапки, або ж до них прикріплюються гілки дерев

В кишенях веста (жилета) все повинно лежати на своїх місцях: якщо боєць помре, інший солдат відразу зможе вихопити необхідне - патрони, гранати, пов'язки, складний ніж, ліхтарик, фляжку

Жіноча і чоловіча військова форма практично однакова. Але кожен намагається її вдосконалити. Прати форму, як правило, возять додому.

Тактичні наколінники допомагають при стрільбі з положення лежачи. Гумки внизу підтримують штани, щоб вони не висіли, коли доводиться повзти, щоб не бруднилися і не чіплялися за колючки.

Ручний кулемет IMI Negev Commando важить 7кг і вражає цілі на відстані до 800м. Кулеметником може стати будь-який солдат незалежно від статі, якщо він досить витривалий.

В черевикх є маленькі кишені для пластинок з особистим номером, ще один номерх їх двох половинок висить на шиїю

Черевики на чоловічі і жіночі не діляться, підошви у них у всіх однакові по рельєфу, щоб можна було по слідах на землі відразу помітити чужака на території, що охораняється



Рис.1.9. Обмундирування бойового жіночого батальйону Каракаль

Бронежилети та розвантажувальні системи армії оборони Ізраїлю

Історія розвантажувальних жилетів (англ. Battle Vest) розпочалася 1967 р. за основу прийнятої на озброєння системи була взята модернізована американська ремінно-плечова система – MLCE (Modernized Load – Carrying Equipment) (рис. 1.10).



Рис. 1.10. Ситсема MLCE 1967р.

На відмінну від американського прототипу, замість брезенту була використана синтетика, яка менше псувалася в умовах тропічного клімату. Також було змінено кількість підсумків для магазинів, завдяки чому звільнено місце для ручних гранат і додано кріплення для піхов багнета (рис. 1.11).



а)



б)

Рис. 1.11. Елементи розвантажувальних жилетів: а) – підсумки для магазинів; б) - піхов багнет

Проте найбільшою зовнішньою відмінністю стало переміщення рюкзака на рівень поясу задля зміщення балансу ваги. Ці модифікації комплекти отримали назву ALICE або Ефод. До створення Ефоду ізраїльтяни використовували військове спорядження армій США, Франції та Великобританії. Ефод – власний ізраїльський проект, створений виключено для армії Ізраїлю з урахуванням особливостей бойових дій в умовах спеки (рис. 1.12).



а)



б)

Рис. 1.12. Розвантажувальний жилет: а) – розвантажувальна система Ефод; б) – спецпідрозділ Рімон з модульними розвантажувальними системами

Це досягалося тим, що традиційний жорсткий пояс із підсумками в Ефоді був замінений широким м'яким, що зручно оперізував талію, охоплював торс, чим знімав плечове навантаження. При цьому плечові лямки з'єднувалися в конкретно розрахованих точках із панелями. Це забезпечувало чітку фіксацію всієї конструкції при будь-яких положеннях тіла. До того ж грудна клітка не стискувалася, а застібка спереду сприяла швидкому скиданню системи в критичній обстановці. Ефод найкращим чином проявив себе в усіх видах бойових операцій і при здійсненні тривалих маршів.

Наступним кроком (2000) виявилася відмова від ремінної системи до повністю закритого жилета – Вест. Циркуляція повітря в ньому була не найкращою, проте був збалансований розподіл маси, оригінальним ізраїльським винаходом стало кріплення рюкзака до спинки розвантажувального жилета, що дозволило уникнути биття рюкзака об спину під час бігу та забезпечило легке знімання, збільшення параметрів у висоту та в ширину зменшило його відхилення назад, що позитивно вплинуло на можливість виконання складних маневрів та перекошування через спину (рис. 1.13).



Рис. 1.13. Розвантажувальна система Вест (вид збоку та спереду)

Ще одним важливим елементом стало застосування липучок, за допомогою яких кріпилися кевларові пластини, що дозволило поєднати розвантажувальну систему та бронежилет в одному виробі. Це економить час під час одягання та знімання амуніції, що набуває великого значення в разі надання допомоги пораненим, коли важлива кожна хвилина. Принцип «два в одному» актуальній і сьогодні.

Крім того, наявність у лямках та ремінних кріпленнях сучасних міцних синтетичних матеріалів дало змогу використовувати їх як імпровізовані носилки під час транспортування поранених солдатів. Бойовий ніж розміщений біля підсумків у спеціальній кишені, пістолет – у нагрудній кобурі, смужки резинок на лямках надійно фіксують дроти наголовної гарнітури та шланги для питної води, тому було ліквідовано кріплення для фляг.

Бронежилети армії оборони Ізраїлю

Паралельно з переходом на модульну систему в Ізраїлі працюють над створенням максимально легких і зручних платформних жилетів (керамонів), які виконують не тільки розвантажувальні функції, а й слугують базовими системами індивідуального захисту солдата через можливість використання балістичні плити.



Рис. 1.14. Платформний розвантажувальний жилет K3 Keramon IDF Plate Carrier 2015р., компанія Agilite

Платформний розвантажувальний жилет K3 Keramon IDF Plate Carrier (2015р., компанія Agilite) заявлений як найлегший платформний жилет. Його вага знижена за рахунок використання зовні легкого, але щільного нейлону, а всередині – «тривимірної» сітки, а також регулювання бічної поясної частини лише трьома стропами. У базовій версії може бути використаний як без підсумків, так і в повній комплектації з різними їхніми варіаціями.

Для кращої модульності жилетів також запроваджено використання кріплень за технологією M.O.L.L.E, винайденою в США, що складається з нашитих сходинками нейлонових строп, завдяки яким забезпечується велика варіативність кріплення того чи іншого спорядження (рис. 1.15).



Рис. 1.15. Технологія кріплення M.O.L.L.E

В Ізраїлі при визначенні рівня захисних якостей бронежилета використовують стандарти, установлені США в 2000 р. Вони стосуються лише бронежилетів і не поширюються на інші види засобів індивідуального захисту.

Бронежилети постачають фірми «Nagor Industries», «T9design», «Agilite», «LTC LIGHT TACTICAL CARRIE», «Масада», «Oso Gear». Продукція характеризується надійністю завдяки обов'язковому ретельному тестуванню в бойових умовах, використанню екологічно чистих матеріалів, невеликою вагою – до 2кг.

Під визначенням бронежилет підпадають абсолютно різні їхні типи, які представлені готовими фірмовими комплектами з бронепластинами для зовнішнього або прихованого носіння, бронежилетами модульного типу, а також різноманітними розвантажувальними системами з пришитим набором підсумків у різних варіаціях. Захисні матеріали доволі різні: кевлар, кераміка, металокераміка, надвисокомолекулярний поліетилен високої щільності.

Для захисту особового складу від ураження колючими проникаючими ударами в шию і в область сонної артерії і серця, у 2015 р. був швидко створений та запатентований пластиковий гнучкий захисний протектор шиї, що не обтяжує своєю вагою, служить надійною перешкодою для різних видів холодної зброї, є універсальним, оскільки його можна використовувати з різними типами бронежилетів (рис. 1.16).



Рис. 1.16. Пластиковий протектор для захисту шиї від ножа

Для ЦАХАЛ характерним є швидке реагування на зміну військово – політичної обстановки, тактики противника, що продемонструвало оперативне забезпечення військ у гарячих точках у січні 2016 р. пластиковими протекторами для захисту шиї і плечового поясу від ножа.

1.2. Історія розвитку корабельної броні

Броня кораблів застосовувалася ще на **квінкверемах** давньоримського флоту, потім на корейських **кораблях-черепах**, **проте з розвитком артилерії** їх захист став практично даремним. До початку XIX століття в кораблебудуванні підтримувався певний баланс між засобами захисту і нападу. Вітрильні кораблі були озброєні гладкоствольними дульнозарядними знаряддями, що стріляли круглими ядрами. Борти кораблів були обшиті товстим шаром дерева, що досить непогано захищали від круглих ядер (рис. 1.17.).

Квінкверема або **пентера** (рис. 1.18.) - бойовий корабель з трьома рядами весел, більшого розміру, ніж трієра, весла якого управляються двома, двома і одним веслярами (2 + 2 + 1) .Число весел в одному ряду доходило до 25. Водотоннажність понад 200 т, довжина 45 м, ширина 6 м, осадка 2,5 м, екіпаж близько 250 чол. Для узгодження веслування застосовувалися канатне з'єднання весел одного ряду і упори, що обмежувало величину гребка. Вони брали участь в обороні Тиру військ Олександра Македонського в IV ст. до н.е.

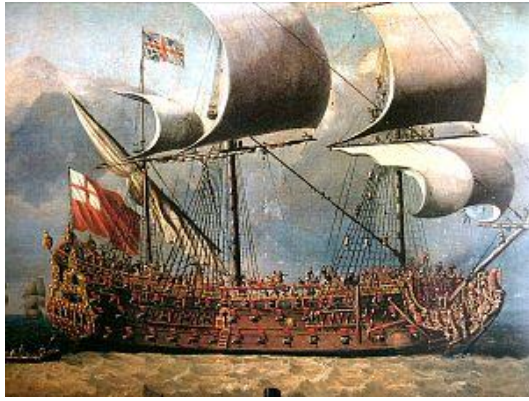


Рис. 1.17. Зображення вітрильного корабля



Рис. 1.18. Зображення квінкверема

Кобуксон (рис. 1.19.)- великий, імовірно броньований військовий корабель Кореї часів династії Чосон (між XV і XVIII століттями), що належав до класу корейських військових кораблів паноксон. Найбільш відома конструкція корабля, виконана корейським адміралом Лі Сунсін, який допрацював більш ранні моделі, зробивши кобуксон одним з головних засобів ведення морських боїв під час Імджінської війни з Японією.



Рис. 1.19. Зображення кобуксона або корабля - черепахи

Перші записи про кобуксон були зроблені між 1413 і 1415 в «Анналах династії Чосон». Ці кораблі виконували тоді функції тарана і використовувалися проти японських піратів. Пізніше, зважаючи на відносно спокійне у військовому плані положення справ в Кореї, ці перші кобуксони довго не використовувалися.

Після відновлення адміралом Лі кораблі-черепахи, озброєні гарматами п'яти різних видів, використовувалися як в Імджінської війні між Кореєю та Японією, так і згодом в інших конфліктах.

Пізні модифікації корабля-черепахи примітні насамперед тим, що їх корпус, на думку деяких дослідників, був обшитий залізними пластинами, утворюючи подобу броні. Броня могла складатися з шестикутних залізних пластин, кожна з яких забезпечувалася гострим шипом, призначеним насамперед для захисту від абордажу, улюбленого методу ведення морського бою в той час. Крім захисту від абордажних гаків, залізні пластини також охороняли корабель від стріл і куль.

Втім, навіть якщо пластини і були в наявності, це не дозволяє вважати кобуксон першими в світі броненосцями, як це роблять деякі дослідники: товщина броні, з урахуванням рівня розвитку металургії середньовічної Кореї та інших міркувань, не могла бути значною. Найбільш ймовірно, що порівняно тонкі, від декількох до десятка міліметрів, листи заліза просто охороняли корабель від запальних засобів. Обшиті же металом для запобігання від загоряння гребні та парусні військові кораблі відомі ще в римську епоху, а також в середньовічній Європі. По-друге, броненосцем іменується цілком певний тип морехідного корабля з механічним двигуном, що забезпечує йому прийнятну для участі в ескадреному бою у відкритому морі рухливість і маневреність. Кобуксон же в кращому випадку може претендувати на роль

блиндорованної канонерського човна берегової оборони або плавучої батареї.

Більшість дослідників, однак, сумнівається в наявності броні на кобуксоні, так як немає однозначних свідоцтв того, що корпус корабля дійсно покривали залізними пластинами.

Існує думка, що в перше захистити корпус корабля металевими щитами запропонував британський винахідник сер **Вільям Конгрів**, опублікувавши свою статтю в лондонському «Таймс» від 20 лютого 1805 року, однак ще в 1782 році при облозі Гібралтару іспанці обшивали дах і борт плавучих батарей залізними брусами, а першим кораблем, в 1761 році, що отримав мідну обшивку, став **фрегат** HMS Alarm Королівського флоту Великобританії. Аналогічну пропозицію було зроблено в США в 1812 році Джоном Стеві з Хобокен (Нью Джерсі). У 1814 році про необхідність бронювання кораблів висловився і француз Анрі Пексан. Однак ці публікації **не привернули** увагу.

Перші кораблі з заліза були побудовані для британського флоту в 1845 році пароходофрегати «**Birkenhead**» та «**Trident**». Були сприйняті моряками досить холодно. Їх залізна обшивка захищала від ядер гірше, ніж дерев'яна відповідної товщини (рис. 1.20).

В 1819 році генерал Пексан винайшов розривну гранату, якою можна було стріляти з гармати прямою наводкою, що порушило сформованого балансу між захистом і снарядом, так як дерев'яні парусні кораблі піддавалися сильному руйнуванню від вибухового і запального впливу нової зброї. Правда незважаючи на переконливу демонстрацію руйнівних властивостей нової зброї в 1824 році під час тестових стрільб по старому лінійному кораблю «*Pacificator*», впровадження цього виду зброї йшло повільно. Але після феноменальних успіхів його застосування

в 1849 році в битві при Екерн-фіорді і в 1853 році в бою при Синопі відпали сумніви навіть у найбільших його критиків.



Рис. 1.20. Зображення першого корабля з заліза, 1855 р.

Тим часом розвивалися ідеї будівництва **броньованих кораблів**. У США Джон Стевенс з синами за власні кошти зробив ряд експериментів, в яких вивчалися закони проходження ядер крізь залізні плити і визначалася мінімальна товщина плити, необхідна для захисту від будь-якої відомої артилерійської гармати. У 1842 один з синів Стевенса - Роберт, представив результати експериментів і новий проект плавучої батареї комітету Конгресу. Ці експерименти викликали великий інтерес в Америці і Європі.

У 1845 році французький кораблебудівник Дюпюї де Лом за завданням уряду розробив проект броньованого фрегата. У 1854 році була закладена плавуча батарея Стевенса. Через кілька місяців були закладені чотири броненосних батареї у Франції і ще через кілька місяців - три в

Англиї. У 1856 році три французькі батареї - «Devastation», «Lave» і «Tonnate», невразливі для артилерійського вогню, були з успіхом використані при обстрілі кінбурнських фортів під час Кримської війни. Цей вдалий досвід застосування спонукав провідні світові держави - Англію і Францію, до будівництва **броненосних** морехідних кораблів.

К кінцю 18 на початок 19 ст. під впливом загального розвитку машинобудування, парової енергетики і металургії створювалися сприятливі умови для прогресу прокатного виробництва. В цей час прокатка металів утвердилася як самостійний процес металургійного виробництва. Виділялися кілька основних груп прокатних станів, що відрізняються функціональним призначенням у виробництві: обтискні, листові і сортові.

Прокатне виробництво стає найбільшим виробником різних напівфабрикатів і виробів для машинобудування, кораблебудування і залізничного транспорту. Прокатні заводи постачають для обшивки військових судів броньові плити. Найбільші мали товщину 500мм, довжину 8 м і ширину 3 м. Вперше броньові плити були успішно застосовані французами в Кримській війні 1855 г. Спочатку виготовляли броньові плити з зварювального заліза, отримані шляхом зварювання декількох окремо виготовлених листів. Однак такі плити були порівняно м'якими і зі збільшенням потужності снарядів кораблі ставали уразливими. Після того, коли були знайдені економічно дешеві способи отримання литої сталі, винахідницька думка пішла по шляху виготовлення так званих **здвоєних або компаундплит**. Вони склалися з двох листів, один з яких виготовлявся зі сталі, інший - зі зварювального заліза. Для міцного з'єднання листів цю двошарову композицію в гарячому стані піддавали прокатці в гладких валках. Сталезалізні броньові плити володіли підвищеними експлуатаційними

властивостями, поєднуючи в собі міцність сталевго шару і тягучість залізного.

Броня компаунд

Одним із способів отримати броньовану плиту з твердою поверхнею і в'язкою підкладкою стало винахід броні компаунд. Було з'ясовано, що твердість і в'язкість стали залежить від вмісту в ній вуглецю. Чим більше вуглецю, тим більше твердої, але і більш крихкою виходить сталь. Броньована плита компаунд складалася з двох шарів матеріалу. Зовнішній шар складався з більш твердої сталі з вмістом вуглецю 0,5-0,6%, а внутрішній - з більш вузького кованого заліза з низьким вмістом вуглецю. Броню компаунд робили з двох частин: товстої залізної і тонкого сталевго

Першим спосіб виготовлення компаундною броні запропонував Вілсон Кеммел (Wilson Cammel). На розігріту поверхню плити з кованого заліза виливалася сталь з ливарної печі. Інший варіант запропонував Елліс-Браун (Ellis-Brown). За його способом сталева і залізна плити припаювалися один до одного бессемеровскою сталлю. В обох процесах плити додатково прокочувалися.

Залежно від типу снаряда ефективність компаундною броні змінювалася. Проти найбільш поширених залізних снарядів 254-мм (10 дюймова) компаундна броня була еквівалентна 381-406 мм (15-16 дюймів) залізної броні. Але з'явилися в той час спеціальні бронебійні снаряди з міцної сталі, компаундна броня була тільки на 25% міцніше кованого заліза - 254-мм (10 дюймів), плита компаунд була приблизно еквівалентна 318-мм (12,5 дюймів) залізній плиті.

У США, розвиток промисловості призвело до появи нових броньових матеріалів на основі скляних і синтетичних волокон. Найбільш широке

застосування дані матеріали знайшли в засобах захисту льотчиків бомбардувальної авіації від низькошвидкісних уламків зенітних снарядів великого калібру, яким перед попаданням в жилет необхідно було ще пробити фюзеляж літака. Для посилення застосовувалися пластини із сталеві і алюмінієвої броні.

Противокульні панелі на основі кераміки й склопластику вперше знайшли своє застосування в захисті екіпажів гелікоптерів, які діяли у В'єтнамі. У комплект входили бронепанелі захисту спинки і сидіння крісла пілота, бічні бронепанелі, що вставляються в двері, і броньові нагрудники, що надійшли у війська в лютому 1966р. і показали високу бойову ефективність.

1.3. Проблеми сучасності.

Використання бронежилетів дозволило істотно зменшити втрати. Однак було з'ясовано, що навіть противоуламкові бронежилети масою 4-5 кг використовували в середньому в 40-50% випадків, решта надягали їх тільки при вступі на посаду, а в решту часу ігнорували. В першу чеченську кампанію з'ясувалося, що тільки 10% поранених і вбитих були в бронежилетах. Основними причинами такого небажання використовувати бронежилети були їх велика маса і незручність носіння - бронежилет надягали на кшталт ковдри через голову і лежав на плечах. Також з'ясувалося, що при масі шолому понад 1,3 кг, постійно носити його без зниження боєздатності солдатів не можливо. Постійне носіння бронежилетів і шоломів в армії різко знижує втрати, в середньому в 2-4 рази.

Основні проблеми в створенні індивідуального захисту:

1. Забезпечення ефективного захисту кінцівок;

2. Підвищення захищеності голови і шиї;

3. Підвищення захищеності від дії ударної хвилі, нелетальної і хімічної зброї;

4. Зниження помітності бійця в основних діапазонах довжин хвиль: оптичному, радіолокаційному та тепловому.

Протиуламкова захисна структура бронежилета повинна бути легкою і не містити твердих елементів, які можуть привести до демонтажу або рикошету кулі. Противокульний захист необхідно виконувати у вигляді декількох великих панелей більшої площі для мінімізації зони стиків і великої товщини, щоб в переважній більшості випадків вони не пробивалися кулями стрілецької зброї.

Чохол жилета повинен бути зроблений з камуфляжної зносостійкої тканини, та мати кишеньки для перенесення боєприпасів та амуніції.

Головним завданням екіпіровки є підвищення бойової ефективності бійця. Сьогодні гранична маса переносної екіпіровки обмежена 24 кг. Причому на засоби захисту відводиться її третина - не більше 8 кг.

1.4. Екзоскелети як сучасні бойові обладунки

Вагове навантаження на піхотинця постійно зростає. Тож останні роки компанії різних країн наполегливо працюють над розробкою екзоскелетів, які мають зробити солдата швидким, сильним та витривалим. Екзоконцепція може відіграти суттєву роль у підвищенні мобільності військових підрозділів та ефективності окремого солдата.

У 2016 р. видання Корпусу Морської піхоти США (Marine Corps Times) опублікувало нові стандарти фізичної витривалості особового складу. Так, офіцер морської піхоти повинен мати змогу нести на собі вантаж вагою 69 кг на відстань 14,5 км. На перший погляд таке навантаження

може здаватися надмірним, проте навіть в офіційних документах вага навантаження в 50 кг вважається нормою.

Під час дискусії про те, наскільки така норма є реалістичною, один морський піхотинець визнав, що під час бойових дій в Афганістані йому іноді доводилося переносити на собі вантажі вагою понад 100 кг.

Говорячи про причини збільшення навантаження піхотинця, слід згадати, перш за все, про засоби захисту. Бронежилет стандартного класу захисту разом з бойовим шоломом важать більше 20 кг. До цього слід додати і вагу додаткових елементів для захисту шиї, рук, паху і плечей. Ще 7,5 кг навантаження припадає на карабін М4 з боєприпасами. Далі, піхотинцеві ніяк не обійтися без гранат, запасу їжі й води, плащ-намету, з'ємної утеплюючої підкладки, ліхтарика, приладу нічного бачення і аптечки (всього близько 32 кг).

І все це не рахуючи озброєнь відділення та взводу. А ще хтось має нести і боєприпаси до них. Тільки один мінометний снаряд калібру 60 мм важить більше 1,8 кг, і стільки ж важить граната для реактивного гранатомета АТ-4. Заповнена стрічка для кулемета відділення М249 важить 2,78 кг.

І, крім того, піхотинець краще візьме з собою щось зайве, ніж потім буде шкодувати, що не взяв. Бо в бою частіше виграє той, хто більше стріляє. Тому потреба в носінні боєприпасів буде не зменшуватися, а тільки зростати. Не можна забувати і про таку проблему кожного користувача сучасних мобільних пристроїв, як джерела живлення. Майже все обладнання сучасного піхотинця живиться від батарей. Наприклад, кожна батарея для живлення взводної радіостанції AN/PRC-117 важить 1,8 кг, і вистачає її зовсім ненадовго. За розрахунками експертів, кожен боєць змушений нести на собі 9 кг різних батарей і акумуляторів.

Тож, аби полегшити життя військовому – в прямому і переносному розумінні - останні роки компанії різних країн наполегливо працюють над розробкою екзоскелетів, які мають зробити солдата швидким, сильним та витривалим.

Екзоскелет – мобільна роботизована система, створена для посилення та доповнення фізичних можливостей користувача, що може використовуватися як окремий механізм, так і в складі різних бойових обладунків.

Екзоконцепція, як очікується, відіграватиме суттєву роль у підвищенні мобільності військових підрозділів та ефективності окремого солдата.

Спершу екзоскелети розроблялися для медичних цілей – спеціальний каркас повинен був допомагати тим, хто не може самостійно ходити, а також підтримувати хворих протягом періоду реабілітації. Згодом військові підхопили цю ідею – вже з урахуванням власних вимог (рис. 1.21).



Рис. 1.21. Піхотинець в екзоскелеті

Ці розробки були класифіковані як **активні екзоскелети** – пристрої, обладнані двигунами та різними приладами, що отримують енергію ззовні чи від вмонтованого в екзоскелет акумулятора. Попри обіцянки розробників створити ефективну систему, що допоможе військовому переносити важке обладнання, долати більші відстані та зменшити втомлюваність військових, Пентагон згодом втратив інтерес до цих проектів.

У 2008-2010 роках з'явилися перші екзоскелети, що мали б стати повноцінним помічником військового та зацікавити збройні сили Сполучених Штатів. Це були моделі HULC від Ekso Bionics та Lockheed Martin, а також XOS і XOS 2 від Raytheon. Компаніям так і не вдалося розв'язати питання енергоспоживання та через це надто великих розмірів самих екзоскелетів. Тож розробники мали розв'язати досить складну задачу. Треба було або оптимізувати джерела живлення шляхом зменшення їх ваги, або ж винайти інший спосіб реалізації технології.

Так, поки екзоскелет HULC зазнавав поразки, його "урізана" версія без двигунів та електроніки під назвою iHAS від Lockheed став одним з перших **пасивних екзоскелетів**, що продемонстрував перспективу використання цієї технології в промисловості.

Згодом iHAS перетворився у Mantis, який надихнув Ekso Works та Fortis на створення пасивних екзоскелетів. Пасивний екзоскелет не мав ані двигунів, ані іншої електроніки – тому питання полягало лише в тому, щоб створити зручну рухому систему, що кріпляться до кінцівок людини та здатні повторювати біомеханіку її рухів. У результаті екзоскелет мав зменшити навантаження на опорно-руховий апарат людини, зробити її швидкою, сильною та витривалою.

З часом компанії стали шукати нові шляхи для адаптації пасивних екзоскелетів під ті чи інші потреби. Так, компанією 20 Knots Plus Ltd було розроблено екзоскелет Marine Mojo, розрахований на поглинання ударів та вібрацій військового персоналу на невеликих швидких патрульних катерах. А Департаментом науки та техніки міністерства оборони Австралії було створено операційний екзоскелет, який являє собою **систему тросів Боудена**, призначену для передачі певного відсотка ваги важкого рюкзака солдата в землю. Екзоскелет мав зменшити навантаження на опорно-руховий апарат людини, зробити її швидкою, сильною та витривалою.

Як активні, так і пасивні **екзоскелети** розроблялися **для всього тіла**, тобто, механізм у більшості випадків кріпився до ніг, тулуба, рук та плечей. Іноді це заважало розробникам створити дієвий механізм, який би повністю повторював біомеханіку людини – бо необхідно було враховувати безліч факторів та вимог, найважливіша з яких у тому, що **солдат із бойовим екіпіруванням та екзоскелетом мав витратити менше енергії, ніж тільки з екіпіруванням**.

Тому деякі розробники перейшли від спроб створити позачасову технологію до її адаптації під сьогоденні можливості та потреби. Так з'явилися **екзоскелети для нижніх кінцівок** – спочатку з класичним твердим металевим каркасом, а згодом і повністю з м'яких матеріалів.

Зокрема, спільна розробка Wyss Institute та Агентство передових оборонних дослідницьких проєктів США (DARPA) під назвою Soft Exosuit має текстильні компоненти, що одягаються на талію, стегна та ікри. За словами розробників, система дуже зручна для користувача та адаптується під його форми та особливості рухів.

А от фахівці Дослідницького центра солдатського спорядження армії США відійшли від традиційного призначення екзоскелетів і спробували розробити мобільний **екзоскелет для стабілізації стрілецької зброї MAXFAS**.

Пристрій призначений для навчання новобранців – при мимовільному тремтінні в руках активуються двигуни, які коригують положення руки солдата. Під час випробувань було виявлено, що після користування MAXFAS-ом військові впевненіше володіють зброєю вже без допомоги екзоскелета. Важлива деталь – пристрій не заважає цілеспрямованим діям та не плутає їх із випадковими.

На початку свого становлення як окремої технології бойові костюми були громіздкими та не мали практичного застосування. Наразі з кожним роком виробники різних країн представляють нові концепції екзоскелетів та бойового екіпірування – а деякі з них вже зовсім сприймаються як буденне озброєння та використовуються в бойових умовах.

США

Лідерство за кількістю створюваних екзоскелетів та бойових костюмів, без сумнівів, належить Сполученим Штатам. Перша розробка датується ще 1965-1967 роками – компанія General Electric спільно зі збройними силами США створили роботизований екзоскелет Hardiman. Прототип був дійсно дивовижним – оператор міг перенести 110 кг, застосувавши при цьому зусилля, необхідні для підняття близько 4 кг вантажу.

Однак цей зразок виявився непрактичним у реальних умовах – його вага становила 680 кг. Надалі розробники зосередилися на створенні окремої механічної руки, яка б підіймала вагу в 340 кг, однак і тут

прогадали – рука важила на 70 кг більше за роботизований екзоскелет – 750 кг проти 680 кг. Згодом проект закрили.

Екзоскелет HULC від компанії Lockheed Martin (рис. 1.22) важить 24 кг і надає можливість солдатам переносити вантажі вагою до 91 кг. Екзоскелет спроектований за модульною схемою. Вмонтований в систему комп'ютер, дозволяє виявити вимоги користувача та відповідним чином адаптуватися до ситуації. Будь-які її компоненти можна за необхідності дуже швидко замінити, а час, за який його можна одягти чи зняти, становить всього 30 секунд



Рис. 1.22. Екзоскелет HULC від компанії Lockheed Martin

Однак ця невдача свідчила лише про те, що ідея створення роботизованих екзоскелетів має трохи почекати – і вже у новому тисячолітті США почали активно працювати над цією темою. Так, у 2008 році компанією Berkeley Bionics (наразі Ekso Bionics) був створений

екзоскелет HULC, а вже через рік – у 2009 – Lockheed Martin придбала ліцензію на проектування. У 2010 році компанія підписала контракт на суму \$1,1 млн з Науково-дослідним центром Армії США в Натікі на випробування та оцінку конструкції HULC.

З вагою 24 кг екзоскелет HULC мав надати можливість солдатам переносити вантажі вагою до 91 кг. Екзоскелет не потребував якогось зовнішнього механізму управління – за це відповідає вмонтований в систему комп'ютер, який дозволяє виявити вимоги користувача та відповідним чином адаптуватися до ситуації.

Функція енергозаощадження дозволяє системі підтримувати максимальне навантаження навіть при низькому заряді батареї – виробники заявляли про можливість виконувати місію протягом 72 двох годин. Однак у 2012 році ця цифра зменшилася до 8 годин, тому питання енергоефективності залишилося відкритим.

Попри те, що екзоскелет працював і його можна було використовувати, проект зазнав невдачу, оскільки конструкція HULC перешкоджала деяким рухам і, фактично, в деяких випадках збільшувалося навантаження на м'язи, що в цілому суперечить концепції екзоскелета.

У 2010 році компанія Raytheon представила екзоскелет XOS 2, перша версія якого вийшла двома роками раніше – одночасно з розробкою від Berkeley Bionics. Модернізована розробка дозволяла солдатові піднімати вагу у співвідношенні 16:1 (наприклад, 80 кг будуть відчуватися як 5 кг). Та попри те, що у порівнянні з попередньою версією, новий екзоскелет споживає на 50% менше енергії, він все ж таки мав проблеми з автономністю. Ще одна суттєва перепона цієї розробки – надто велика ціна.

Функціональність якого на той час дійсно вражає – "рідка керамічна броня", системи моніторингу навколишнього середовища, монітори кругового огляду, зв'язок тощо. Однак це той випадок, коли за високими технологіями ховалося бажання протестувати низку більш "приземлених" систем – у рамках проекту TALOS розробники мали опрацювати декілька технологій, які б мінімізували травми мозку та захищали солдатів від ворожого вогню.

У лютому 2019 року USSOCOM оголосили – екзоскелета, яким вони займалися ще з 2013 року, насправді не буде.

Замість костюма з унікальними характеристиками військовим буде запропонована система зниження навантаження, тобто, звичайний пасивний екзоскелет.

Компанія Raytheon розробила екзоскелет XOS 2 (рис. 1.23). Він дозволяє солдатові піднімати вагу у співвідношенні 16:1 (наприклад, 80 кг будуть відчуватися як 5 кг).



Рис. 1.23. Екзоскелет XOS 2 компанії Raytheon

А от інженери Lockheed Martin впевнені – вже у 2020 році компанія підпише контракт на постачання екзоскелетів Опух, які вже отримали позитивні відгуки від військових. Ззовні розробка дійсно схожа на звичайний екзоскелет – легка компактна конструкція пристрою складається з рухомих приводів, що кріпляться до суглобів кінцівок. Приводи з'єднані з жорсткою рамою, на яку спирається солдат під час руху. На рівні стегон конструкція фіксується до тулуба міцним ременем.

Усі рухомі вузли захищені від пилу та вологи міцним кожухом, під яким знаходиться бортовий комп'ютер. На поясі розташована літієва батарея з функцією швидкого перезарядження чи заміни.

Розробка оснащена багатьма датчиками, які фіксують та реєструють рухи солдата, а штучний інтелект аналізує отримані дані. Коли солдат тільки збирається зробити якийсь рух, екзоскелет передбачає необхідні для цього зусилля та змушує приводи рухатися так, щоб мінімізувати навантаження та оптимізувати сили користувача. Завдяки здатності штучного інтелекту до самонавчання, ефективність екзоскелета поступово зростатиме.

Наразі Lockheed Martin спільно зі ЗС США вже провели перші випробування екзоскелета, які показали, що в середньому пристрій збільшує ефективність рухів від 2 до 27 разів.

Солдати, одягнені в екзоскелети та з повною екіпіровкою вагою у 14 кг, пересувалися з різною швидкістю по біговій доріжці з кутом нахилу в 15°. Після тестування бійці одностайно заявили, що з екзоскелетом бігти значно легше — дослідники це підтвердили, визначивши, що в середньому солдати втомлювалися на 9 % менше.

Протягом ще одного тестування солдати мали підніматися вгору сходами з вантажем вагою у 82 кілограми. Група бійців з екзоскелетом

подолали п'ять сходових прольотів, а солдати зі звичайною екіпіровкою — лише два.

Інженери Lockheed Martin впевнені – вже у 2020 році компанія підпише контракт на постачання екзоскелетів Опух (рис. 1.24), які вже отримали позитивні відгуки від військових, до армії.



Рис. 1.24. Екзоскелет Опух

Військові відзначили, що пересуватися було надзвичайно комфортно, а відчуття скованості рухів відсутнє. Розроблена система дуже зручна, функціональна і суттєво збільшує фізичні здібності людини.

Ті зразки, які не надто женуться за унікальністю та кількістю технологічної "начинки" екіпірування, можуть вже на початку 2020-х років запропонувати армії США робочі системи та отримувати від Пентагона контракти на постачання цих систем у війська.

Російська Федерація

У Росії напрямок екзоскелетів наразі представлений трьома зразками – ЕО-1, створений передусім для саперів, а також пасивний та

активний екзоскелети відповідно для екіпірувань "Ратнік-2" та "Ратнік-3" (рис. 1.25).

Перший дослідний зразок цього пасивного екзоскелета ЕО-1 був представлений в Інституті ім. Карбишева ще у 2015 році, однак більш активно військові інженери працюють над пристроєм впродовж останніх півтора року.

Наразі екзоскелет у передсерійному вигляді проходить різноманітні тести. Спершу конструкція екзоскелета ЕО-1 розроблялася для захисту суглобів та хребта, а також розвантаження опорно-рухового апарата, що дозволяло солдатові переносити до 50 кг вантажу під час тривалих маршів та проведення штурмових операцій.

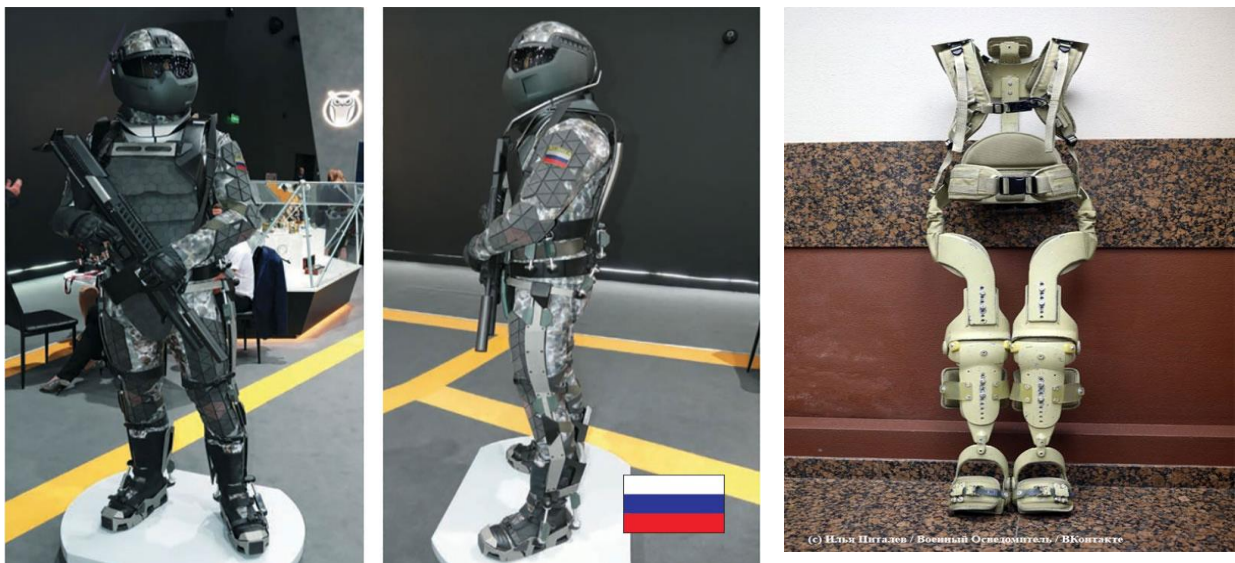


Рис. 1.25. Екзоскелет "Ратнік-2" і Ратнік-3"

Згодом екзоскелет зазнав значних змін. Передусім у нього було інтегровано систему автоматичного скидання – для цього в конструкцію екзоскелета вмонтували спеціальну "чеку", яку можна висмикнути в разі необхідності скинути з себе екзоскелет. Серйозних доопрацювань перетерпіла й ергономіка, бо спочатку рухливість кінцівок була обмежена,

а в результаті конструкторських змін з'явилися додаткові ступені свободи.

У статичному положенні екзоскелет бере все навантаження на себе – ноги та спина перестають відчувати навіть вагу власного тіла. З березня по квітень 2017 року екзоскелет використовувався в бойових умовах для розмінування місцевості та об'єктів історичної частини Пальміри в Сирії. Відмічається, що ЕО-1 актуальний передусім для оператора робота "Уран-6", оскільки його основна задача – робота на місцях, а пульт керування важить близько 20 кг і поки робот працює, цей пульт повинен хтось тримати. І екзоскелет значно знижує навантаження на розмінувальника. Для екіпірування "Ратнік-2", яке поставляється у війська, створений пасивний екзоскелет – механічний, без електродвигунів. Він не збільшує фізичні можливості солдата, але знімає навантаження з опорно-рухового апарата – вага екіпірування розподіляється по елементах конструкції – від плечової балки, на яку вішається рюкзак вагою до 50 кг, і до опорної площини у взутті.

Нині російські інженери АТ "ЦНДІточмаш" (Центральний науково-дослідний інститут точного машинобудування) вирішують задачу з розробки вже активного екзоскелета для екіпірування "Ратнік-3".

У серпні 2018 року прототип активного екзоскелета пройшов перші випробування. Планується, що до 2025 року подібний доопрацьований пристрій увійде до складу екіпірування "Ратнік-3". Цей екзоскелет має вирішувати достатньо прості задачі: солдат повинен пройти більшу відстань, взяти більше продовольства та озброєння, і при цьому менше втомлюватися. І, звичайно, отримати нові бойові можливості.

Відстань, яку може подолати солдат під час маршу, обмежується саме фізичними можливостями бійця. Тому активний екзоскелет стане у

пригоді там, де від солдата навіть звичайні переміщення з екіпіруванням вимагають значних зусиль – в лісі, горах, у місті, в умовах Крайньої Півночі – з використанням екзоскелетів нормативи пересування збільшаться у два-три рази, вважають російські експерти.

Екзоскелет також має розв'язати проблему їжі, води та боєприпасів – з огляду на досвід бойових дій російських військ в Афганістані, коли бійцям необхідно було скорочувати кількість продовольчих запасів на користь боєприпасів. Використання екзоскелета має усунути ці проблеми.

Якщо сьогодні один солдат здатен переносити без втрати боєздатності до 28-30 кг, зокрема і засоби захисту, то екзоскелет піднімає цей показник до 70-80 кг, що також дозволить у декілька разів збільшити й захищеність шляхом використання більш розвинутих та важких засобів захисту.

У комплексі з екіпіруванням "Ратнік-3" екзоскелет повинен суттєво підвищити бойові можливості солдата з точки зору застосування зброї. Розробники обіцяють високу стабільність стрільби, більш стійке положення для знищення цілей як з індивідуального озброєння, так і з колективних зразків типу кулемета. І це без урахування тієї кількості прицільних комплексів, які, за словами розробників, можна буде вмонтувати в комплект екіпірування кожного бійця – тепловізори, лазерні приціли, дальноміри, цілевказівники й оптиколокаційні комплекси.

Водночас одне невирішене питання значно гальмує запал розробників активного екзоскелета для "Ратнік-3" і трохи повертає їх до реальності. Йдеться про створення малогабаритних та містких акумуляторів. З урахуванням того, що за умов повної функціональності екзоскелета акумулятор має тримати заряд мінімум добу, оптимально –

дві доби. Також треба мати польові джерела зарядки акумуляторів чи елементи сонячних батарей, які не потребують додаткового об'ємного генератора, що буде тільки витрачати ресурс екзоскелета.

Поки що таких ресурсів у Росії немає, тому цілком зрозуміло, чому доопрацювання пристрою відтермінували аж до 2025 року – бо за відсутності необхідних компактних акумуляторів такий екзоскелет, врешті-решт, буде просто непотрібний. З іншого боку, досвід використання пасивних екзоскелетів доводить, що ця технологія в майбутньому буде тільки набирати обертів за кількістю створених моделей, а найпростіші та найнадійніші з них – масово використовуватися у військах.

Туреччина

У цій країні з новою технологією дебютувала компанія Aselsan, яка на виставці IDEF у 2017 році представила екзоскелет ASYA (аббревіатура від "Askeri Yürüyüş Asistanı", що в перекладі означає "військовий помічник у ходьбі"). Загалом розробка турецької компанії не має якихось унікальних підсистем, але цілком здатна виконати свою пряму задачу – допомогти військовому подолати значно більшу відстань без відчутної втоми (рис. 1.26).

Завдяки особливій конструкції прилад дозволяє розподілити вагу таким чином, щоб оператор міг без додаткових двигунів чи джерел живлення переносити більше вантажу. Військові експерти вважають, що ASYA зменшує вплив гравітації на м'язи та суглоби ніг і стоп, що зменшує втомлюваність.

Серед переваг ASYA – ергономічність, низьке енергоспоживання, безшумність, скорочення кількості травм та використання в поєднанні з іншими технологіями. За словами розробників, екзоскелет достатньо

легкий для його інтеграції, наприклад, у систему екіпірування CENKER розробки Aselsan, що компанія і планує зробити найближчим часом.



Рис. 1.26. Екзоскелет ASYA

Незрозуміло, чи вдалося Туреччині повністю розв'язати питання автономності, однак констатуємо, що компанії досить впевнено розпочала рух у напрямку створення екзоскелетів, надавши перевагу простим та надійним рішенням.

Сінгапур

Найбільш "нереальну" систему бойового екіпірування розробила сінгапурська компанія **ST Engineering** – індивідуальне екіпірування ARIELE дійсно дивує кількістю датчиків, систем та різних технологій. У конструкції бойової системи передбачено і напівактивний екзоскелет, а загалом "інтелектуальне" екіпірування ARIELE складається з чотирьох ключових підсистем (рис. 1.27).

Одяг та захисне обладнання. Передусім розробники потурбувалися про те, щоб солдату було комфортно та він не надто втомлювався. Адаптивний інтелектуальний охолоджувач температури ARCTIC дозволяє виживати як при дуже високих, так і при дуже низьких температурах.

Майже аналогічні задачі виконує і персональний посилений тримач для тактичного спорядження PROTEC – легкий модульний жилет для оптимального розподілу навантаження. Для захисту військового в бойову систему інтегровано технологію PLATE – ця легка ергономічна броня не завдає збитків рухам та витривалості солдатів. І, зрештою, розроблений компанією Advanced Research (GEAR) легкий бойовий одяг дозволяє військовому комфортно почуватися у тропіках та під час спеки.



Рис. 1.27. Індивідуальне екіпірування ARIELE

Медичні технології. Система моніторингу життєвих функцій та сповіщення SENSE розрахована на оптимізацію роботи військового та усунення проблем виснаження. Система моніторить частоту серцевих скорочень та дихання, рівень стресу, температуру шкіри. Інформація передається на інтелектуальний інтерфейс командира підрозділу, який на основі отриманих даних приймає рішення, чи доцільно солдату продовжувати місію.

Датчики та системи. Солдат повинен бачити все – і навіть трохи більше. Пристрій SHADES з системою Head-Up-Display надає солдатові інформацію з комбінуванням балістичних окулярів та мініатюрної системи обробки та зв'язку, які проєктують дані місії на зір військового. Тобто, солдат в режимі реального часу отримує інформацію про те, що на нього чекає попереду без відриву очей від навколишньої території. Аж до того, що пристрій здатний виявити місце, з якого відбувся постріл ворожої зброї.

Система управління живленням та енергією. Наразі все ж таки важко передбачити, наскільки реальною та ефективною буде розробка сінгапурської компанії. Але не можна відмітити – про болюче місце усіх бойових костюмів та активних екзоскелетів компанія потурбувалася заздалегідь. Або ж хоча б намагалася це зробити.

Тому в бойовій системі передбачена енергозощаджувальна портативна система – переносна батарея Watt-Hr для паливних елементів розширеного діапазону, що забезпечує значний запас енергії для тривалих місій. Комплексна система управління живленням та енергією PoEMS використовує Smart Power Manager для розподілення живлення та даних.

Пристрій призначений для управління енергією від декількох джерел, зокрема акумуляторів, паливних елементів, сонячної енергії та від транспортних засобів.

Цікавим елементом костюма є біонічна відновлювальна система активної енергії BRACES, яка містить скобу, що надягається на стегно та слугує рішенням для збору і перетворення механічної енергії, що виникає під час руху, у джерело енергії для технології управління і контролю (C2).

Система також може накопичувати енергію для підтримки витривалості солдата – щось на кшталт псевдоекзоскелета. Попри те, що розробникам вдалося втиснути в бойове екіпірування ледь не всі можливі системи, не можна стверджувати, що вони вигадали щось унікальне. Низка цих систем вже існує в тому чи іншому вигляді чи концепції. Питання в тому, як таке засилля різноманітних датчиків впливатиме на комфорт солдат, чи буде обмежувати його рухи тощо, і як при цьому екзоскелет (пасивний чи активний) зможе розподілити навантаження. І, знову ж таки, питання автономності залишається актуальним – попри те, що компанія інтегрувала енергоощадні та відновлювальні системи, ідея все ж сьогодні виглядає надто нереальною.

Сьогодні провідні компанії не стоять перед вибором – чи працювати з новими технологіями чи ні, створюючи конструкції та системи, які мають суттєво полегшити солдату виконання завдання на полі бою. Закордонні розробники знаходяться в пошуку рішень для адаптації цих технологій під реалії війни "сьогодні" чи потенційного використання "завтра".

Прагнення першими вивести технологію на ринок змушує інженерів та промисловців шукати різні підходи – створювати пасивні екзоскелети для уникнення проблем із джерелами живлення чи йти шляхом

модульності – засвоювати технологію меншими частинами. З впровадженням нових можливостей поступово формується розуміння того, як система впливатиме на результат подій в майбутньому. Цим шляхом має йти і Україна, яка поки що взагалі ігнорує екзоскелетний тренд.

1.5. Перспективи розвитку бронезахисних елементів

Поява і впровадження нових матеріалів і технологій дозволить різко підвищити бронезахисні властивості. Особливо це важливо для прозорої броні. Створення загально військового захисного бронекостюма, у якого передбачені шийно - плечові накладки і удосконалення шолому, що зменшує черепно - мозкові травми.

Існує тенденція піти від твердих і незручних в експлуатації бронепанелей і максимально підвищити ергономіку бронежилетів, створюючи гнучкі кулезахисні структури. Прикладом такої роботи є розроблений в США бронежилет Dragon Skin. Він подається як куленепробивний бронежилет високого класу, але є при цьому ще і гнучким. Пентагон провів порівняльні випробування, і не зміг їх витримати в порівнянні з серійними бронепанелями.

Багато пишеться про так званих рідких жилетах. Інформація заснована на реально існуючому фізичному явищі. Існують рідини, що представляють суспензії мікрочастинок твердих матеріалів, наприклад, кварцу, диспергованих в низколетючих рідинах, наприклад етиленгліколь. При перевищенні деякої граничної швидкості течії суспензія нарощує свою в'язкість, а при екстримальних швидкостях течії стає квазитвердою. Завдяки цьому ефекту існує можливість розробки еластичною одягу з деякими захисними властивостями. Але такий одяг буде захищати тільки від тупого удару.

Наколінники і налокітники з рідкої броні забезпечують захист при падінні. Тобто людина ходить, наколінники не перешкоджають руху ніг, раптом різко впав на коліно і удар коліно не пошкоджує, оскільки наколінник в момент удару перейшов в твердий стан і розподілив енергію по більшій поверхні. Але якщо падіння припало на колючий дріт, наколінник не допоможе, прокол забезпечений.

Заброневий захист – це розсіювання удару, який вважається вже тупим. Тобто якщо удар гострий, то це вже пробиття, а де пробиття, там ні про який заброневий захист мови вже не йде. Завдання заброневого захисту розсіяти енергію тупого удару по максимально більшій площі і демпфировать вплив удару на організм, особливо в областях життєвих важливих органів грудної клітини і там, де близько кісткові тканини.

Технологія надання медичної допомоги в бойовій обстановці в американській армії побудована за принципом: потрібен такий захист, щоб людина не померла в перші 15 хвилин після поранення, протягом яких йому гарантовано нададуть кваліфіковану медичну допомогу.

#додаткові_факти

Надміцні обладунки

Кожен, хто хоч раз давив таргана, знає, як важко це зробити. Лиходія захищає панцир, що містить хітин - полісахарид, що руйнується тільки під впливом концентрованих лугів і кислот. Броню таргана називають екзоскелетом, тому що саме до неї прикріплюються м'язи. Експерименти показали, що комаха може витримати вагу, яка в 900 разів перевищує його власну, при цьому сплющуючись в три рази без шкоди здоров'ю. Справа в тому, що екзоскелет складається з окремих пластин, з'єднаних еластичними мембранами. При стисненні пластини стають більш щільними і заходять одна на іншу.

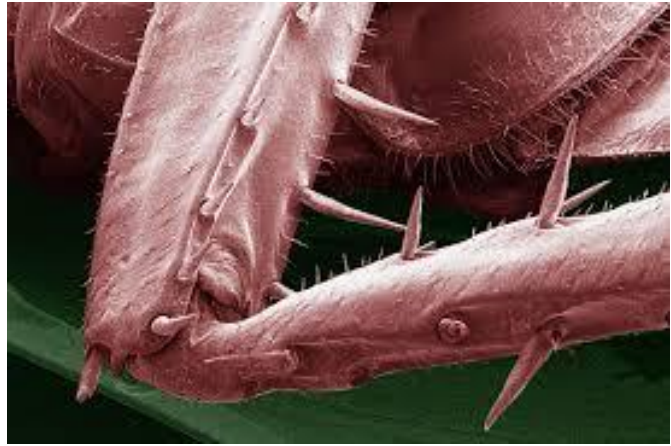
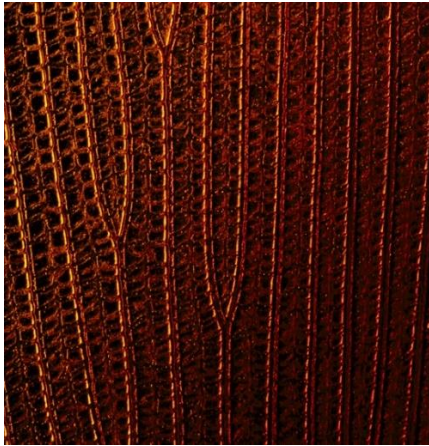


Рис. 1.28. Броня таргана в макрозйомці

Мало того, енергія деформації панцира передається ногам, і тарган автоматично виштовхує себе з полону. Здавалося б, неможливо повзти, будучи придавленим до землі, однак на цей випадок тарган відростив спеціальні шипи на гомілках.

2. Класифікація системи засобів безпеки. Класифікація засобів індивідуального бронезахисту. Стандартизація індивідуальних засобів бронезахисту. Класи захисту.

2.1. Безпека. Види безпеки

2.2. Призначення і класифікація засобів безпеки

2.3. Засоби індивідуального захисту

2.4. Спеціальні засоби безпеки

2.1. Безпека. Види безпеки.

Безпека - стан захищеності життєвих важливих інтересів особистості, суспільства і держави від внутрішніх і зовнішніх загроз. При цьому **життєві важливі інтереси** - сукупність потреб, задоволення яких надійно забезпечує існування і можливості прогресивного буття особистості, суспільства і держави.

Загроза безпеки - сукупність умов і факторів, що створюють небезпеку життєвим важливим інтересам особистості, суспільства і держави. Основними принципами забезпечення безпеки є законність, дотримання балансу життєвих важливих інтересів особистості, суспільства і держави, взаємна відповідальність особистості, суспільства.



Рис. 2.1. Види безпеки

Зброю можна класифікувати за об'єктами впливу: 1) для ураження біологічних об'єктів: правопорушники, учасники незаконних збройних формувань; 2) для ураження й порушення роботи матеріальних об'єктів (озброєння, військової й спеціальної техніки, транспортних засобів, об'єктів інфраструктури тощо).

2.2. Призначення і класифікація засобів безпеки

Засоби безпеки можна поділити на три великі групи (рис. 2.2.): засоби індивідуального захисту; засоби колективного захисту, спеціальні засоби безпеки.

За спрямуванням дії засоби безпеки носять **активний і пасивний характер**.

До активних засобів відносяться засоби, застосування яких має на меті тимчасове обмеження прав і свобод людини через фізичний та психологічний вплив, а також на техніку та предмети, що його оточують: засоби активної оборони, засоби забезпечення спеціальних операцій та пристрої для відкриття приміщень. Це так звана зброя несмертельної дії та засоби обмеженої волі.

До пасивних засобів відносять засоби, що не вимагають вчинення активних дій. Це захисне спорядження: шоломи, бронежилети, кулезахисні та протиударні щити, засоби захисту рук та ніг.

2.3. Засоби індивідуального захисту

Засоби індивідуального бронезахисту - призначені для захисту особового складу від можливих поранень при впливі правопорушниками вогнепальною і холодною зброєю, ударів металевими палицями, вибуховими предметами.

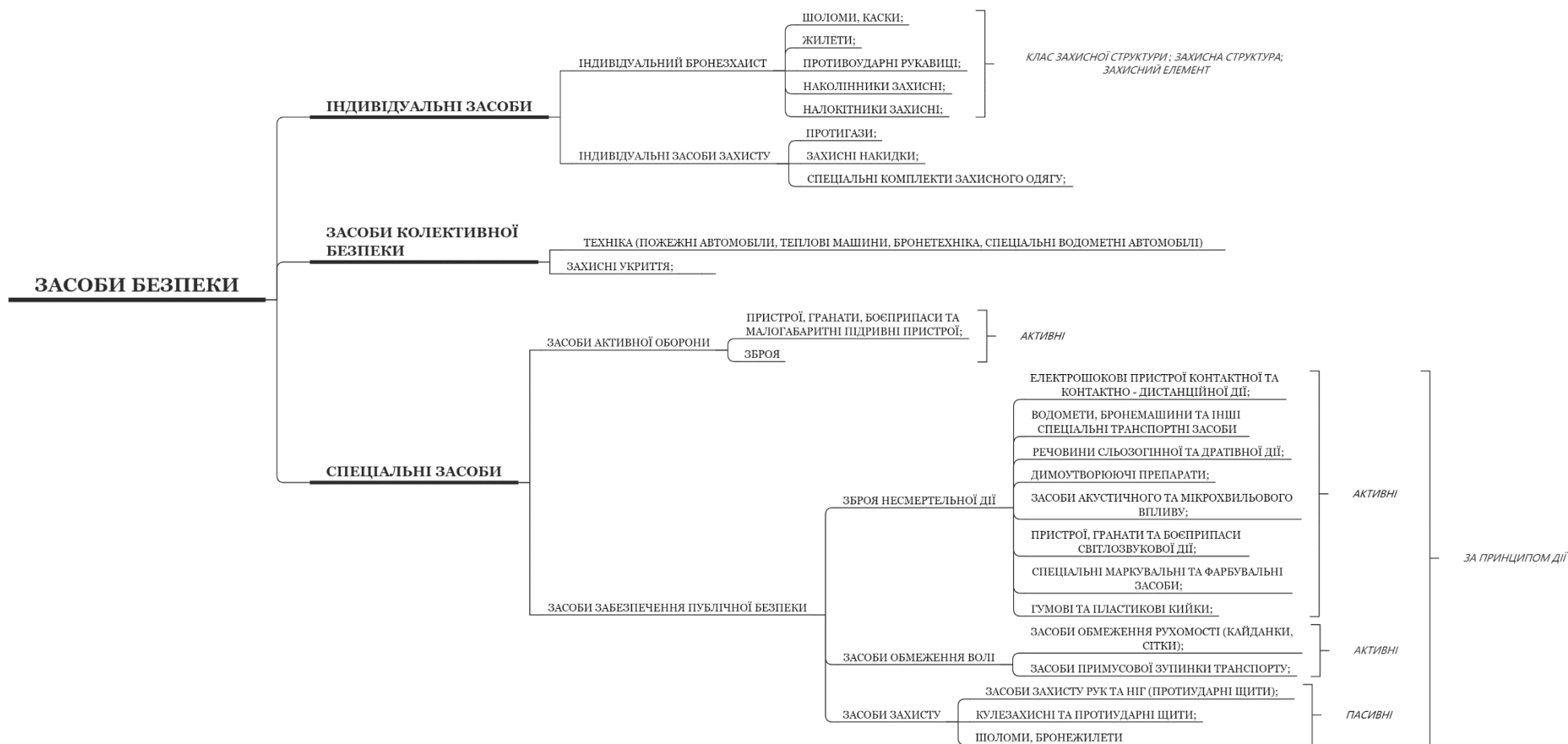


Рис. 2.2. Класифікація засобів безпеки

Під поняттям «засіб індивідуального бронезахисту» в цілому розуміється його здатність захищати різні частини тіла людини від впливу вогнепальної, холодної, ріжучого зброї, ударної та ударно-дробить впливів, а також забезпечення виключення або мінімізації заброневої локальної контузіонніе травми і механічних пошкоджень.

Можна виділити наступні основні типи армійських ЗІБ:

- комплект захисту піхотинця (зазвичай бронезжилет і захисний шолом);
- костюм захисту екіпажу бронетехніки (зазвичай вогнестійкий комбінезон і захисний шолом);
- комплект захисту пілота (зазвичай шолом, комбінезон, нагрудник і комплект панелей);
- комплект захисту сапера (зазвичай захисний костюм і протимінне взуття).

При створенні і виборі ЗІБ виникають проблеми, пов'язані з вимогами:

- кулестійкість, тобто висока стійкість до пробиття засобами ураження;
- живучість;
- відсутність вторинних уламків і удару (тобто заброньової дії, небезпечної для об'єкта захисту);
- обмежені масогабаритні характеристики;
- ефективна площа захисту;
- структура;
- ергономічність і зовнішній вигляд.

Основні проблеми, з якими приділяють найбільшу увагу при створенні ЗІБ:

- забезпечення ефективного захисту кінцівок;
- підвищення захищеності голови і шиї. Рівень цього захисту, особливо в умовах ведення «снайперської війни» і в ближньому бою, не витримують ніякої критики;
- підвищення захищеності від дії ударної хвилі, нелетальної і хімічної зброї;
- зниження помітності бійця в основних діапазонах довжин хвиль: оптичному (включаючи лазерні засоби), радіолокаційному та тепловому.

Удосконалення засобів індивідуального захисту триває по декількох напрямках:

- розробка спеціалізованих моделей бронежилетів в залежності від сфери їх застосування (замість створення універсальних зразків);
- застосування більш вираженою диференціації за рівнем захисту різних зон (в залежності від їх уразливості);
- підвищення рівня захисту, зменшення маси захисних елементів (в тому числі, за рахунок використання нових багатошарових матеріалів);
- захист від небалістичних вражаючих факторів: деякі моделі сучасних бронежилетів мають вогнетривке покриття, захист від електричного струму;
- збільшення площі захисту: в конструкції сучасних броньових жилетів нерідко включені додаткові елементи (наплечники; кулезахисний комір; захист пахової області; бічні панелі; амортизуючі удар «протишокові» вставки);
- впровадження в конструкцію додаткових елементів для розміщення зброї, боєприпасів, медичних засобів, обладнання та аксесуарів.

До засобів індивідуального бронезахисту відноситься:

- шоломи (каска) захисні;
- жилети захисні;
- противоударні рукавиці;
- налокітники захисні;
- наколінники захисні.

В різних країнах є свої стандарти ЗІБ:

- ДСТУ В 4103 2002;
- ГОСТ Р 50744-95 (РФ);
- NIJ (США);
- DIN (Німеччина);
- CEN (Європейський стандарт);

Індивідуальні засоби захисту – комплекс засобів для захисту особового складу від потрапляння до організму, на шкіру та обмундирування отруйних, радіоактивних речовин і біологічних засобів, а також для зменшення ступеня ураження світловим випроміненням ядерного вибуху, тобто протигази, захисні накидки, спеціальні комплекти захисного одягу тощо.

Розглянемо класифікацію індивідуальних засобів захисту за категоріями ризиків:

Категорія I

1. Поверхнєве механічне пошкодження.
2. Контакт з мийними засобами слабкої дії або тривалий контакт з водою.

3. Дотик до гарячих поверхонь, температура яких не перевищує 50 °С.

4. Пошкодження очей через вплив сонячного випромінення (окрім під час спостереження за сонцем).

5. Атмосферні умови, що не мають надзвичайного впливу.

Категорія II

1. Категорія II охоплює ризики, що не належать до перелічених у категоріях I та III.

Категорія III

1. Речовини та суміші, що є небезпечними для здоров'я.

2. Атмосфера з дефіцитом кисню.

3. Шкідливі біологічні агенти.

4. Шкідливий шум.

5. Вогнепальні чи ножові поранення.

6. Струмені високого тиску.

7. Порізи від ручних бензопилок.

8. Утоплення.

9. Ураження електричним струмом та робота під електричною напругою.

10. Падіння з висоти.

11. Середовища з низькою температурою, вплив яких зіставний з середовищами з температурою повітря — 50 °С або менше.

12. Середовища з високою температурою, вплив яких зіставний з середовищами з температурою повітря щонайменше 100 °С.

13. Іонізуюче випромінювання.

Клас захисної структури бронеодягу - показник стійкості захисної структури бронезахисту до впливу засобів ураження заданого виду.

Захисна структура - сукупність захисних елементів, що поглинають і розсіюють енергію руйнівних засобів, і при необхідності, амортизатор для гасіння динамічних навантажень, об'єднаних загальним конструктивним рішенням в бронеодягу.

Захисний елемент бронеодягу - складовий елемент захисної структури бронеодягу, що поглинає і розсіює енергію засобів ураження.

До **засобів колективного захисту** відносяться бронемашини та захисні укриття (стаціонарні й пересувні, постійні та які швидко будуються). Вони також мають умовний розподіл за стійкістю до впливу різних факторів, у тому числі до вогнепальної зброї, вибухових пристроїв.

2.4. Спеціальні засоби безпеки

Спеціальні засоби – це засоби, які застосовують співробітники спеціалізованих владою органів для забезпечення громадського порядку та громадської безпеки.

Спеціальні засоби підрозділяються на:

- засоби активної оборони;
- засоби забезпечення публічної безпеки.

За принципом дії спеціальні засоби можна розділити на зброю несмертельної дії, засоби обмеження волі та засоби захисту.

За кількістю осіб, що необхідні для застосування, спеціальні засоби поділяються на засоби індивідуального застосування (засоби сльозогінної та дратівної дії, гумові кийки тощо) та засоби колективного застосування.

До **засобів колективного застосування** відносяться засоби, що застосовуються в основному під час проведення спеціальних операцій

(пожежні автомобілі, теплові машини, бронетехніка, спеціальні водометні автомобілі тощо).

До **засобів забезпечення публічної безпеки і порядку** відносять (ст. 42 Закону України «Про Національну поліцію»):

- гумові та пластикові кийки;
- електрошокові пристрої контактної та контактної – дистанційної дії;
- засоби обмеження рухомості (кайданки, сітки для зв'язування тощо);
- засоби, споряджені речовинами сльозогінної та дратівної дії;
- засоби примусової зупинки транспорту;
- спеціальні маркувальні та фарбувальні засоби;
- службові собаки та службові коні;
- пристрої, гранати та боєприпаси світлозвукової дії;
- засоби акустичного та мікрохвильового впливу;
- пристрої, гранати, боєприпаси та малогабаритні підривні пристрої для руйнування перешкод і примусового відчинення приміщень;
- пристрої для відстрілу патронів, споряджених гумовими чи аналогічними за своїми властивостями металевими снарядами не смертельної дії;
- засоби, споряджені безпечними димоутворюючими препаратами;
- водомети, бронемашини та інші спеціальні транспортні засоби.

За просторовим чинником спеціальні засоби можна поділити на: засоби **контактної дії** (передбачають прямий контакт між посадовою особою з підтримання правопорядку та правопорушником); **засоби**

дистанційної дії (дозволяють застосовувати засоби на визначеній відстані від правопорушника); **засоби безконтактної дії** (виключають пряму участь посадової особи з підтримання правопорядку під час застосування засобу).

3. Стандартизація індивідуальних засобів бронезахисту. Класи захисту.

3.1. Бронежилети армії оборони США

3.2. Засоби індивідуального захисту армії європейських країн

3.3. Засоби індивідуального захисту армії РФ

3.4. Засоби індивідуального захисту армії України

3.1. Бронежилети армії оборони США

Голівуд завжди звертався до американських військових за консультаціями, для того щоб бойові сцени в фільмах, та все, що пов'язано з військовими, виглядало максимально правдоподібно. В цей раз навпаки. Компанію **Legacy Effects**, яка створила реквізит для фільмів "**Iron Man**" і "**Robocop**", найняв **Пентагон** для розробки амуніції, яка захищає солдат. На такий шаг міністерство оборони пішло після загибелі морського піхотинця США в Афганістані. Тому було прийнято рішення значно посилити захист солдата, який перший заходить до приміщення, який ризикує більше всіх. Саме так заявив голово командування спеціальних операцій Джозеф Вотель: «Ми повинні дати «першому хлопцю» більше переваг в момент, коли він найбільше всього вразливий».

Проект **TALOS (Tactical Light Operator Suit)**, бюджет якого складає 80 мільйонів доларів, був розпочатий щільним наглядом, щоб не було ніяких витоків. Далеко не всі схвалюють, що життя солдат довіряли «декораторам фільмів по коміксам». Якщо все вийде, то на службі армії США появиться «Залізна людина», да не один. К проекту підключені значні приватні компаній, такі як, військові Raytheon и General Dynamics, Revision Military, та цивільні, Adidas и Nike. TALOS буде представляти собою надзахищений екзоскелет, вага якого 170 кг. З такою вагою неможливе вільне пересування, окрім падіння вниз. Таку вагу утворює

аккумулятор, який повинен підтримувати роботу костюма 12 годин, броньовані та інші системи. Також є бронешолом, в який вбудовані комунікаційні, оптичні та аудіо системи.

Костюм покриватиме бронею **60%** тіла власника. Це в три рази більше, ніж звичайна, що значно підвищить шанси залишитися цілим та неушкодженим під час операції. Можливо буде використана «рідина броня» - покриття, яке становиться твердим від взаємодії електричного імпульсу.

Класи бронежилетів в США (NIJ 0101.03)

Тип I (22 LR; 380 ACP) – тип броні захищає людину від попадання кулі довгоствольної гвинтівки 22 калібру. Перший клас забезпечує захист від свинцевих зі зміним наконечником кулі, маса яких не перевищує 2.6 г, швидкість удару не повинна бути більше 320 м/с. Окрім 22 калібру тип I стримує 380 ACP (FMJ RN), який вистрілює кулями в металевій оболонці. Маса кулі не повинна перевищувати 6,2 г, а швидкість 312 м/с.

Тип II А (9мм, 40 S&W) - тип броні захищає людину від 9 мм тупокінцевої кулі, яка має в своєму складі металеву оболонку. Маса кулі дорівнює 8.0 г, а швидкість при ударі 332 м/с. Окрім 9мм кулі, другий тип броні забезпечує захист від 40 S&W калібру з кулею зі суцільною металевою оболонкою. Вага кулі складає 11.7 г, а швидкість при ударі дорівнює 312 м/с. Даний тип броні здатен захищати власника бронежилета від типів зброї вказаної в першому пункті.

Тип II (9мм 357 Магнум) - тип броні захищає людину від 9 мм тупокінцевої кулі, яка має в своєму складі металеву оболонку. Маса кулі дорівнює 8.0 г. Різниця з другим класом в швидкості удару. В цьому класі швидкість удару складає 358 м/с. Бронежилет захищає при стрільбі з 357 Магнума, куля якого з м'якої оболонки. Маса кулі дорівнює 10.2 г, а

швидкість удару складає 427 м/с. Захищає від загроз з першого та другого пунктів.

Тип III (гвинтівка) – спеціальний клас захисту, який захищає від 7.62 мм тупокінцевих куль, які мають металеву оболонку (M80). Маса кулі складає 9.6 г, а швидкість удару кулі - 838 м/с. Даний клас повністю відповідає вимогам попередніх пунктах.

Тип IIIA (високошвидкісний 9 мм, 44 Магнум) - тип броні захищає людину від от 9 мм тупокінцевої кулі, яка має металеву оболонку. Маса кулі - 8.0 г. Відрізняється від третього класу швидкістю удару кулі - 427 м/с. Бронежилет захищає при стрільбі з 44 Магнума з масою кулі 15,6 г та швидкістю 427 м/с. Захищає від загроз з першого, другого та третього пунктів.

Тип IV (бронебійна гвинтівка) - тип броні захищає людину від бронебійних куль 30 калібру (M2 AP). Маса таких куль складає 10.8г, а мінімальна швидкість при ударі – 869 м/с. П'ятий клас захищає від загроз, які були перераховані в попередніх пунктах.

3.2. Засоби індивідуального захисту армії європейських країн

Бронежилети військовослужбовців європейських країн призначені для захисту від балістичної загрози при різних військових операціях. Цими операціями можуть бути військові конфлікти в Європі, Африці, пустелях Азії, підтримання миру під егідою ООН, а також місії Червоного Хреста. Для різних операцій потрібні різні камуфляжні кольори бронежилета.

Типи кольорів військових бронежилетів

- захисний зелений військовий камуфляж;
- військовий камуфляж для пустельних областей;

- синій камуфляж ООН;
- білий камуфляж Червоного Хреста.

Характеристика

Розміри бронежилетів: бронежилети мають три розміри (малий, середній, великий).

Зовнішній шар бронежилета: гнучкий бронежилет складатися з водостійкої тканини, зроблений з суміші бавовняних і поліефірних волокон.

Балістична стійкість: при швидкості 430 м/с дев'ятиміліметрової свинцевої кулі з мідною оболонкою заброньова деформація в шарі пластиліну не повинна перевищувати 30 мм.

Шари: противобалістичний ламінат роблять з обробленої водовідштовхувальним розчином арамідної тканини з поверхневою щільністю 190 г/м². Шари прошиваються під кутом. Розмір сітки вказується спеціально. Гнучкий бронежилет повинен мати кишені для вставних жорстких бронепластин, що захищають від ураження гвинтівкових куль.

Кількість бронепластин: в протівобалістичний комплект входять п'ять жорстких бонепластин.

Розміри жорстких бронепластин:

- вигнута нагрудна пластина має розмір 250 × 300 мм;
- плоска задня пластина має розмір 300 × 250 мм;
- пластина захисту паху має розмір 150 × 250 мм;
- пластина коміра має розмір 200 × 154мм.

Поверхнева щільність бронеконплекта: повинні мати постійну поверхневу щільність, що лежить в діапазоні 17-20 кг/м².

Товщина: не повинна перевищувати 22 мм.

Балістична стійкість (табл. 3.1.):

Таблиця. 3.1. Балістичні загрози та BFS європейського військового бронезилету

Конфігурація	Калібр кулі	Швидкість кулі (м/с)	Відстань від ствола (м)	Місце зупинки кулі	Максимальна деформація (мм)
Гнучкий бронезилет	9мм	430	7.65	Гнучкий бронезилет	30мм
Передня формована пластина + гнучкий бронезилет	7.62мм	865	7.65	Формована пластина	30мм
Передня формована пластина + гнучкий бронезилет	5.56	1000	7.65	Формована пластина	30мм
Задня формована пластина + гнучкий бронезилет	7.62	865	7.65	Формована пластина	30мм
Задня формована пластина + гнучкий бронезилет	5.56	1000	7.65	Формована пластина	30мм
Формована тазова пластина + гнучкий бронезилет	7.62	865	7.65	Формована пластина	Не вимірюється
Формований комір	7.62	865	7.65	Формована пластина	Не вимірюється

Маркування: вказують його розмір, спосіб чищення та інструкцію з обслуговування.

Класи бронезилетів

Бронезилети класифікують наступним чином

Клас А - бронезилет не захищає верхню частину і бічні частини тулуба. Зазор між нижнім краєм бронезилета і верхом тазових кісток не повинен перевищувати 70мм. Клас А використовується тільки в якості таємного бронезахисту.

Клас В - бронезилет не захищає верхню частину плеча, але закриває бічні частини тулуба. Зазор між нижнім краєм бронезилета і верхом тазових кісток не повинен перевищувати 20 мм. Зазвичай клас В служить таємним захистом, але може бути відкритим бронезахистом тіла.

Клас С - бронежилет забезпечує захист верхньої частини плеча. Закриває боки тулуба. Зазор між нижнім краєм бронежилета і верхом тазових кісток не повинен перевищувати 20 мм.

Клас D - аналогічний класу С, але нижній край бронежилета знаходиться нижче верху тазових кісток не менше ніж на 40мм.

Клас Е - захищає таз і кріпиться до броні іншого класу.

Клас F - це комір, що доповнює броню іншого класу.

Клас G - являє собою формовані бронепластины, поодинокі або множинні, призначений для забезпечення більш високого рівня захисту при носінні разом з бронежилетами класу А, В, С і D.

В залежності від вражаючого ефекту пулі, DIN (**Німеччина**) розрізняють наступні **класи**: L I II III IV.

Класи захисту CEN (Європейський стандарт): BR 1 BR 2 BR 3 BR 4 BR 5 BR 6 BR 7 SG 1 SG 2.

Розміри

Розміри броні відповідають стандарту EN 340. Розміри бронезахисту тіла повинні бути засновані принаймні на трьох розмірах тіла чоловіків і на чотирьох розмірах тіла жінок.

Обмеження

Бронежилет певного розміру повинен регулюватися більш ніж на 50 мм на грудях або на спині або на 100 мм в єдиному центральному місці.

Бронежилет не повинен ковзати по тілу при зміні положення рук. При докладанні сили вертикально вгору до кріплення на задній частині шийної частини одягу бронежилет не повинен своїми краями тиснути на горло або підборіддя.

Модульні вставки

Вставки типу формованих бронепластин повинні надійно кріпитися до бронезилета або поміщатися в закриті кишені. Пластини не повинні відділятися від бронезилета або витягуватися з кишень.

Ергономічні вимоги

Бронезахист тіла повинен розроблятися так, щоб дискомфорт при його використанні був мінімальний. При нормальному русі жорсткі края і грубі поверхні не повинні завдавати занепокоєння. Бронезилет не повинен обмежувати рухи голови, рук і тулуба і ніг. Він не повинен створювати серйозного теплового дискомфорту і не повинен призводити до накопичення поту.

3.3. Засоби індивідуального захисту армії РФ

Класи бронезилетів в РФ:

Бронезилети **першого класу** захищають людину від м'яких куль, наприклад, спортивних 5-ти та 6-ти мм патронів або від пістолетних куль 6,35 мм куль типа "браунінг", а також від деяких типів холодної зброї. Максимальна вага броні не перевищує 1,5-2,5 кг.

Бронезилети **другого класу** забезпечують захист від пістолетних та револьверних куль в оболонці типу ПСМ, ПМ, "Наган". Другий клас захищає від дробі мисливської зброї та деяких видів холодної зброї. Максимальна вага броні не повинна перевищувати 3-5 кг. Бронезилети другого класу виконанні 7-10 шарів ткани. Вони можуть бути замасковані під одягом або виготовлені у вигляді звичайного верхнього одягу: куртки або плаща.

Бронезилети **третього класу** характеризуються наявністю жорстких бронееlementів та пом'якшуючих прокладок. Бронезилет

складається з 20-25 шарів ткани. В якості жорстких бронеелементів можна використовувати великі вогнуті пластини. Даний клас призначений для захисту від куль пістолета ТТ, які мають сталю сердцевину, а також від захисту посилених пістолетних та револьверних куль “Магнума”. Бронежилети третього класу захищає від куль гладкоствольної мисливської зброї. Максимальна вага броні складає 6-9 кг. Зазвичай надягається на уніформу.

Бронежилети **четвертого класу** аналогічні бронежилетам третього класу, але в даному класі акцентовано на захисті грудної частини та частини живота від куль середнього калібру. Бронежилет захищає від куль 5,45 и 7,62 мм, які мають м’яку сердцевину. Максимальна вага не повинна перевищувати 10 кг. Такий тип бронезахисту використовують в силових підрозділах.

Броня **п’ятого класу** розрахована на захист від небронебійних куль калібру 5,45 и 7,62 мм. Дальність пострілу звичайними кулями не перевищую 5м, бронебійними – 10м, від пістолетних куль захищає в упор. Вага бронежилетів від 11 до 20 кг.

Броня **шостого класу** забезпечує захист від куль снайперської гвинтівки, від патронів 7,62мм и 57-БЗ-231 з кулею БЗ, 7,62мм, патронів 7Н13 и 7,62мм, патронів 7-БЗ-3 з кулею Б-32. Швидкість кулі може досягати 800-835 м/с.

Спеціальний клас захищає від прямих ударів холодної зброї з енергією удару 45-50 Дж.

3.4. Засоби індивідуального захисту армії України

Засоби індивідуального захисту, бронежилети, Загальні технічні умови, який було прийнято в 2002 р. Державним комітетом України з

питань технічного регулювання та споживчої політики, а розроблено Інститутом проблем матеріалознавства Національної Академії Наук України. Дане ДСТУ В 4103 2002 відрізняється від прийнятого в Росії ГОСТ Р 50744-95, у зв'язку з чим є невідповідність наших класів і російських.

Бронежилети згідно з конструктивним виконанням умовно поділяють на три типи:

- **тип А**— м'які (гнучкі) бронежилети з захисною структурою на основі спеціальних тканин.
- **тип Б**— напівжорсткі бронежилети диференційного класу захисту з базовою захисною структурою на основі спеціальних тканин та додатковими жорсткими захисними елементами.
- **тип В**— жорсткі (або напівжорсткі) бронежилети із захисною структурою на основі жорстких захисних та амортизуючих елементів.

Бронежилети призначені для захисту тіла людини від ураження кулями вогнепальної зброї, холодною зброєю та уламками ручної гранати. Вони повинні відповідати класу захисту, наведеному в таблиці 3.1., але в самій таблиці містяться показники щодо куль вогнепальної зброї, та дії холодної зброї, та не міститься жодного згадування про уламки ручних гранат, хоча ручні гранати бувають різного виду, з різною вагою уламків та їхньою швидкістю. Крім того не вказана відстань з якої бронежилети починають тримати ці уламки,

Пункт 4.2 ДСТУ вказує на кількість класів та вказує на таблицю 3.2. - "4.2 Бронежилети за стійкістю до дії засобів ураження поділяють на чотири класи. Характеристики класів бронежилетів наведено у таблиці 1. "

Тобто з тексту виходить, що в Україні лише чотири класи захисту, але в таблиці 1 ДСТУ В 4103 2002 вказано 9 класів:

1, 1-А, 2, 2-А, 3, 4, 5, 6 та спеціальний. Скоріше за все помилка закралась, через те, що з самого початку планувалось вводити саме чотири класи, але потім їх розбили на більшу кількість, таблицю замінили, а пункт не виправили.

Бронежилети за стійкістю до дії засобів ураження поділяють на дев'ять класів. Характеристики класів наведенні в таблиці.

Найпоширеніші групи бронежилетів за площею захисти:

- 18 дм²
- 25-20 дм²
- 28-42 дм²

Загальна маса бронежилета залежить від площі захисту і від матеріалу, з якого виготовлена кулезахисна пластина. Маса є головним параметром, що визначає час безперервного носіння бронежилета (табл. 3.2, 3.4).

Найрозповсюдженіший захід покращення бронежилету — **застосування модульних конструкцій бронежилетів:**

- виготовляється бронежилет 1 або 2 класу захисту (наприклад, тканинний);
- він оснащується кишеньками з балістичної тканини;
- у кишеньки вставляються сталеві або керамічні бронепластины, що закривають найбільш важливі внутрішні органи людини (серце, печінку тощо).

Таблиця 3.2. Характеристика класів захисту ДСТУ В 4103 2002

Клас захисту	Зброя	Характеристика уражаючого елемента— кулі			
		Калібр, тип	Опис	Маса кулі, г.	Швидкість кулі, м/с
1	Пістолет ПМ	9-мм куля пістолетного патрону 57-Н-181 с	У сталевій оболонці зі сталевим осереддям	5,9	315±10
1-А	Пістолет АПС	9-мм куля пістолетного патрону 57-Н-181 с	У сталевій оболонці зі сталевим осереддям	5,9	330±10
2	Пістолет ТТ	7,62-мм куля пістолетного патрону 57-Н-134 с	У сталевій оболонці зі сталевим осереддям	5,5	430±15
2-А	Мисливська гладкоствольна зброя	Куля Бреннеке мисливського патрону 12-го калібру	Свинцева без оболонки	35	400±15
3	Автомат АК-74	Куля 5,45-мм патрон 7Н6	У сталевій оболонці зі сталевим осереддям	3,4	910±15
	Автомат АКМ	Куля 7,62-мм патрону зразка 1943 р. 57-Н-231	У сталевій оболонці зі сталевим осереддям	7,9	730±15
	Автомат АК-74	Куля 5,45-мм патрон 7Н10с	У сталевій оболонці зі сталевим термозміцненим осереддям	3,6	910±15
4	Гвинтівка СВД	7,62-мм гвинтівного патрону 57-Н-323с	У сталевій оболонці зі сталевим осереддям	9,6	850±15
5	Автомат АКМ	Куля БЗ (бронебійно запалювальна) 7,62-мм автоматного патрону	У сталевій оболонці зі сталевим термозміцненим осереддям	7,4	745±15
6	Гвинтівка СВД	Куля Б-32 7,62-мм гвинтівкового патрону	У сталевій оболонці зі сталевим термозміцненим осереддям	9,6	850±15
Спеціальний	Холодна зброя	Кинджал, ніж	Ніж згідно ДСТУ В 4104	—	Енергія удару— 40 Дж

Таблиця 3.3. Час насіння від маси

Маса (кг)	Час носіння (год)
до 3	понад 24
до 7	12
до 9	9
до 12	5
до 16	2
до 23	1

Таблиця 3.4. Розміри бронезилету

Розмір	Обхват грудей (см)	Зріст (см)
L	96-104	до 176
XL	104-112	176-182
XXL	112-120	понад 182

Ще одним заходом є поєднання бронезилету з іншими елементами спорядження. Подібні бронезилети оснащують стандартним набором кишень та підсумків для перенесення боєприпасів та різноманітного спорядження. Якщо куля влучить, наприклад, у підсумок з набоями, вона деформується та втрачає початкову швидкість та частину своєї енергії на подолання перешкоди. Таким чином бронезилету легше її зупинити.

Бронезилети, особливо з металевими пластинами, мають значну вагу котра сковує та обмежує рухи. Головним же недоліком спецзасобу є те що куля, за ймовірності пройти навиліт не задівши чи завдавши не смертельних уражень органам, при потраплянні у пластину діє на більшу область, що може зумовити фатальні ушкодження кісток та внутрішніх органів

Основну увагу при розробці систем індивідуального бронезахисту приділяють загрозам, що існують під час проведення бойових дій проти іррегулярних збройних формувань («мінна війна», широке застосування саморобних вибухових пристроїв тощо).

Бронезилети носять не лише люди, а й собаки, зокрема такі бронезилети виготовляють і українські виробники.

Класи захисту різних країн перегукуються (табл. 3.5). Наприклад американський 4 – клас захисту приблизно відповідає 6-му класу захисту РФ. Зіставлення класів ЗІБ достатньо умовне. **Усі кулі вітчизняного**

виробника короткоствольної стрілкової зброї мають сталю серцевину, які при взаємодії з бронематеріалом не деформуються, тоді як пістолетні та револьверні кулі західного виробника свинцеві, при взаємодії з любым типом ЗІБ інтенсивно розплющуються.

Розглядаючи автоматичну зброю маємо протилежну ситуацію: вимоги до захисних структур по 4 класу **N1J 0101.04** значно перевищує вимоги українських стандартів до бронезахисту по 4 та 5 класу. Така відмінність класифікації ЗІБ приводить до корінних відмінностей в підходах до проектування їх в Україні та за кордоном, тому що в залежності від небезпеки впливу (конструкції боєприпасу, енергетики кулі) створюється конструкція бронезишета.

Таблиця 3.5. Умовна відповідність класів захисних структур ЗІБ

ДСТУ (Україна)	NIJ (США)	DIN (Німеччина)	ГОСТ (РФ)	CEN (Європа)
1	I, IIA	L	1	BR1
2	IIIA	II	2	BR2, BR3, BR4
-	-	-	-	SG1, SG2
3	-	-	-	-
-	III	-	3	-
4	III	III	4	BR5
5	III	III	5	BR6
6	IV	IV	-	BR7
-	-	-	6	-

Точне відповідність класів захисту різних країн з технічної точки зору важко реалізувати. Умови випробувань на практиці відрізняються за багатьма параметрами:

- відмінностями в зброї та боєприпасах, які застосовуються;
- кількістю пострілів по об'єкту;
- методикою розносу вистрілів;
- температурними та атмосферними умовами.

В результаті по одним показникам характеристики балістичного захисту різних норм класифікації можна порівняти, по іншим сильно розходяться.

Розвиток індивідуального броньованого захисту в Україні

Розвиток засобів індивідуального броньованого захисту (ЗІБ) в Україні можна поділити на два періоди: перший з 1991 року, коли в Україні були створені власні Збройні Сили, і до 2014 року – до моменту початку АТО на Сході України, в якому виділено два етапи: перший – з 1991 по 2002 роки; другий – з 2002 по 2014 роки. Нижня межа першого етапу збігається із нижньою межею першого періоду, а верхня обумовлена початком виробництва в Україні вітчизняних бронежилетів і бронешоломів – 2002 рік. Вона ж є нижньою межею другого етапу, а верхня межа другого етапу припала на квітень 2014 року, коли на Сході України почалася АТО. Другий період охоплює час, з 2014 по 2018 роки, і його нижня межа обумовлена початком АТО, а верхня – її закінченням і переходом до операції Об'єднаних сил.

На першому етапі в Україні були створені і випробувані броньові матеріали на основі кераміки, карбіду кремнію і карбіду бора. Вітчизняних бронежилетів на цьому етапі в Україні не було. Основним бронежилетом, яким забезпечували ЗСУ, став радянський бронежилет четвертого класу захисту 6Б5, розроблений ще в середині 1980-х років. Він підтвердив свої захисні властивості, але при вазі понад 12 кг був незручним в експлуатації. Разом з тим, основним на цьому етапі був сталевий шолом СШ-68 (рис. 3.1), розроблений також за радянських часів. У цей час був сконструйований і освоєний у виробництві вітчизняний броне-шолом «Сфера» (рис. 3.2), який мав другий клас захисту та вагу 2,3 кг. Проте, на забезпечення підрозділів ЗСУ він надійшов тільки на початку другого етапу обмеженими партіями.



Рис. 3.1. Сталевий шолом СШ-68



Рис. 3.2 Бронешолом «Сфера»

Загалом, на першому етапі Україна в технічному розвитку бронезилетів і бронешоломів помітно відставала від провідних країн Європи, зокрема Німеччини, Італії, Великобританії та ін.

На другому етапі, до початку АТО, в Україні досягли значного прогресу в галузі створення і виробництва бронематеріалів, а також розробки вітчизняних ЗІБ. У цей час розроблені та впроваджені у виробництво сучасні броньові матеріали: балістична параарамідна тканина; високоміцна поліамідна тканина марки «ТПС»; високоміцна арамідна тканина типу TWARON з клейовим наповнювачем; балістичний матеріал з надвисокомолекулярного поліетилену (НВМПЕ); бронееlementи з титану і кераміки.

На цьому етапі основним бронезилетом був універсальний бронезилет «Корсар МЗ» (рис. 3.3), розроблений Товариством з обмеженою відповідальністю «Науково-виробниче підприємство» (ТОВ «НВП») «Темп-3000». До його комплекту входили бронепакети, що знімалися, та забезпечували протиуламковий захист за ДСТУ В за першим, а протикульний за четвертим класами захисту. Недоліком цього бронезилета та його модифікацій була велика вага – понад 12 кг. Разом з тим, основним на цьому етапі були сталевий шолом СШ-68 (рис. 3.1) і

бронешолом «Сфера» (рис. 3.2). Наприкінці цього етапу в Україні були сконструйовані та прийняті у виробництво нові бронешоломи «Каска-1М» (рис. 3.4) і «ТОР-Д», які за якістю не поступаються закордонним аналогам. Однак, на забезпечення ЗСУ їх прийняли тільки в ході проведення АТО.



Рис. 3.3. Універсальний бронежилет
«Корсар МЗ»



Рис. 3.4. Каска-1М

У ході другого періоду (2014–2018 рр.) в Україні було розроблено і прийнято на забезпечення ЗСУ декілька модифікацій вітчизняного бронежилету «Корсар МЗсм», «Корсар МЗмк», «Корсар МЗмп» та ін. За основними параметрами вони не поступалися і навіть перевершували низку бронежилетів закордонного виробництва. В їх конструкції застосовувалися сучасні високоміцні матеріали, що забезпечують захист воїна за четвертим класом захисту. Їх загальна площа захисту досягала 109 дм², що забезпечувало захист половини площі тіла людини. Кращим

вітчизняним бронешоломами, що не поступаються закордонним зразкам, були «Каска-1М» (рис. 3.4) типів «F» і «С» та «Тор-Д». Всього за 4 роки АТО було закуплено понад 96 тис. бронежилетів і понад 139 тис. бронешоломів. На ці потреби витрачено 533,18 млн грн, що приблизно в 250 разів більше, ніж за весь період з 1991 року аж до початку АТО на Сході України.

Характерними рисами й особливостями створення і розвитку ЗІБ були: по-перше, використання закордонного та радянського досвіду як при розробці броньових матеріалів, так і при конструюванні бронежилетів і бронешоломів; по-друге, застосування при створенні ЗІБ власної науково-виробничої бази; по-третє, витрата значного часу від ухвалення рішення на оснащення підрозділів ЗС України ЗІБ до їх безпосереднього постачання.

У конструкціях вітчизняних ЗІБ в 1991–2018 роках спостерігалась низка тенденцій. Головна з них – це покращення захисних властивостей бронежилета і бронешолома при одночасному зниженні їх загальної ваги та поліпшення ергономічних і експлуатаційних параметрів. У кінці першого періоду ця тенденція проявилася й остаточно закріпилась у ході другого етапу. Інша тенденція полягає в тому, що в кожній наступній модифікації бронежилета і бронешолома – з'являлися конструктивні новинки, наприклад, для бронежилета удосконалювалася система кріплення і транспортування спорядження, швидкого скидання, розвантаження, дренажних пристосувань та ін.; для бронешолома – універсальні платформи для кріплення приладу нічного бачення, бокові рейлінги для засобів зв'язку, пасивна система вентиляції голови та ін. Все це характеризувало вітчизняні ЗІБ як конструктивно-сучасні, ергономічні й експлуатаційно-зручні, за захисними властивостями і характеристиками – надійні.

Броньований захист Української армії

В управлінні розробки речового майна ГУ РСМЗ ЗС України представили новий загальновійськовий бронежилет (рис. 3.5.), що забезпечує рівень захисту четвертого (базовий рівень) та шостого класу (посилений рівень) за ДСТУ 8782. Перші випробування відбулись у 2019 році. У вимогах до бронежилета було визначено, щоб він відповідав 4-му та 6-му класам захисту. Модель, що розроблена, це передбачає за рахунок заміни жорстких бронежилетів. Новий бронезахист відповідає трьом новим українським стандартам та трьом стандартам НАТО. У технічній специфікації застосовані вимоги державних та військових стандартів й використовується для перевірки оцінки відповідності якості бронежилета стандарт армії США.

Це – загальновійськовий бронежилет, призначений для виконання повсякденних бойових завдань. Його основний споживач – Сухопутні війська.

Вага нового бронежилету без додаткових захисних елементів складає 13,3 кг, із керамічними плитами до 11 кг. Загальна вага базової комплектації бронежилета з металевими жорсткими бронеелементами типорозміру М (50–54) становитиме 13,5 кг, повна комплектація – 17,5 кг.

Новий бронезахист має систему швидкого скидання (рис. 3.6). Це зроблено для зручності коли необхідно швидко дістатись до пораненого, або для швидкого скидання бронежилета. Також у бронежилеті є система зменшення навантаження на спину, коли вага розподіляється не лише на плечі військового, а й на пояс – усе побудовано за принципом наплічника.



Рис. 3.5. Новітній бронежилет Збройних Сил України



Рис. 3.6. Система швидкого скидання

4. Загальні принципи конструювання засобів індивідуального захисту. Ергономічні та експлуатаційні вимоги до засобів безпеки

4.1. Екіпіровка армійця

4.2. Принципи зменшення ваги екіпіровки

4.3. Загальні відомості про будову бронежилетів

4.4. Загальні принципи конструювання бронежилетів

4.5. Екіпірування армії України

4.1. Екіпіровка армійця

Сьогодні піхотинець змушений носити на собі в середньому 30 ... 35 кг. **У стандартну екіпіровку входять:**

- одяг, білизна, кепка, ремінь, черевики - 4,5 кг;
- бронежилет і шолом - 9,5 ... 10,5 кг;
- спорядження (транспортний жилет) - 1,8 ... 2,0 кг;
- інженерні засоби (лопата) - 1,0 ... 1,1 кг;
- засоби індивідуального захисту від зброї масового ураження (протигаз + індивідуальний дегазаційний пакет + індивідуальний протихімічний пакет) - 1,5 кг;
- казанок, продовольство - 1,1 кг;
- медичні засоби (індивідуальний перев'язувальний пакет + аптечка індивідуальна + джгут) - 0,4 кг;
- комплекс виживання - 0,4 кг;
- індивідуальна радіостанція - 0,6 кг;
- засоби розвідки і спостереження - 0,1 кг.

Американські солдати в Іраку забезпечуються **екіпіровкою вагою до 48 кг.**

Аналіз, проведений експертами США показав, що піхотинець для збереження боєздатності **не повинен носити на собі ношу, більшу 20% власної ваги.** Виходить, що **вага** всієї його екіпіровки не повинен перевищувати **16 ... 20 кг.** Якщо звідси відняти вагу зброї, інших необхідних елементів екіпіровки (пайок, аптечка, рація, прилади спостереження і т.д.), то **на захист і бронежилет**, зокрема, залишається **не більше 5 ... 6 кг.** Задавши максимальний рівень захисту, наприклад ба по ГОСТ Р 50744-95 і вибравши оптимальну захисну структуру для даного рівня, поверхнева щільність якої знаходиться в межах 500 ... 550 г/дм², знаходимо, що **площа захисту не може перевищувати 10 ... 12 дм²,** що звичайно, недостатньо, оскільки закриває лише 5% поверхні людського тіла. Якщо ж виходити з принципу забезпечення захисту від **найбільш ймовірних засобів ураження**, то картина міняється. Численні літературні дані з аналізу втрат на поле бою в різних військових конфліктах дають наступну картину розподілу **засобів ураження** (рис. 4.1.):

- уламки - понад 60%, причому маса здебільшого уламків не перевищує 1г, а їх швидкість - 520 ... 600 м/с;
- високошвидкісні кулі - до 25%;
- низькошвидкісні кулі до 5%;
- інші вражаючі фактори (ударна хвиля тощо) - до 10%.

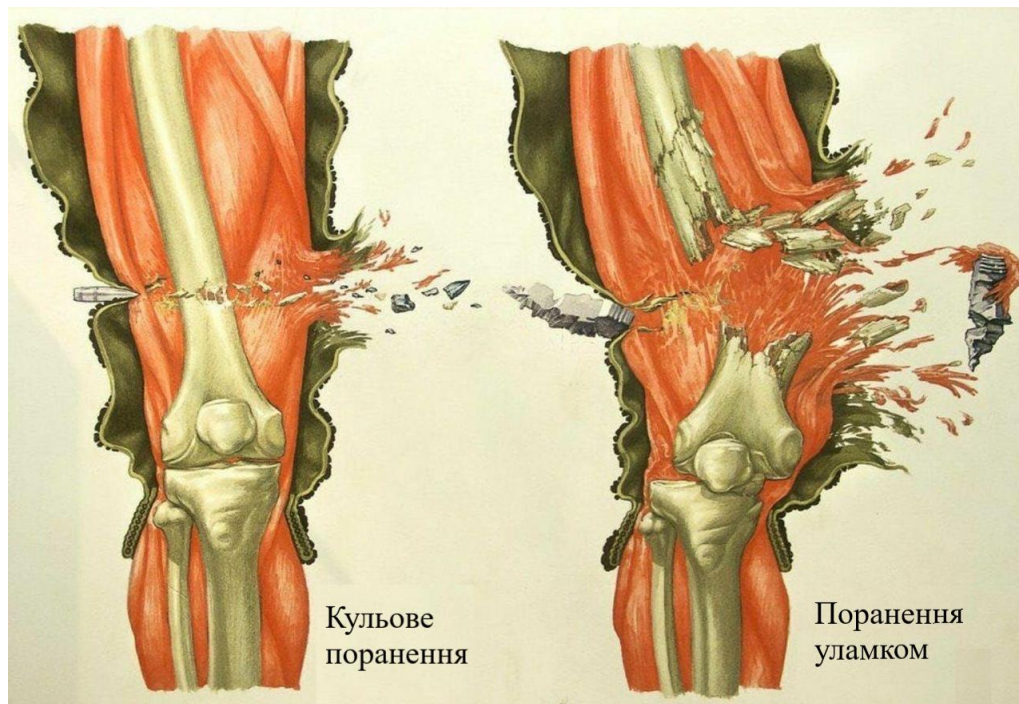


Рис. 4.1. Поранення від кулі і поранення від уламку

Уламкові поранення в армії США під час війни в Кореї становили приблизно 73%, у В'єтнамі - 84%. За підсумками проведення антитерористичних операцій на Північному Кавказі (1991 - 2001 рр.) уламкові поранення становили 64,4%. Таким чином, **найбільш імовірних засобів ураження на полі бою є уламки**. Поверхнева щільність захисної структури, що забезпечує захист від уламка масою 1 г, що летить зі швидкістю 550 м/с, становить 30 ... 40 г/дм². В цьому випадку наведеної захисної структурою можна забезпечити захист 140 ... 150 дм² поверхні людського тіла, що вже становить половину всієї площі. Але при цьому боєць буде абсолютно незахищений від майже 40% засобів ураження. Вихід зі становища розробники знайшли в застосуванні принципу диференціювання захисту.

4.2. Принципи зменшення ваги екіпіровки

У більшості бронежилетів площа захисту становить не більше 30 ... 40 дм² (в армійських - 45 ... 49 дм²). Практикою доведено, що **збільшення**

площі захисту починає **впливати** на рухливість і загострює проблеми, пов'язані з перегрівом організму людини. Крім того, збільшення площі веде до збільшення ваги захисту і жилета в цілому.

Диференціювання захисту

Диференціювання захисту за рівнями - міра, за допомогою якої можна знизити масу захисту без істотного зниження її ефективності. Цей принцип, реалізований в бронетанкову техніку, сьогодні з успіхом застосовується і в ЗІБ. Диференціювання в захисті бронежилетів **полягає** в забезпеченні достатнього рівня по всій площі і максимально можливого рівня за площею, що захищає так звані життєві важливі органи (ЖВО). Площа ЖВО в сучасних бронежилетах не перевищує 6 ... 10 дм² по грудній проекції і стільки ж по спині. Іноді в бронежилетах використовуються структури декількох рівнів захисту (наприклад, «БЖ-СН» або «Виклик - М»). Під достатнім рівнем тут розуміється рівень, що забезпечує захист від найбільш масового або найбільш ймовірного виду засобів ураження. Якщо простежити тенденції розвитку потужності стрілецького озброєння і врахувати зростання захисних характеристик існуючих і перспективних броньових матеріалів, то легко оцінити, як змінюється величина площі захисту з роками. Розрахунки, а головне, і статистика показують, що таке зменшення загальної і посиленої площі захисту незначно впливає на імовірнісні характеристики ураження бійця.

Мінімізація кількості броньованих елементів

Ідея мінімізації кількості броньованих елементів захисту стала наслідком зменшення площі захисту. Загальна площа захисту, як правило, забезпечується «м'якими» структурами, а захист ЖВО - одним або двома - трьома жорсткими броньованими елементами. Використання **однієї монопанелі** навіть невеликої площі (6 ... 8 дм²) має перевагу в порівнянні

з «черепичною» схемою (відсутність стиків між панелями, зниження паразитної маси через перекриття панелей), але на практиці має і свої **негативні сторони**. Основні з них - це істотне зниження рухливості і як наслідок - зниження скритності носіння бронежилета. **При збільшенні площі монопанелі до 10 дм² ці проблеми ще більш зростають. Одне з рішень - використання 2-3 броньованих панелей, що мають можливість деякого переміщення відносно один одного.** Така схема вперше була використана в бронежилетах типу «Візит - М» і «БЖСН» (1982 г.). Час довів її ефективність. Сьогодні практично всі загальноармійські і штурмові бронежилети (6Б12, 6Б13, 6Б23, «Виклик», УБЖ), проектуються на основі даної схеми побудови броньованого захисту.

4.3. Загальні відомості про будову бронежилетів

Будова і склад бронежилетів розглянемо на прикладі загальновійськових бронежилетів. Незважаючи на різноманіття конструкцій вітчизняних бронежилетів, велика їх частина **складається** з елементів однакового призначення, **основними з яких є: грудна і спинна секції, броньованих елементів або броньованих панелі. Грудна і спинна секції з'єднуються один з одним за допомогою плечових і бічних роз'ємних, регулювальних пристроїв і застібок, утворюючи бронежилет.**

Крім основних елементів, до складу бронежилета можуть входити **додаткові: елемент пахового захисту, наплічники, шийна плечова накладка, комір, кліматичний амортизаційний підпір (КАП), зовнішні чохла, плечові валики для зручності перенесення зброї, транспортно - розвантажувальні системи для перенесення бойової екіпіровки (рис. 4.2.).**

Грудна і спинна секції бронежилетів **забезпечують**, як правило, захист торсу від уламків, що утворюються під час вибуху снарядів, мін, гранат, і холодної зброї та включає до свого складу багатошарові захисні екрани з різних балістичних тканин. Додаткові елементи також включає в свій склад захисні екрани з балістичних тканин.

Для **протикульового захисту** використовуються посилені балістичні тканинні пакети, а також алюмінієві, титанові, сталеві броньовані елементи або монолітні кераміко - органопластикові броньовані елементи.

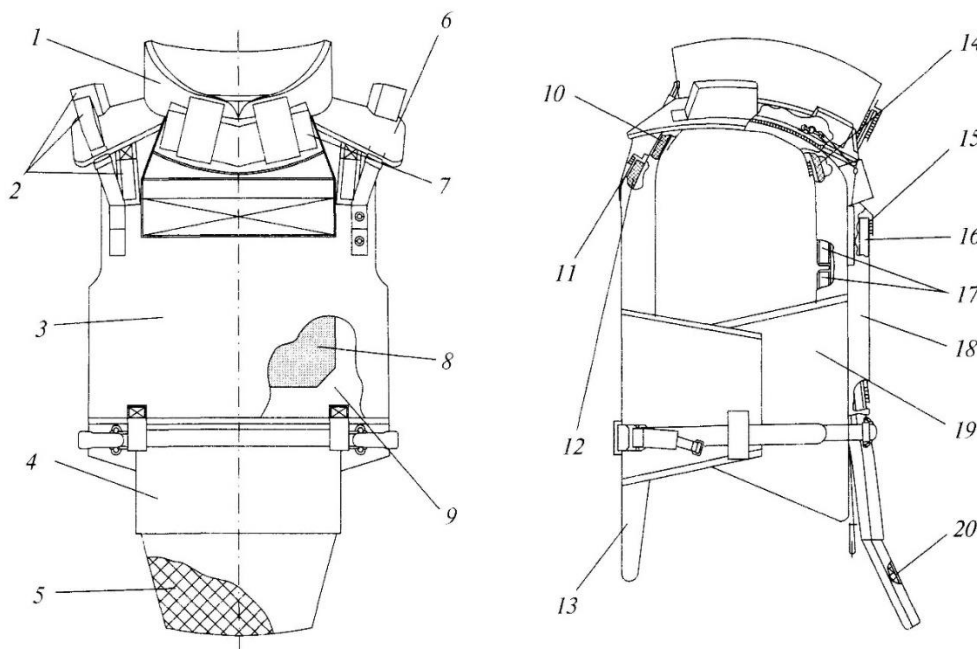


Рис. 4.2. Склад та будова бронежилета 6Б12: 1 – комір ТСВМ-ДЖ; 2 – упори ТСВМ-ДЖ; 3 – чохол (терлон, капрон); 4 – фартух ТСВМ-ДЖ; 5 - ТСВМ-ДЖ; 6 – наплічник ТСВМ-ДЖ; 7 – відкидна планка ТСВМ-ДЖ; 8 – броньована панель (титан, сталь, кераміка); 9 – захисний екран ТСВМ-ДЖ; 10 – захисний екран з тканини; 11 – протирикошетний пакет; 12 – броньований елемент з тканини; 13 – спина секцій; 14 – захисний екран з тканини; 15 - протирикошетний пакет; 16 – броньована панель; 17 –КАП; 18 – грудна секція; 19 – бокова частина грудневої секції; 20 - ТСВМ-ДЖ

Броньовані елементи або броньовані панелі розміщуються в спеціальних кишенях, розташованих на чохлах бронежилетів. Як правило, зовнішня поверхня кишень містить протирикошетний пакет з декількох шарів балістичної тканини, **призначений** для уловлювання вторинних уламків від руйнування куль і броньованих елементів або броньованої панелі. З внутрішньої сторони грудної і спинної секції розташовується кліматичний амортизаційний підпір з пінополіетилену, призначений для зниження контузіонної травми і утворення каналів для природної вентиляції заброневого простору.

Захисні екрани 6Б23, 6Б23 - 1, 6Б23 - 2 загальною площею не менше 48 дм² складаються з 30 шарів тканини ТСМВ - 2. Протиуламкова стійкість захисних екранів (сталева кулька масою 1,03 г), яка характеризується 50% - ою швидкістю пробиття, становить не менше 540 м/с. Грудна секція бронежилета 6Б23, посилена текстильним броньованим пакетом площею 8 дм², забезпечує захист по 2-го армійському класу - не пробивається з 5 м кулями пістолета ТТ ПММ. Маса цього бронежилета становить 4,0 кг. Необхідно відзначити, бронежилети серії 6Б23 зазвичай додатково комплектуються транспортними жилетами масою 2,3 кг (рис. 4.3.).

Установка сталевих броньованих елементів товщиною 6,3 мм площею не менше 8 дм² в грудну секцію (бронежилет 6Б23-1) забезпечує захист по 3-йому армійському класу при обстрілі з АКМ кулями з ТУС з відстані 10 м. Сталеві броньовані елементи не пробивають бронебійними кулями гвинтівки М16А2 і гвинтівковими кулями гвинтівки М16А1 з відстані 25 м. Куля 7Н24 автомата АК - 74 не пробиває грудну секцію зі сталевими броньованими елементами з відстані 50 м. Маса бронежилета 6Б23-1 (без транспортного жилета) 7,9 кг.

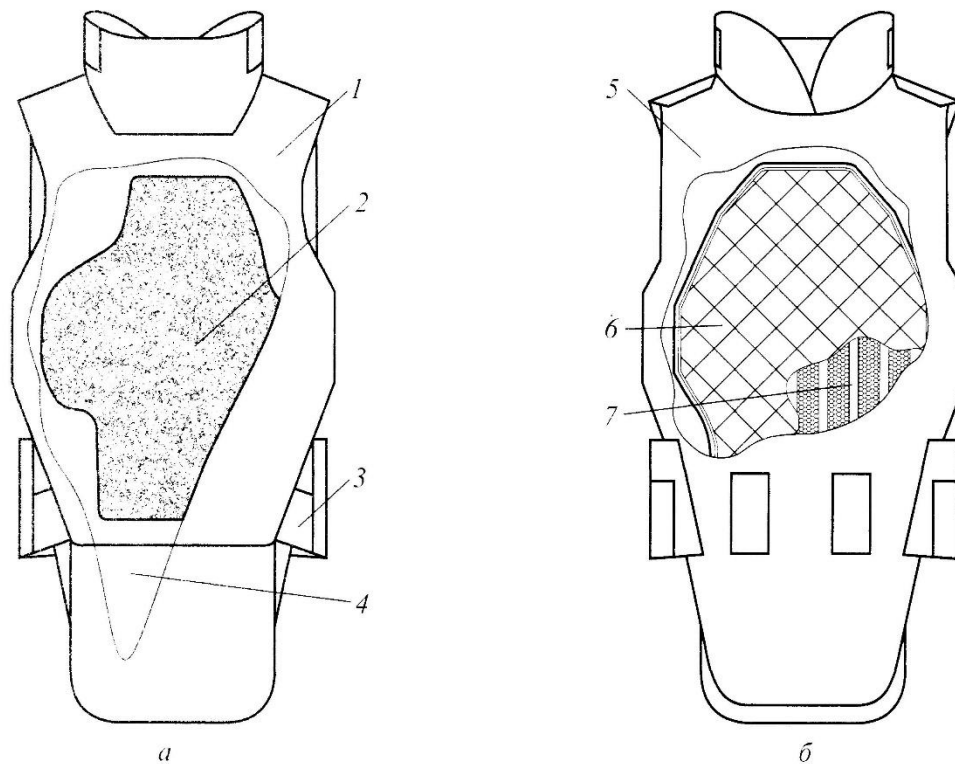


Рис. 4.3. Склад та будова бронежилета 6Б23: а – вид спереду; б – вид ззаду; 1 – грудна секція; 2 – броньований елемент зі сталі (тканини, кераміки); 3 – поясне кріплення; 4 – екран фартуха; 5 – спина секція; 6 – броньований елемент з тканини; 7 - демпфер

Установка керамічних броньованих панелей (бронежилет 6Б23-2) робить бронежилет стійким до впливу бронебійних куль гвинтівки СВД: бронебійно - запальна куля Б-32 не пробиває захист бронежилета з відстаней 100 м, а куля БЗ - з відстані 50 м. Маса бронежилета 6Б23-2 (без транспортного жилета) становить 7,2 кг. Цей бронежилет відповідає 4 рівню загальноармійські класифікації.

Окремою проблемою для бронежилетів є проблема захисту від холодної зброї. Використовувані злочинцями різні предмети, що колють (шило, заточка) досить легко проникають крізь стандартні тканинні перепони, а використання жорсткого захисту від цього виду зброї робить бронежилет малорухливим, важким і неергономічними. Тому в усьому світі зараз ведуться розробки гнучких захисних структур, що забезпечують захист від холодної зброї. **Для цих цілей передбачаються**

тканини з абразивним напиленням, спеціальні каландрировані тканини з щільним плетінням, хоча не виключається застосування тонколистового високоміцного алюмінію або органопластики.

Як для протикульового або протиуламкового захисту, так і для оцінки захисту від холодної зброї розроблені відповідні стандарти. У багатьох країнах такі стандарти діють давно. У США захист від холодної зброї колючої дії регламентується стандартом NIJ 0115.00 «Стійкість індивідуального броньованого захисту до холодної зброї», («Stab Resistance of Personal Body Armor» - редакція вересень 2000 г.) Цим стандартом визначено тип холодної зброї (ножі і заточка) і допустима енергія удару (не вище 65 Дж). У Великобританії стандартом «PSDB 7/03/C - Knife and Spike Resistance» передбачений захист не тільки від ножа і заточки, але навіть від уколу голки.

4.4. Загальні принципи конструювання бронежилетів

Бронежилет є елементом одягу, тому крім захисних, він несе в собі і цілий ряд інших функцій, властивих одягу. Він, як і будь-який одяг, повинен бути зручний, комфортним, не сковувати рухів, володіти певними експлуатаційними та ергономічними характеристиками. Як правило, ці характеристики знаходяться в суперечності з вимогами до захисту, тому проектування бронежилета завжди пов'язане з пошуком оптимального поєднання всіх перерахованих параметрів. Ігнорування цього постулату призводить до істотного зниження бойових можливостей бійця, одягненого в бронежилет. Так, війна у В'єтнамі показала, що навіть легкі протиуламкові бронежилети типу M69 (США) через відсутність у них терморегуляції при інтенсивній експлуатації приводили до перегріву організму бійця, аж до отримання теплових ударів і, як наслідок, до зниження його бойових можливостей. Теж саме

виявила і війна в Афганістані, де бійці відмовлялися надягати важкі протикульові бронежилети типу 6БЗТ, 6Б4 і 6Б5, оскільки вони приводили до швидкої стомлюваності і перегріву.

Тому ергономічні, фізіологічні та гігієнічні характеристики конструкції бронежилета як елемента одягу не в меншій мірі, ніж характеристики здатності захисту, впливають на кінцеву оцінку якості бронежилета. Методологія проектування бронежилетів заснована на системному аналізі засобів ураження, об'єктів захисту і захисних броньованих структур і дозволяє знаходити оптимальні рішення ще на етапі проектування, а не в процесі тривалої експлуатації бронежилетів.

Конструкція бронежилета постійно розвивається і вдосконалюється, адаптуючись до діючих умов. Так, бронежилети перших поколінь (до них відносяться вітчизняні бронежилети ЖЗТ -71, ЖЗЛ - 74, 6Б1, 6Б2, 6БЗТ, 6БЗТМ, 6Б4 і 6Б5) мали велику площу захисту 50 ... 60 дм², яка забезпечувалася так званим «черепичним» броньованим захистом, де використовувалася велика кількість (до 50 шт.) металевих або керамічних броньованих елементів невеликого розміру (90 ... 135) × (100 ... 135) мм, які розміщували в кишенях з деяким перекриттям.

Основні недоліки конструкції цих бронежилетів зводилися до наступних:

- відсутність системи терморегуляції;
- відсутність диференціювання рівнів в захисті;
- відсутність заброневого амортизатора, що знижує рівень дистанційної (заброньової) травми;
- відсутність протирикошетного шару, який затримує вторинні уламки, що утворюються при ударі кулі;

- відсутність систем, які перерозподіляють масу бронежилета з плечей на пояс;
- відсутність водовідштовхувальних просочень або систем захисту тканинного пакета від намокання;
- значна «паразитна» маса через великої кількості перекриттів сусідніх броньованих елементів
- висока ймовірність так званого «поднирювання» кулі в стики між броньованими елементами, особливо при обстрілі під кутами.

Всі перераховані недоліки в більшій чи меншій мірі були усунені в бронежилетах наступних поколінь, коли розробники накопичили достатній досвід практичної експлуатації ЗІБ, в тому числі і в бойових умовах.

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

Система терморегуляції в бронежилеті

Система терморегуляції стає невід'ємною частиною будь-якого бронежилету. Вона може бути виконана в **пасивному** (коли конструктивними прийомами забезпечується природна вентиляція піджилетного простору), або в **активному** варіанті (коли в бронежилет вбудована система примусової терморегуляції). Найпростішими пасивними системами терморегуляції є різні вологопоглинаючі або сітчасті майки, які надягають під бронежилет, спеціальні піджилетні кліматичні амортизаційні підпори (КАП) з поздовжніми каналами для природної циркуляції повітря. До пасивних заходів належать різні отвори, прорізи в чохлах і т.д. На практиці в більшості ситуацій таких заходів було

достатньо, щоб забезпечити необхідний температурний баланс. Однак в жорстких кліматичних умовах (велика вологість, високі температури, необхідність тривалої експлуатації) доводиться використовувати активні способи терморегуляції. На сьогодні існує кілька способів, що дозволяють забезпечити необхідний тепловий баланс, однак всі вони поки не отримали широкого поширення через перевищення обмежень по масово - габаритних параметрів.

Всі активні системи терморегулювання можна розбити **на 2 групи: системи вентилявання та системи відводу тепла.** Системи вентилявання забезпечують необхідні температурні умови за рахунок примусового циркулювання повітря між тілом і бронежилетом за допомогою, наприклад, електровентилятора. Системи відводу тепла поглинають тепло безпосередньо з шкіри за допомогою циркуляції охолоджуючого реагенту всередині бронежилета. Обидва типи мають свої переваги і недоліки. Системи першого типу вимагають зовнішнього джерела енергії. У більшості випадків - це звичайні електричні акумуляторні батареї. Системи другого типу, як правило, будуються на поглинанні енергії в результаті фазових перетворень, що відбуваються в речовині (танення льоду, розплав парафіну і т.д.). Ці системи мають обмежений час дії, що не перевищує, як правило, двох - трьох годин. Крім того, всі активні системи мають досить великі вагу - 2 ... 4 кг. Останнім часом робляться спроби застосувати в системах терморегулювання так звані елементи Пельтьє, в яких проходить електричний струм нагріває одну поверхню і охолоджує іншу. Однак ККД таких систем вкрай низький - не перевищує 10%. За розрахунками, для того щоб забезпечити ефективне відведення тепла від тіла людини, що виконує важку фізичну роботу, при якій за оцінками потужність тепловиділення складає не менше 440Вт, буде потрібно джерело енергії розміром близько 7,5 л. і

масою 27 кг. При цьому енергії батареї вистачить не більше на півгодини роботи.

Багато закордонних фірм ведуть інтенсивні роботи з пошуку прийнятних рішень проблеми терморегуляції. Приклад такої системи розробки фірми TPI. Система складається зі спеціального костюма з вбудованими теплообмінниками, по яких циркулює холодна вода. Вода у вигляді льоду зберігається в м'якому зовнішньому пакеті об'ємом 2 літри. Костюм забезпечений клапаном з термостатичним управлінням, за допомогою якого підтримується постійна температура тіла незалежно від навантаження на організм і зовнішніх умов.

Крім традиційних шляхів, опрацьовуються і інші. Зокрема, спеціальними добавками в їжу створюються умови, коли організм стає нечутливим до фізичних перевантажень і не виділяє зайвого тепла, ведуться роботи по управлінню температурою тіла за допомогою біоелеткронних засобів, які дозволяють різко збільшити тепловіддачу через певні ділянки тіла, наприклад через долоні. Так чи інакше, але **проблема терморегуляції є не менш важливою і складною, ніж проблема забезпечення необхідної захищеності.**

Зниження дистанційної травми

Якщо порівнювати ГОСТ Р 50744-95 з відомими зарубіжними стандартами, то він задає найжорсткіші вимоги по заброньовій (дистанційної) або контузіонної травми, оскільки прямо пов'язує рівень травми з медико - біологічними наслідками її впливу на організм людини. Зарубіжні ж стандарти оцінюють величину травми по глибині відбитка на пластилінової підкладці. Цей параметр не дає прямої кореляції з фізіологічної травмою. Однак проведення випробування на оцінку дистанційної травми в суворій відповідності з ГОСТом вимагає таких

великих витрат і такої статистики, що ця процедура на практиці використовується лише для деяких (в основному для армійських) бронежилетів. Всі бронежилети для силових відомств і комерційні бронежилети оцінюються за спрощеними методиками, в яких використовується, як правило, закордонний досвід, тобто оцінка травми по глибині відбитка. Однак як би не задавалися ці вимоги, очевидно одне - без спеціальних заходів щодо зниження дистанційної дії кулі бронежилет навряд чи буде відповідати сучасним вимогам.

Найпростіший захід щодо зниження рівня дистанційної травми є **розташування за захисною структурою амортизованого шару**. В якості такого шару використовуються різні еластичні спінені полімери, повсть (войлок). За кордоном для цих цілей часто використовують спеціальні протитравматичні металеві вставки з нержавіючої сталі, полікарбонату, робляться спроби знизити травму використанням більш жорстких тканинних структур. З огляду на все зростаючу енергетику куль стрілецької зброї, проблема забезпечення необхідного рівня дистанційної травми стає за складністю такої ж, як і проблема забезпечення необхідної стійкості захисту. Для ефективного вирішення даної проблеми в перспективних зарубіжних проектах **захисну структуру відносять від поверхні тіла на кілька сантиметрів**. Однак як реалізується цей проект на практиці - поки невідомо. На сьогодні **немає надійних розрахункової методики або процедур**, які б дозволяли розрахувати необхідні параметри амортизованого шару для даного засобу ураження і обраної захисної структури. Це добре ілюструють експериментальні дані, отримані на деяких типових захисних структурах з використанням різних амортизаторів. В якості **амортизатору використовувалися пінополіетилен (ППЕ), полікарбонат (ПКБ), тканинні пресовані шари в різному поєднанні**.

Наявність протирикошетного шару

Вихід вторинних дрібних уламків фіксується спеціальним алюмінієвим «екраном – свідком» товщиною 1 мм. Добре видно, що уламки виходять із захисної структури і пробивають алюмінієвий екран. Потужність потоку вторинних уламків зростає з ростом енергії кулі. Так, якщо в якості протирикошетного шару використовувати кілька шарів балістичної тканини, то при попаданні в захисну структуру, наприклад, кулі пістолета ТТ, досить 5-6 шарів тканини СВМ, щоб виключити вихід вторинних уламків за межі захисної структури. Якщо в броньований елемент потрапляє звичайна куля автомата АКМ, то вторинні уламки утримуються вже 12 шарами цієї тканини, а якщо обстріл ведеться кулею ЛПС з СВД або кулею ТУС до АКМ, то кінетична енергія вторинних уламків така, що не вистачає і 24 шарів тканини.

Все це говорить про те, що проблема протирикошета - досить серйозна технічна проблема, яка потребує відповідних конструкторських рішень, що дозволяють створити ефективний протирикошетний шар з мінімальним числом шарів балістичної тканини - це застосування **гофрованого** тканинного шару. При цьому вторинні уламки пробивають один і той же шар тканини кілька разів. Інше рішення - використання протиуламкового комірця, який відсікає потік уламків, що летять в голову. Однак це рішення непридатне для жилетів прихованого носіння. Ще один спосіб гасити вторинні уламки - використовувати броньованих елементів з **в'язких матеріалів**, наприклад з пресованих нетканих структур, алюмінію та інших броньових матеріалів, що не дроблять кулю і не утворюють вторинні уламки. Одним з перспективних рішень може стати використання рознесених броньованих перешкод, які вже починають використовуватися в бронежилетах.

Рациональний розподіл маси бронезилета

Медициною встановлено, що **плечі** є тим чутливим датчиком, який видає організму інформацію про вагове перевантаження. Розробники перших вітчизняних і зарубіжних бронезилетів ігнорували цей факт і конструювали бронезилети, вся маса яких, включаючи і елементи особистої екіпіровки, повисала на плечах солдата. Проведений в одній з військових частин експеримент показав, що після подолання стандартної смуги перешкод **боєць в такому бронезилеті відчував на собі масу в 1,4 ... 1,7 рази, яке перевищувала реальну масу бронезилета**. Такі ж експерименти з бронезилетами, які мають раціональний розподіл ваги по тілу бійців, давали інший результат. Бійці після подолання смуги перешкод оцінювали вагу бронезилета на 30 ... 40% менше його реальної маси. **Рациональний розподіл ваги бронезилета досягалося закріпленням за допомогою спеціального поясу задньої частини бронезилета на талії, при цьому істотно знижувалася навантаження на плечовий пояс**. Це найпростіше рішення, але воно дозволило істотно знизити уявну масу бронезилета, яка є одним з головних факторів, що впливає на стомлюваність бійця. Іншим правилом раціонального перерозподілу маси є **розміщення елементів особистого спорядження таким чином, щоб їх маса не передавалася на плечі**. Як правило, для цієї мети використовуються пояс, стегна. В даний час за кордоном активно ведуться роботи зі створення так званих **екзоскелетів** - пристроїв, що дозволяють багатократно посилити м'язову енергію людини (Berkeley Robotics and Human Engineering Laboratory).

Захист тканинного пакета від намокання

У бронезилетах перших поколінь ця проблема вирішувалася застосуванням герметичних чохла, в які поміщалися **балістичні**

тканинні пакети. Ці чохла виготовлялися з синтетичних водонепроникних плівок або спеціально оброблених тканин. Однак надійність такого способу захисту була невисока. При будь-якому пошкодженні захисного чохла, небезпека намокання балістичного пакета різко зростала, а це призводило до зниження його балістичних характеристик. Зараз існує маса гідрофобних просочень, які, не знижуючи балістичних характеристик тканини, забезпечують її надійний захист від намокання. Крім того, проблему можна вирішити, використовуючи гідрофобні балістичні тканини, наприклад, з високомодульних поліетиленових волокон. У будь-якому випадку сьогодні ця проблема вирішується досить просто.

Вибір раціональної захисної структури

Розрахувати або експериментально знайти оптимальну захисну структуру від конкретного засобу ураження - завдання непросте, але реальне. Набагато складніше знайти оптимальну захисну структуру від комплексу засобів ураження. Для одного засоби ураження - стандартні уламки - при зміні швидкості взаємодії з тканинної перешкодою різні тканини поведуться по-різному. Сталевий захист з ультраміцної сталі марки 56, добре працюють проти термозміцненої кулі підвищеного пробиття броньованого елемента, практично не дають виграшу в порівнянні з традиційними протикульовими сталями при обстрілі високошвидкісними кулями М193 до гвинтівки М16А1. Куля 7Н24 з карбідовольфрамовою серцевиною не пробиває рознесену перешкоду, сумарна поверхнева щільність якої набагато нижче, ніж поверхнева щільність гомогенної перешкоди, пробивається цієї кулею. Сьогодні, оскільки не існує надійного розрахункового або емпіричного апарату, вибір оптимальної захисної структури - це мистецтво розробника. Але навіть якщо така оптимальна захисна структура знайдена, завжди

залишається проблема наступного кроку - як цю структуру вписати в конструкцію бронежилета і вкластися в задані ергономічні, експлуатаційні та інші вимоги.

Яскравим прикладом служать пресовані структури з високомодульного поліетилену, які дають майже двократний вигравш по поверхневій густині в порівнянні зі сталями в широкому діапазоні засобів ураження. Однак значна товщина (до 25 мм) робить їх фактично непридатними, наприклад, для бронежилетів прихованого носіння. Броньові алюмінієві сплави, що показують суттєві переваги перед сталлю у 2 класі ГОСТ, в реальних конструкціях бронежилетів ці переваги поступово втрачає.

По - перше, для броньових алюмінієвих сплавів потрібно більш потужний амортизуючий пакет, щоб знизити до допустимого рівня дистанційної травми. По - друге, для них необхідний більш надійний тил тканинного підпору, оскільки, на відміну від сталевий броньованої панелі, алюмінієва панель пробивається і захист забезпечує вся структура. По-третє, не слід забувати про збільшення габаритної структури з алюмінієвого сплаву і підвищення ціни бронежилета.

Врахування експлуатаційних параметрів

Залежно від розв'язуваних завдань перелік експлуатаційних вимог, що пред'являються до бронежилетів, може досить сильно відрізнятись. Майже сорокарічна практика експлуатації бронежилетів дозволила виділити найбільш суттєві вимоги:

- чохол бронежилета повинен легко відділятися від захисної структури для його чистки, ремонту або заміни;

- конструкція захисту повинна бути виконана з використанням модульного принципу, при якому зміна необхідного рівня захисту може досягатися простою заміною уніфікованих броньованих елементів;

- для розміщення елементів особистої екіпіровки переважно повинен використовуватися так званий транспортний жилет, який легко трансформується відповідно до бойових завдань. Кишені безпосередньо на зовнішньому чохла допускаються як виняток;

- зовнішній вигляд повинен бути виготовлений з зносостійкої, вогнестійкої і екологічної чистої тканини, стійкою до ПММ;

- конструкція фіксаторів бронежилета на тулуб повинна дозволяти достатній діапазон регулювань по фігурі і забезпечувати швидке надягання і знімання бронежилета;

- зовнішній чохол не повинен набирати вологу і повинен дозволяти швидко стікати воді;

- бронежилет не повинен знижувати бойові можливості бійця (заважати йому стріляти, виконувати інші дії) і повинен поєднуватися з іншими елементами екіпіровки (шолом, зброю тощо.);

- бронежилет повинен захищати від вогню, кліматичних впливів, виявлення приладами розвідки, що працюють в різних діапазонах електромагнітного спектра.

Таким чином, бронежилет - це не просто раціонально обрана захисна структура, що забезпечує заданий рівень захисних характеристик, а система, яка повинна оптимізувати безліч захисних, ергономічних, експлуатаційних медико - біологічних параметрів.

4.5. Екіпірування армії України

Щоб виконувати поставлені завдання, кожен військовослужбовець повинен не лише пройти гідну підготовку, а і отримати відповідні матеріально-технічні засоби. Простіше кажучи, якісне екіпірування. Спорядження, яке потрібне бійцеві на фронті, залежить в першу чергу від того, де і за яких обставин потрібно виконувати поставлене завдання. Велика частина країн світу застосовує систему ешелонування для бійців.

Тестування різних систем спорядження показало, що найбільш прогресивною на даний момент є пропозиція ешелонування спорядження.

Під ешелонуванням мається на увазі розподіл всього озброєння і матеріально-технічних засобів, яке дозволяє військовослужбовцю в будь-якій ситуації мати при собі все необхідне для забезпечення боєготовності, підвищення бойових можливостей і максимально можливого забезпечення життєдіяльності.

Залежно від завдань, які виконуються, обставин і тривалості дій солдат повинен мати при собі різну номенклатуру матеріально-технічних засобів.

Згідно концепції ешелонування, все спорядження, яке переноситься військовослужбовцем, що діє у відриві від основних сил, умовно поділяється на три лінії (ешелонів):

Перший ешелон (мінімально необхідний) - комплект засобів загального призначення, що постійно знаходиться на військовослужбовці протягом всього періоду виконання завдання, включає мінімум засобів забезпечення виживання в тилу противника і забезпечує виконання

бойового завдання. Ешелон розміщується в транспортному жилеті, кишенях одягу військовослужбовця.

У цей комплект доцільно включати:

- особисту вогнепальну і холодну зброю, половину боєкомплекту, інженерні боєприпаси та спеціальні засоби, необхідні для ведення короткого бою при раптовій зустрічі з противником і відриві від його переслідування;
- індивідуальні засоби зв'язку і сигналізації;
- засоби надання першої медичної допомоги;
- недоторканий запас (НЗ) - четверта частина боєкомплекту, запас засобів, інструментів і препаратів, що дозволяють створити мінімально необхідні умови для виживання з урахуванням дії навколишнього середовища, запас висококалорійних, готових до вживання (консервованих або сублімованих), малогабаритних продуктів і питної води.

Другий ешелон (оптимально достатній) - комплект засобів загального призначення і засобів виконання конкретного завдання в обсязі, що забезпечує безпосередній вплив на об'єкт бойового завдання, як мінімум по одному варіанта, а також мінімальний рівень життєзабезпечення в ході безпосередньої підготовки до виконання і впливу на об'єкт.

Ешелон розміщується в транспортному жилеті в зоні мінімальної досяжності (верхня частина задньої поверхні тіла) та в бойовому ранці.

У цей комплект доцільно включати:

- другу половину боєкомплекту до особистої зброї, прилади нічного бачення, елементи групової зброї і боєприпаси до нього;

- продукти харчування на одну-дві доби;
- засоби забезпечення життєдіяльності (вологонепроникну накидку, теплоізоляційний килимок (сидіння), фільтр для очищення води);
- інженерні боєприпаси та індивідуальні засоби маскування.

Третій ешелон (додатковий) - комплект засобів всебічного забезпечення виконання бойового завдання за всіма запланованими варіантами і збереження боєздатності військовослужбовця в автономному режимі протягом усього строку виконання бойових завдань.

Третій ешелон розміщується в маршовому рюкзаку і додаткових засобах транспортування підрозділів (взводу, відділення)

У цей комплект доцільно включати:

- додаткові запаси боєприпасів до особистої та групової зброї;
- резервні засоби зв'язку;
- табірне обладнання (намети, посуд, опалювальні та освітлювальні прилади із запасом палива, спальні мішки і тому подібне);
- змінний комплект білизни, засоби особистої гігієни;
- запас продуктів на весь період виконання бойового завдання;
- інші засоби, які використовуються для вирішення допоміжних завдань, що виникають або забезпечують виконання бойового завдання.

Концепція трьох ешелонів спорядження, повинна бути заснована на розподілі спорядження, виходячи з досвіду використання наявного бойового екіпірування військовослужбовців ЗС провідних країн світу під час виконання бойових завдань та військовослужбовців ЗС України в районі проведення антитерористичної операції. Все спорядження, що

носиться військовослужбовцем - це три великі групи, починаючи з першого ешелону, що найбільше стосується того, хто носить (по суті - його одяг), закінчуючи третім, який носить у вигляді рюкзаків.

Такий розподіл на ешелони, на перший погляд незвичний та незрозумілий, але при докладному розгляді є найбільш гнучким і логічним. Цей розподіл дозволяє структурувати будь-яке спорядження будь-якого підрозділу, допомагає загальному розумінню і правильній оцінці тактичних можливостей, підбору та розташуванню спорядження, відповідно до наступного завдання.

Така схема, при її правильному використанні, дозволяє військовослужбовцю автоматично завжди швидко орієнтуватися що і де зі спорядження повинно бути і фактично є в наявності.

#додаткові_факти

Броньований захист тіла «Перехоплювач» (США)

«**Перехоплювач**» (Interceptor - Interceptor Multi-Threat Body Armor System) є системою захисту тіла від різних загроз і складається з бронежилета та модульних елементів, що змінюють вагу броні та рівень захисту. «Перехоплювач» функціонально поєднується з модульними елементами.

Компоненти:

- основний бронежилет;
- комір;
- захист горла;
- захист паху;
- захисні вставки від стрілецької зброї.

Розміри: найменший, малий, середній, великий та дуже великий. Захист горла має лише один розмір.

Противалістичний захист. «Перехоплювач» забезпечує захист від множинних ударів різноманітними уламками, пістолетними та гвинтівковими кулями. Зокрема:

- кулями 7,62×51 мм гвинтівки М-80 НАТО;
- радянськими кулями 7,62 x 54 мм;
- кулями М-855 калібром 5,56 мм армії США.

Функціональна інтеграція. Усі компоненти системи «Перехоплювач» повинні мати можливість функціонального з'єднання за всіх конфігурацій системи. Всі компоненти повинні бути повністю **взаємозамінними** з іншими системами того ж розміру, без погіршення функціональних характеристик.

Видалення та використання вставок. У бронежилет має легко вставлятись додаткові противалістичні пластини. Проміжок між основним носієм та вставкою не повинен перевищувати допустимого значення.

Одягання / знімання. Система "Перехоплювач" повинна легко збиратися, одягатися та регулюватися без сторонньої допомоги максимум за 30 або 15 сек.

Одягання / знімання коміра. При русі комір не повинен легко зніматися. Він повинен легко кріпитися та зніматися, але для цього має бути потрібна спеціальна операція. Комір не повинен турбувати військовослужбовця при носінні і не повинен відриватися, якщо бронежилет тримають за будь-який край або край коміра.

Площа захисту та вага

Таблиця. 4.1. Площа захисту та вага броньованої системи середнього розміру

Виріб	Площа захисту (дюйм ²)	Вага (фунтів)
Бронежилет та комір	755	8.50
Захист горла	18	0.25
Захист паху	70	0.70

Зовнішні умови. Усі елементи системи «Перехоплювач» повинні довго використовуватися у всіх допустимих кліматичних умовах вдень та вночі. Робочі характеристики всіх частин системи не повинні опускатися нижче за мінімальний рівень, зазначений у документації. Допустимі кліматичні умови включають підвищену температуру в сухій та вологій атмосфері, постійну підвищену вологість, змінну вологість, постійну підвищену температуру, холод, серйозний холод та вплив грибків.

Вологі умови. Для моделювання вологих умов використовують морську воду. Протибалістичний матеріал повністю занурюють у морську воду температурою $21 \pm 3^{\circ}\text{C}$ на 24 години. Потім для стікання води підвішують на 60 с, після чого в межах 5 хв. проводять випробування.

Прискорене старіння. Протибалістичну систему поміщають в атмосферу чистого кисню і витримують у камері при тиску 300 ± 10 psi протягом 19-96 години. При цьому не повинно спостерігатися візуальної зміни виду зразка.

Забруднення технічними рідинами. Протибалістична система повинна занурюватись на 24 год. при кімнатній температурі в кожен з наступних рідин: моторне масло, бензин і мастило зброї. Після цього зразок підвішують вертикально три хвилини для стікання рідини. Щоб запобігти забруднення, поверхню протирають для видалення надлишку олії, після чого швидко проводять балістичні випробування.

Інші вимоги

Час служби. Якщо немає балістичних уражень, система повинна безперервно служити в типових польових умовах протягом 10 років. При проміжному зберіганні на складі від одного місяця до п'яти років, максимум вона повинна служити протягом 15 років.

Надійність. «Перехоплювач» не повинен мати експлуатаційних відмов при безперервному використанні протягом 120 днів. У перші два роки безперервної експлуатації весь ремонт повинен виконуватись користувачем.

Камуфляж. Камуфляж залежить від навколишнього ландшафту. Він повинен зменшити помітність виробу у видимому та ІЧ (близькому та далекому) діапазонах до прийнятного рівня.

Стійкість до стирання. Усі суміжні шари системи повинні витримувати щонайменше 2000 циклів стирання без порушення властивостей поверхні та розшаровування.

Вставки. Для забезпечення захисту від потужних гвинтівок у протиуламковий бронежилет «Перехоплювач» вставляють додаткові бронепластины. Захисні вставки є частиною системи, основою якої є гнучкий протиуламковий протипістолетний бронежилет. Захисні вставки використовують спільно з гнучкою підкладкою, разом з якою вони утворюють повну броню.

Конструкція захисних вставок. Захисні вставки складаються з міцних керамічних монопластин (з карбіду кремнію або карбіду бору) з подвійною кривизною поверхні, приклеєної до формованої пластини на основі волокнистого матеріалу Spectra Shield. Кривизна підтримуючого матеріалу має відповідати кривизні кераміки.

Процес формування захисних вставок. Керамічна монопластина має подвійну кривизну, що залежить від розміру жилету. Кераміка може використовуватися окремо або підсилюватися шаром волокнистого композиту. Захисні шари органопластика на основі НВМПЕ волокон Spectra та термопластичної матриці формують в автоклаві або у формі. Кераміку та композит з'єднують за допомогою клею.

Вага. Захисні вставки всіх розмірів повинні мати однорідну поверхневу густину.

Нагрудні пластини, що використовуються в країнах Тихоокеанського кільця. Для захисту від потужної стрілецької зброї в гнучкий протиуламковий бронежилет вставляють жорсткі бронепластини. Специфікація визначає вимоги до захисних властивостей бронепластин.

Форма нагрудних бронепластин. Нагрудні бронепластини повинні мати вигнуту форму. Спинні пластини можуть бути як плоскими, так і вигнутими. Пластини обох типів мають чітко маркуватися.

Розміри пластин: нагрудна та наспинна пластини повинні мати розмір 300×250 мм.

Товщина пластин: пластини повинні мати однорідну товщину, що не перевищує 18 мм.

Вага пластини: не повинна перевищувати 1,6 кг.

Балістична стійкість: протибалістичні пластини повинні забезпечувати захист від багаторазових пострілів із різних пістолетів та гвинтівок.

Зразки: перед початком масового виробництва підрядник повинен виготовити шість зразків нагрудних пластин для випробування.

Балістичні випробування: виконують певною незалежною балістичною лабораторією у своїй країні або за її межами. Випробовуються три із п'яти комплектів нагрудних пластин кожної партії. При відмові одного із зразків бракується вся партія.



Рис. 4.4. Концепція розвитку ЗІБ



Рис. 4.5. Захист тулуба та кінцівок (The Torso and Extremities Protection, 2019),

www.hpwhite.com



Рис. 4.6. Інтегрована система захисту голови (2019)

2. Азіатський бронежилет

Протягом багатьох років країни Південної Азії купували протибалистичні бронежилети, вироблені в Великобританії. Однак зараз у деяких країнах почали виробляти власні гнучкі бронежилети із закупленої за кордоном сировини. Формовані жорсткі броньовані пластини, зазвичай, виробляють в інших країнах.

Балістичні випробування нагрудних пластин: - стріляє кулею НАТО калібру 7,62 мм з відстані 10 м; - проводиться постріл кулею з м'яким сталевим сердечником з автомата АК-47 з відстані 10 м.

Розміри пластини: 305×254мм.

Кількість пластини: мінімум дві вигнуті пластини – нагрудна та задня.

Матеріал пластин: тверда формована панель на основі високоміцного поліетиленового волокна.

Вага броньованих пластин: максимум 1,5 кг, у тому числі пластин коміра, захисту паху та плечей.

Площа захисту: площа області тіла, включаючи груди та спину, має бути не менше 0,55 м².

Розміри: два розміри – середній та великий.

Зовнішній шар гнучкого бронежилета: робиться з міцного стійкого до стирання нейлону з водовідштовхувальним покриттям.

Матеріал гнучкого бронежилета: виготовляється з шарів арамідної тканини полотняного плетіння, обробленої водовідштовхувальним складом. Для фіксації структури та зменшення BFS деформації бронепакет прострочують.

Випробування: гнучкий бронежилет випробовують згідно зі стандартом NIJ 0101.04 кулями калібром 9 мм, що мають швидкість 430м/с.

Травмозахисний матеріал: для зменшення заборонної деформації у гнучкому бронежилеті допускається використання шару протитравматичного матеріалу.

Заборонна деформація: відповідно до стандарту NIJ 0101.04, заборонне зміщення не повинно перевищувати 25мм.

Загальна вага гнучкої та жорсткої броні: повна вага гнучкої та жорсткої броні не повинна перевищувати 6,3 кг для бронежилета середнього розміру та 6,6 кг для бронежилета великого розміру.

Інші особливості: мінімальний термін служби дорівнює 10 років. І гнучкий бронежилет, і жорсткі формовані броньовані пластини повинні зберігати балістичні характеристики за таких умов:

- за температури від -50° до +50°С;

- в умовах вологої гарячої атмосфери при вологості 95% та температурі 40°C.

3. Заходи покращення бронежилета

Найрозповсюдженіший захід покращення бронежилету — застосування модульних конструкцій бронежилетів:

- виготовляється бронежилет 1 або 2 класу захисту (наприклад, тканинний);
- він оснащується кишеньками з балістичної тканини;
- у кишеньки вставляються сталеві або керамічні бронепластины, що закривають найбільш важливі внутрішні органи людини (серце, печінку тощо)

Ще одним заходом є поєднання бронежилета з іншими елементами спорядження. Подібні бронежилети оснащують стандартним набором кишень та підсумків для перенесення боєприпасів та різноманітного спорядження. Якщо куля влучить, наприклад, у підсумок з набоями, вона деформується та втрачає початкову швидкість та частину своєї енергії на подолання перешкоди. Таким чином бронежилету легше її зупинити.

Основну увагу при розробці систем індивідуального бронезахисту приділяють загрозам, що існують під час проведення бойових дій проти іррегулярних збройних формувань («мінна війна», широке застосування саморобних вибухових пристроїв тощо)

Недоліки

Бронежилети, особливо з металевими пластинами, мають значну вагу, яка сковує та обмежує рухи, зменшує час незнімного носіння.

Також, при «не пробой» кулею чи осколком з великою кінетичною енергією, можлива так звана «поза межна травма» / «заброньова травма» (як при забої внутрішніх органів), військовик живий, але в середині «сформувалась» загроза для життя.

Головним же недоліком спецзасобу є те що куля, за ймовірності пройти навиліт не задівши чи завдавши несмертельних уражень органам, при потраплянні у пластину (з внутрішньої сторони, та що до тіла) діє на більшу ділянку, що може зумовити фатальні ушкодження кісток та внутрішніх органів.

При веденні бойових дій, невід'ємною частиною комплектування солдата є засоби захисту такі як бронежилет, шолом та інші. Оскільки такі засоби можуть врятувати життя солдата, важливим є не зупинятись у процесі вдосконалення засобів безпеки, бути в курсі новітніх розробок інших країн як в засобах захисту так і в засобах ураження та бути конкурентно спроможним.

Контрольні питання

1. Які стандарти регламентують засоби індивідуального броньованого захисту?
2. Які засоби ураження включені до стандартів на засоби індивідуального броньованого захисту?
3. Які існують класи захисних структур за українським стандартом на засоби броньованого одягу?
4. Порівняйте українські та зарубіжні стандарти.
5. Як влаштовані бронежилети, шоломи та броньовані щити?
6. Що таке заброньова швидкість? Яка роль текстильного підпору?

Тема 2. Балістичні матеріали та їх використання

«Про майбутнє ми нічого не знаємо, крім того, що воно
відрізнятиметься від сьогодення. Будь-яка перевага
цілком може виявитися забобоном»

Х.Борхес

5. Балістичні матеріали (бронематеріали) та їх використання. Класифікація броні.

5.1. Легкі балістичні матеріали

5.2. Види волокнистої броні (текстильна)

5.1. Легкі балістичні матеріали

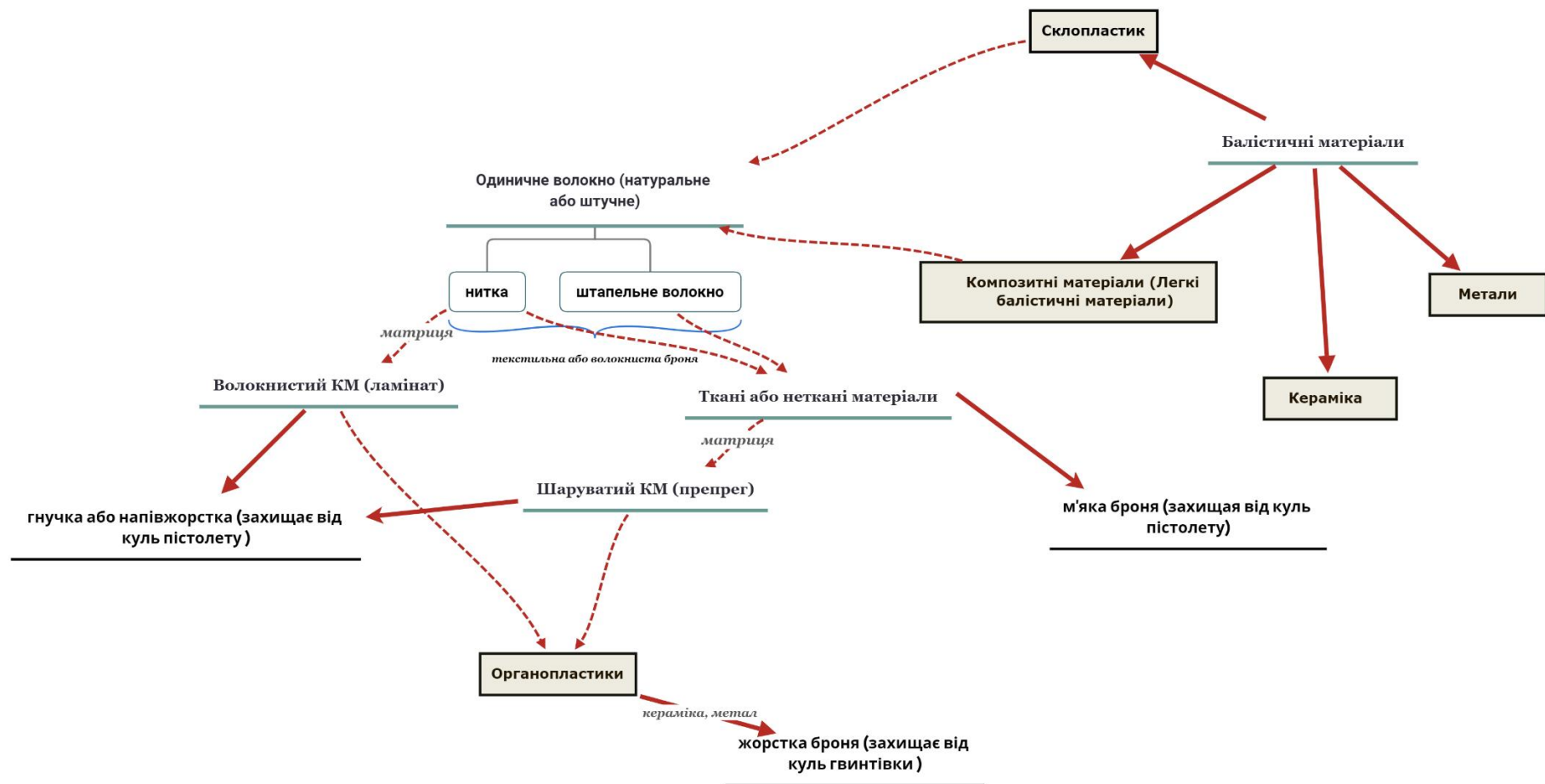
Ні який матеріал не може бути «куленепробивний». В якості куленепробивного матеріалу використовують: метали, кераміку, композиційні матеріали (органопластик, склопластик, легкі балістичні матеріали) і комбінування цих матеріалів (рис. 5.1.).

Композиційні матеріали

Всі композити складаються з декількох компонентів.

Композиційні матеріали - багатокомпонентні матеріали, що складаються з суцільної основи (матриці, сполучника) та дискретного армуючого матеріалу. Шляхом підбору складу і властивостей армуючого матеріалу і сполучного елементу отримують композиційні матеріали з необхідним поєднанням фізико - механічних, експлуатаційних і технологічних властивостей. **Зазвичай армуючий матеріал визначає властивості міцності КМ, а матриця забезпечує монолітність матеріалу і його міцність на зсув, перетворює дискретний армуючий матеріал в єдину механічну систему, сприяє рівномірному розподілу напружень.**

Якщо експерт скаже непрофесіоналові, що натільна броня є текстильним виробом, він майже напевно викличе здивування і навіть недовіру. Більшість виробів, призначених для захисту від балістичної загрози, тепер роблять з тканини.



Перспективними будуть композити не стільки з високими властивостями, скільки з досить низькою вартістю виготовлення. Матеріалів з необхідним рівнем властивостей досить багато, а проблема полягає в тому, щоб виготовити виріб досить швидко і з низькою вартістю. Основний шлях зниження вартості виробів з композиційних матеріалів - розвиток високопродуктивних способів переробки КМ, так як 70% вартості виробу з КМ становить його виготовлення. Найбільш перспективні технологічні процеси для переробки полімерних композитів: лиття, лиття під тиском, намотування ниткою, термоформування і пултрузія.

Перспективні напрямки використання КМ:

- транспортне машинобудування: конструкції автомобілів; автобусів, залізничних вагонів, тракторів, причепів, цистерн для залізничного та автомобільного транспорту;
- виготовлення газових балонів;
- створення ефективних накопичувачів енергії - супермаховиків;
- будівництво: градирні, ємності для транспортування і зберігання хімічно активних речовин і сільськогосподарських продуктів, елементи конструкції мостів, огорожі на автошляхах, плавальні басейни, пересувні будиночки, виставкові павільйони;
- товари народного споживання: лижі, ключки для гри в хокей і гольф, велосипеди, мотоцикли, сани, рибальські снасті, меблі і ін.

Основою легких балістичних матеріалів є високоміцне волокна. Однак, поодинокі волокна не здатні зупинити снаряд, який може розсунути нитки, не руйнуючи їх. Для подолання цього недоліку з волокон роблять тканини або неткані матеріали типу повсті (войлок). У цих матеріалах ударник взаємодіє з волокнами, орієнтованими в двох

напрямках. З м'яких волокнистих матеріалів шиють гнучкі бронежилети (рис. 5.2.).

Визначення:

Волокниста броня (текстильна) - це загальний термін, що відноситься до групи споріднених, хоча і різних матеріалів, вважають всі **вироби зроблені з волокон.**

За структурою композиційні матеріали **діляться** на кілька основних класів: **волокнисті** (армовані волокнами, нитками, ниткоподібними кристалами), **шаруваті** (армовані шарами тканини, плівками, дисками та іншими шаруватими матеріалами), **дисперсно - зміцнені** (армовані матеріалами у вигляді дисперсних частинок з розмірами 0,1 ... 100 мкм) і **нанокомпозити** (до їх складу входять наночастинки розмірами 10 ... 1000 нм).

У захисних структурах ЗІБ застосовують перераховані класи КМ. Але найбільшого поширення **набули КМ, у яких в якості сполучного матеріалу - нитки, джгути, тканини або неткані шаруваті структури з синтетичних високомодульних високоміцних параарамідних або поліетиленових волокон.** Такі КМ відносяться до групи волокнистих або шаруватих КМ, скорочено їх називають **органопластики.** Органопластики застосовуються для виготовлення шоломів і енергоємних жорстких підкладок комбінованої, наприклад, кераміко - органопластикової багатошарової броні.

Нові неткані і поперечно орієнтовані матеріали використовують все ширше через більш високу балістичну стійкість. Ламінований шар забезпечує ковзання суміжних шарів композиту в жилеті, що не сковує таким чином рух військовослужбовця.

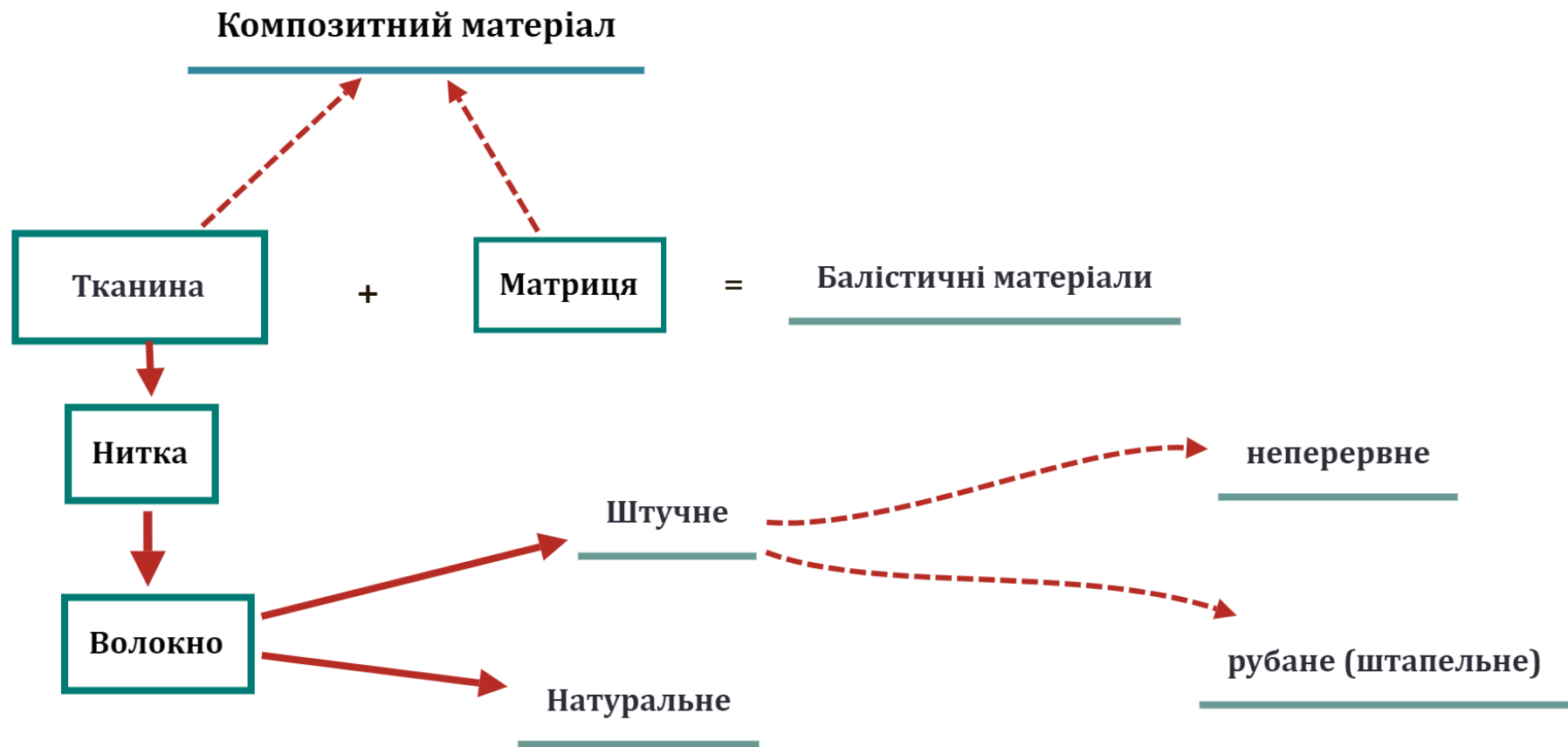


Рис. 5.1. Структура балістичного матеріалу (органопластику)

Перевага нового матеріалу полягає в більш високій балістичній стійкості до багаторазових ударів. Протибалістичні жилети з нових матеріалів не прострочені, і тому вони тонкі і гнучкі.

На озброєнні військ сухопутного призначення Збройних сил США є бронежилет PASGT-V, який не включає до свого складу титанові пластини. Він повністю тканинний. Його завдання полягає в захисті людини від уламків снарядів, забійних елементів, каменів, шрапнелі.

Система бронезахисту особового складу сухопутних військ включає в себе:

- бронежилет PASGT-V
- шолом PASGT-H
- легкий бронежилет ISAPO

Цей набір призначено для кожного військовослужбовця армії США. Спеціально для солдатів 75-го полку рейнджерів поставляють броньований комплект РБА, який складається з таких елементів:

- шолом PASGT-H
- жилет гнучкого типу Flexible Vest
- пластина з кераміки змінного типу

Цей комплект має ті ж захисні властивості, що й PASGT. Проте керамічні пластини, які вставлені в грудну кишеню бронежилета РБА, забезпечують захист військовослужбовця тільки спереду. Бронежилет PASGT-V оберігає верхню частину тулуба людини спереду і ззаду. Такий броньований одяг виглядає, як звичайний жилет, що має стоячий комір. Покриття виготовлено з нейлонової тканини, що відштовхує вологу. Внутрішня поверхня бронежилету оливкового відтінку, ззовні він має

забарвлення по типу «лісиста місцевість». Бронежилет з точки зору балістичної наповненості складається з 13 шарів і тканини Арамід водовідштовхувальної властивості.

Полімери використовують для отримання композитів дуже давно. Наприклад, вже аборигени Центральної і Південної Америки робили різні речі з ізопренового каучуку. Поліізопрен є натуральним каучуком. Застосувавши його для отримання плащів, Чарльз Макінтош створив один з перших композиційних матеріалів на основі натуральних полімерних волокон і натуральної полімерної матриці (целюлоза бавовни також є натуральним полімером).

Завдяки каучуку цей матеріал водонепроникний, а завдяки бавовні він зручний для носіння. Це є ідеальною ілюстрацією того, як композит об'єднує корисні властивості складових компонентів.

Вимоги до балістичних матеріалів:

- легкі;
- відносно гнучкі;
- повинні мати певну теплопровідність.

Для виробництва протибалістичних композиційних матеріалів використовують різні матриці. Згідно з урядовою специфікацією США стандартною є каталітично сумішева система затвердіння, що складається з 50% фенолформальдегідної і 50% полівілбутіральної смол. Відзначимо, що концентрація матриці дуже впливає на властивості матеріалу.

Щоб робити протибалістичні композити, потрібні більш міцні волокна, ніж бавовна. В армії США зрозуміли це після закінчення Другої світової війни. Протибалістичні волокна мають високу міцність при

розтягуванні, але крихкі. У протибалістичних композитах каучук грає корисну роль, збільшуючи міцність при стисканні. Штучні матриці роблять це ще краще. Каучук показав нам шлях, як робити нові речі.

У 1893 р Чарльз Гудьєр випадково відкрив процес вулканізації, що складається в поперечній хімічній зшивці полімерних молекул. Вулканізація надає каучуку властивості, яких не має незшитий полімер. По суті, поперечношитий полімер являє собою одну гігантську макромолекулу. В результаті, був створений новий клас термореактивних полімерів, оскільки поперечне зшивання молекул каучуку є типовою термоактивною хімічною реакцією. Відзначимо, що незшиті матеріали при нагріванні стають пластичними.

5.2. Види волокнистої броні (текстильна)

Одним з основних методів класифікації броні є визначення **балістичної границі** V_{50} - швидкість кулі, при якій броня пробивається з імовірністю 50%.

З препрегів роблять як гнучкі, так і жорсткі волокнисті матеріали (рис. 5.3.).

М'яка броня

М'яку броню зазвичай виготовляють з високоміцних волокон у вигляді тканини або нетканих матеріалів із шаром зовнішнього покриття або без нього. Противобалістичні тканини з арамідних волокон і НВМПЕ волокон виготовляють на швидкодіючих автоматизованих ткацьких верстатах. Технологія переплетення тканини відносно проста. Для запобігання намокання під час переплетення на тканину наноситься водовідштовхувальне покриття. Покриття зазвичай наносять, опускаючи

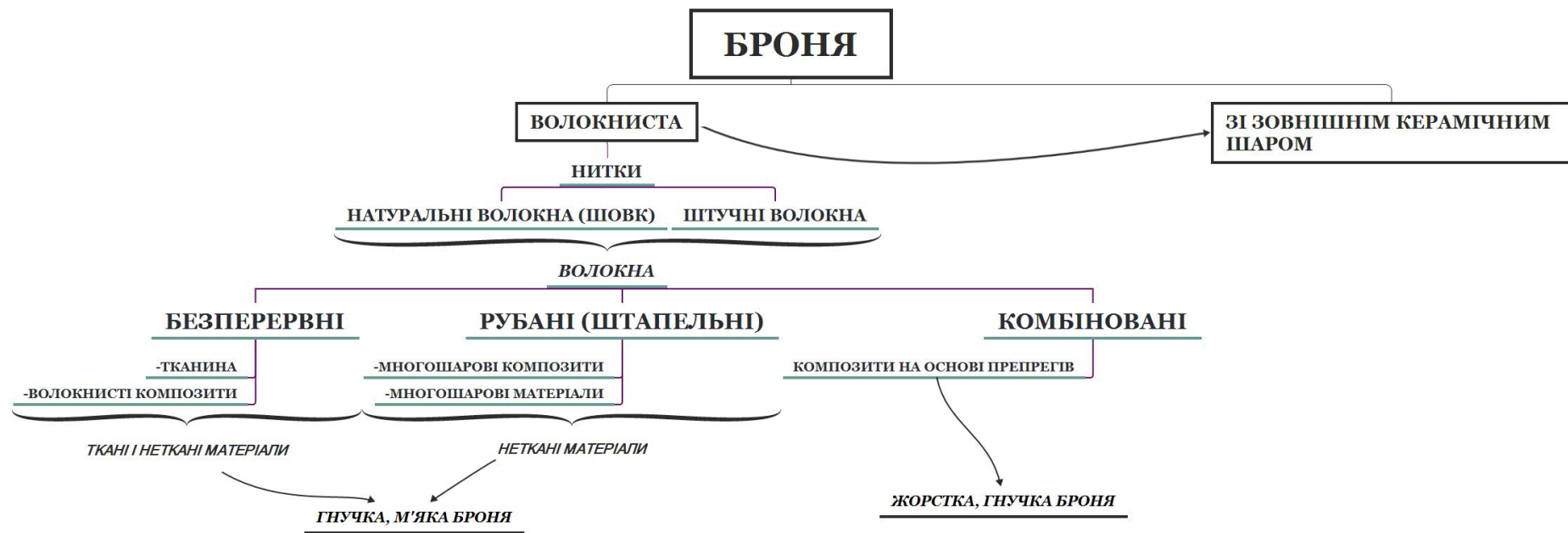


Рис. 5.3. Класифікація броні на основі легких балістичних матеріалів

тканину в ванну і висушуючи її на обладнанні, аналогічне використовується для одержання препрегів.

М'яку броню застосовують для забезпечення колективного захисту кількох людей. М'якої бронею покривають підлогу і борти машини. М'якої бронею захищають авіаційні двигуни від удару частин лопатей, що відламалися та летять з великою швидкістю.

Препреги, які використовуються в м'яких бронежилетах, мають такі **особливості**:

- досить низький вміст матриці;
- високе подовження матриці (> 200%);
- не суцільне покриття волокон (вміст матриці нижче 20%);
- відсутність поперечного зшивання;
- наявність мікропор;
- хороша адгезія до волокон.

Гнучка броня

Гнучку броню використовують в бронежилетах, комірах, противобалістичних ковдрах і рулонних матеріалах захисту транспортних засобів. Гнучкі вироби використовують поліцейські, співробітники правоохоронних органів, охоронці і військовослужбовці для захисту від пістолетних пострілів, уламків ручних гранат і вибухів під транспортними засобами.

Гнучка броня передбачена для поліції та правоохоронних органів, вона може бути підігнана під контур тіла конкретної людини. Гнучка броня в цілому розрахована на захист від пістолетних куль і зазвичай не

дуже помітна. Гнучка броня, яка використовується військовими і миротворчими частинами, повинна захищати і від ураження уламками. Так само може колективно захищати від уламків бомб і інших вибухових пристроїв. Бронежилети з гнучкою бронею розраховані на захист від ураження пістолетної кулею, але не захищають від гвинтових куль або удару холодною зброєю з загостреним наконечником.

Гнучку броню використовують для зупинки 9-мм пістолетних куль з суцільнометалевою оболонкою, Магнума 357, Магнума 44 і низько енергетичних уламків гранат і артилерійських снарядів. Гнучкий волокнистий бронежилет складається з декількох шарів противобалістичного матеріалу, які дещо обмежує рух тіла. Однак добре скроєний жилет згинається при русі, що не створює дискомфорту при пересуванні.

Матриця в гнучкому бронежилеті повинна мати високе подовження. Аналогічно, щоб забезпечити гнучкість композиту або тканини.

Жорстка броня

Жорстку броню використовують в противобалістичних касках, що знаходиться на озброєнні армії і поліції, в армійських транспортних засобах, щитах для розгону демонстрацій, військових вертольотах і вантажних літаках. Часто використовується поліцією і правоохоронними відомствами в комбінації з м'якими бронежилетами. Вона призначена для спеціальних операцій, коли є ризик ураження гвинтівковими кулями. Таку броню зазвичай добре видно. Жорстка броня включає в себе сталеві або титанові панелі, кераміку в поєднанні з матеріалами іншого типу, а також литі пластини з поперечно орієнтованих шарів з волокон.

Жорсткі волокнисті матеріали використовують для виготовлення формованих протибалістичних касок і нагрудних пластин для бронежилетів всіх родів військ.

Подібно м'якій броні, жорстку броню зазвичай роблять з високоміцних волокнистих матеріалів або нетканих матеріалів. Використовують як арамідні, так і НВМПЕ волокна.

Напівжорстку і жорстку броню формують з препрегів наступними методами:

- в автоклаві;
- в прес - формі;
- в вакуумному мішку;
- ручною викладкою.

Жорстка формована броня зупиняє кулі, поглинає енергію низькошвидкісних ударів і витримує механічні навантаження, що виникають в польових умовах (табл. 5.1., 5.2.). Типовими виробами з жорсткою броні є каски, нагрудні пластини, броньований захист транспортних засобів і невеликих літаків.

Жорстка броня, яка використовується поліцією, миротворчими силами і військовим персоналом, призначена для захисту від ураження кулями калібру 9 мм з суцільнометалевої оболонки з пістолетів Магнум 357 і Магнум 44. Жорстка броня, яка використовується військовослужбовцями, захищає від низько- і високошвидкісних гвинтівкових куль і уламків ручних гранат і артилерійських снарядів різного розміру і форми.

Таблиця 5.1. 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/дм²)			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	590/7,0	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

Таблиця 5.2. Порівняльна таблиця маси пластин ЗІБ

	Пластина (250×300 мм)							
	4 клас				6 клас			
	товщин а 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 МЗм)					35,6	4,05		
Металева багатошарова структура (У12А; Ст3)	5	2,87	6	3,46	8	4,64	10	5,81

Жорстка броня зберігає форму при експлуатації. Перш за все, вона повинна забезпечувати протибалістичний захист, бути легкою, жорсткою і довговічною. Ці вимоги визначають вибір препрегів.

Для отримання жорстких композитів використовують як термопластичні, так і термореактивні матриці. Виконати всі вищезгадані вимоги дуже важко. Тому доводиться шукати деякого компромісу. Як тільки компромісу досягнуто, розробники намагаються усунути наявні недоліки.

#додаткові_факти

1. Матеріали для виготовлення бронежилетів

Тканини

У 60-х роках було винайдено спеціалізовані балістичні тканини (кевлар, певні сорти поліетилену). Вони вирізняються міцною молекулярною структурою. На відміну від металевих бронеелементів

кілька шарів балістичної тканини ефективно нейтралізують заброньову дію кулі. Тканинні бронежилети мають масу 3-4 кілограми. Проте межа тканинних бронежилетів — 1-3 клас. Балістичні тканини не витримують кулі штурмових гвинтівок. Тканинні бронежилети досить дорогі у виробництві.

Метали

Серед металів використовують сталь і титан. Броньові пластини зі сталі й титану використовують у бронежилетах 4-5 класів захисту. Вони вирізняються високою стійкістю і можуть витримувати багаторазові влучання. Виробництво бронежилетів зі сталевими елементами відносно дешеве, проте вони доводять масу бронежилета до 8-10 кг і не рятують від заперешкодної дії кулі (навіть якщо бронежилет не пробито, куля однаково завдає надпотужний удар по людському тілу), тому бронежилет з металевими пластинами рідко коли може врятувати від пострілу дробовою рушницею. В перспективі розглядається зменшення ваги та поліпшення захисних якостей легких класів у разі їх виготовлення з металевої піни.

Керамічні матеріали

Керамічна броня є дуже міцною. Вона трохи легша від металевої, але важча за тканинні бронеелементи. Вона має один принциповий недолік — низьку живучість. Після двох-трьох влучень кераміка розлітається на друзки й практично не забезпечує захисту. Керамічні бронеелементи є дуже дорогими у виробництві.

2. Павутина

Павутина вважається одним з найміцніших і еластичних волокон у світі, а також вона має антисептичні властивості. Вже багато років вчені різних країн намагаються налагодити масове виробництво даного

матеріалу, щоб виготовляти з нього бронежилети, одяг, бинти та інші необхідні речі.

Американські вчені прийшли до висновку, що найміцніші бронежилети можна було б виготовити з павутини, яка володіє особливою міцністю і еластичністю. Крім того, експерти з Університету Каліфорнії, які присвятили вивченню свого предмета десятки років, вважають, що павуки виробляють настільки міцний шовковий матеріал, що виготовлені з нього кабелі за своїми якостями випереджали б аналогічні продукти з цінних металів.

Павутина, яка, до речі, в світі тварин зустрічається не тільки у павуків, а також у ряду комах, кліщів і багатоніжок, є унікальним винаходом природи. Її будова досить складна, хоча в загальних рисах її можна охарактеризувати наступним чином. Будь-яка павутинна нитка має внутрішнє ядро з білка (фіброін), і оточуючі це ядро концентричні шари глікопротеїдних (тобто, утворені з вуглеводів, прикріплених до білка) нановолокон.

Фіброін, який представляє собою в'язку рідину, полімеризується і твердне на повітрі, становить приблизно дві третини маси павутини. Вченим вдалося з'ясувати, що особливо часто в білках фіброїна зустрічаються дві амінокислоти: гліцин ($\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COOH}$) і аланін ($\text{CH}_3\text{CHNH}_2\text{COOH}$). Саме остання і робить павутину нитку «суперміцною».

Виявляється, коли кілька поліаланінових ділянок різних білків зближуються, то вони починають злипатися. Далі цей злиплий шматок згортається в суперспіраль, причому така структура з'єднує поліаланінові ділянки різних білкових молекул надзвичайно міцно. Як кажуть хіміки, міцність такого волокна стає близька до теоретичної, тобто до міцності розриву хімічних зв'язків.

Було встановлено, що в павутині поліаланінові ділянки з'єднуються один з одним не в одній точці, як кристали металу в залізному дроті, а "з перетином", тобто в тисячі точок одночасно. Розірвати таке зчеплення важче раз в двадцять, ніж мідний провід. Цікаво, що при такому міцному зчепленні павутинна нитка продовжує залишатися еластичною. А ось за це якраз відповідає інша "масова" амінокислота - гліцин.

Ділянки, де багато гліцину, формують щільний клубок, в який як би вмонтовані структури з поліаланіну. Якщо розтягнути цей клубок, його ентропія (тобто ступінь хаотичності) зменшиться, а вільна енергія - збільшиться. Але, як тільки напруження знімаються, система повертається в стан з максимальною ентропією і мінімумом вільної енергії, тобто назад в клубок. Виходить, що еластичність павутини з фізичної точки зору має ту ж природу, що і еластичність гуми.

Крім білкової і вуглеводної складової, павутина містить ще й неорганічні речовини, наприклад, гідрофосфат і нітрат калію. Вважається, що вони є певним антибіотиком, що захищає павутинну нитку від грибків і бактерій. Саме вони і забезпечують антисептичні властивості даної речовини, про які люди знали ще з кам'яного віку.

Так що, як бачите, павутина цілком могла б стати в нагоді людині. І не тільки для бронежилетів. Вчені вважають, що з неї вийшов легкий і зручний одяг, парашути, килими і перев'язувальні засоби. Проблема лише в тому, що отримувати її зараз досить складно. Ще б пак, адже, згідно з розрахунками арахнологів, для того щоб отримати всього один метр тканини з павутини потрібно "робота" понад 400 павуків!

Ці істоти ж, в свою чергу, як правило, терпіти не можуть один одного, тому утримувати їх разом досить складно. Саме тому спроба вперше організувати павукову ферму (це сталося ще 300 років тому, в XVIII

столітті) зазнала невдачі. Павуки, зібрані французьким ентомологом Бон де Сент-Ілі, просто з'їли один одного. І справа була не в тому, що закінчився корм, такий вже характер цих членистоногих.

Втім, далеко не всі з них такі мізантропи (або, точніше, мізарахни). Існують і громадські павуки, які живуть великими колоніями на одній широкій павутинній мережі. Такі, наприклад, **Theridionnigroannulatum** з Південної Америки (їх колонії містять кілька тисяч, а діаметр мережі може перевищувати п'ять метрів). До речі, в давнину з їх павутини виготовляли тканини парагвайські і бразильські індіанці. Також цілком перспективне розведення в неволі африканського **Stegodyphus mimosarum**, які будують гніздо (до півтора метрів в довжину) і всі дружно полюють на його поверхні. Однак, павутина у цих видів не дуже хорошої якості, вона еластична, але рветься легше, ніж у одиночних мисливців (вважається, що найякіснішу павутину плетуть представники роду **Nephila**, а вони-то якраз схильні до самотності).

Крім того, існує і спосіб персональної "доїння" павуків. Для цього павука за лапки приклеюють до столу скотчем, після чого обережно видавлюють у нього з павутинних залоз шматочки павутинки. Його приліплюють до скляної паличці, яку потім вставляють в дріль і включають останню на маленьку швидкість. Через п'ять хвилин павук виявляється повністю видоєним. Як бачите, при такому способі павукам не потрібно безпосередньо контактувати один з одним, між доїнням вони можуть існувати в персональних вольєрах. Однак вихід кінцевого продукту при такому способі отримання досить невеликий - виходить павутини вагою всього лише в кілька міліграмів.

Так що, як розумієте, утримання павуків досить складно і дорого. Саме тому вчені останнім часом намагаються мобілізувати виробництво

павутини інших живих істот. Ще в кінці минулого століття був розшифрований ген білка павутини. З тих пір біологи намагаються вставити його в самих різних представників живої природи, від бактерій до кіз.

Здавалося б, найпростіше було б модифікувати бактерії, це легко з технічної точки зору і досить економічно, оскільки їх утримання обходиться недорого. Однак тут мікробіологи зіткнулися з однією несподіваною проблемою. Як ми пам'ятаємо, через присутність низки речовин в своєму складі павутина володіє антибактеріальними властивостями. Вийшло так, що через деякий час бактерії, що виробляють павутину, загинули від власного продукту. Крім того, було встановлено, що даний ген досить складний і громіздкий, тому бактерії прагнули позбутися від нього, що досить часто їм вдавалося.

Іншим шляхом пішли німецькі фахівці з Гатерслебена, а також молекулярний біолог Володимир Богуш, провідний співробітник лабораторії білкової інженерії. Ці дослідники ввели гени, подібні павуковим, в рослини - картоплю і тютюн. Їм вдалося отримати в картопляних бульбах і тютюнових листках до двох відсотків розчинних білків, що складаються в основному з спідроїна. Однак, як показали подальші дослідження, введені гени не прижилися в рослинах і незабаром були вирізані з їх генома.

З огляду на невдалий попередній досвід, група Богуша вирішила спробувати впровадити ген спідроїна в мікроскопічні грибки дріжджі (*Saccharomycetales*). Тут ген прижився досить добре. Так що в даний час ці грибки є єдиною в світі "біофабрикою" по виробництву штучної павутини.

Робиться така павутина наступним чином - спочатку нарощується біомаса, потім руйнуються клітини дріжджів, що містять спідроїн. Далі

цей білок екстрагується з отриманої суміші, після чого його виділяють в чистому вигляді, сушать і отримують субстанцію, яка чимось нагадує вату. Складність, однак, полягає в тому, що утворити з неї нитку вже неможливо - адже фіброїн на той час вже затвердів. А з грудки цієї "вати" ніякого бронежилета, ясна річ, не виготовиш.

3. Вчені за крок від створення куленепробивної шкіри

Експерименти з людським геномом у світовій науці поки заборонені, так що матеріал вирішили синтезувати в лабораторії. Штучну шкіру вчені вирощують уже давно. А ось знайти достатню кількість міцної павутини - не так просто, як здається.

Павутина - дуже міцний і легкий матеріал, але павука особливо не «треба». **Канадська фірма Nexia** зробила кіз, в молоці яких міститься білок павутини. З нього виробляють хірургічні нитки, і навіть бронежилети. Зовні ГМ - кози ніяк не відрізняються від звичайних.

Дві генетично змінені кози більше не даватимуть молока. Замість цього вони стануть першими в світі козами-виробниками найтоншої павутини. У всякому разі, на це сподіваються вчені.

В даний час ці павуки-кізоньки знаходяться під наглядом американських військових. Саме військові сили збираються використовувати кіз в своїх цілях. З отриманої павутини виготовлятимуть найлегші бронежилети, і нитки для зашивання ран. Кожній з карликових нігерійських кіз по 20 тижнів від народження, і в ембріональному стані їм був імплантований ген павука.

За заявою вчених, до масового виробництва козячої павутини ще приблизно близько двох років, проте вже сьогодні можна сказати, що експеримент вдався. Молоко кіз буде містити комплексні протеїни,

властиві павутині. Їх будуть виділяти з рідини, а потім перетворювати в порошок для подальшого використання у військових цілях.

В результаті досліджень голландського біолога Абдул Вахаба Ель-Хальбзурі і художниці Джаліль Ессайді була створена надміцна тканина - органічна сполука павутини і людської шкіри.

До сих пір найміцнішою тканиною в світі був кевлар. Але у створеного нового куленепробивного матеріалу, який поки не має назви, потенціал набагато більше.

Куленепробивний кевлар має 33 шара, а павутина сама по собі в 3 рази міцніше кевлара і в 15 разів міцніша за сталь.

Раніше будь-які додаткові матеріали з павутиною з'єднувалися погано. І тільки шкіра виявилася універсальним матеріалом для павукового "клею". Так що в майбутньому вчені планують можливість імплантації павутини прямо в тіло.

Поки шкіра, вирощена вченими ще не настільки міцна, щоб зупиняти кулю на повній швидкості: вдалося виростити тільки 4-шаровий матеріал.

Але разом з нейрохірургами і біологами вчені будуть і далі працювати над удосконаленням свого винаходу. Вони впевнені, що в майбутньому павуковий шовк можливо будуть використовувати в медицині, і з його допомогою регенерувати втрачені кінцівки.

«Все впирається в людське мислення. Якщо ви готові змінити свій генетичний код, щоб стати куленепробивним, то у вас буде така можливість. Поки важко сказати, як далеко ми зайдемо з нашим винаходом. Але є небезпека, що розвиток міцної шкіри спричинить розвиток пробивної сили зброї », - Джаліль Ессайді.

Людина-павук відтепер не така вже фантастика. У лабораторних умовах в Голландії змогли поєднати людську шкіру і павукову нитку. Одержаний матеріал при цьому дійсно здатний наділити людей суперздатностями. Наприклад, відображати кулі калібру 5,56.

Шість місяців роботи, використання генетично модифікованих комах і спеціального текстильного обладнання - все це для того, щоб зробити невеликий шматочок тканини. Але ніколи в світі раніше такого не було. Це павутина, пов'язана таким же чином, як сорочка або шарф. Цей матеріал в п'ять разів міцніший за сталь і перевершує за своїми якостями кевлар, який зараз використовують у виробництві бронежилетів.

Наступний етап - пересадка шматка куленепробивної шкіри живій людині. Добровольців, незважаючи на етичну сумнівність відкриття, знайшлося безліч.

Військові шедевром біотехнології поки не цікавилися. Можливо, тому, що бронежилети - як і раніше дешевше, ніж люди-павуки з пробірки.

6. Протибалістичні волокна. Види волокон

6.1. Вимоги до високоміцних волокон

6.2. Види волокон

6.3. Традиційні високоміцні волокна

6.4. Легкі балістичні волокна (високоорієнтований поліетилен)

6.5. Жорстколанцюгові волокна

6.6. Властивості волокон

6.1. Вимоги до високоміцних волокон

Основою текстильної броні є високоміцні високомодульні синтетичні волокна. З протибалістичних волокон роблять легкі композиційні матеріали для авіації, куленепробивні жилети, захисний одяг для офіцерів пожежної охорони та виробу, стійкі до надрізів та проколювання. В побуті з них роблять рибальську волосінь, тятиву, морські мотузки та вітрила.

Волокна виробляють у вигляді ниток, що намотуються на катушки деякого діаметра. Нитки складаються із сотень і навіть тисяч дуже тонких волокон. З них можна робити **тканини** чи поперечно орієнтовані **препреги**.

Структура

З волокон можна зробити односпрямований матеріал чи тканину. Малу міцність шару у поперечному напрямку можна компенсувати двома способами. У поперечно орієнтованому композиті волокна укласти у двох напрямках, 0 та 90°, і матеріал буде дуже міцний уздовж цих осей. Другий спосіб полягає у виготовленні тканини, що дозволяє передати напруження в точках переплетення ниток.

Полімери можна армувати майже будь-якими волокнами. Для балістичного захисту використовують **склопластики** та **органопластики** на основі високоміцних арамідних або поліетиленових волокон. Протибалістичні композити часто роблять з поліетиленових волокон, що мають **довгі полімерні ланцюги**. Наприклад, з волокон Spectra фірми Honeywell або волокон Dyneema фірми DSM (Dutch State Mines), а також з арамідних волокон Kevlar або Twaron.

Вимоги до високоміцних волокон

Щоб отримати волокна з високими модулем пружності і міцністю при розтязі, необхідно виконати три вимоги:

1. Полімерні молекули повинні бути орієнтовані строго в напрямку осі волокна;
2. Молекулярна маса і довжина молекулярного ланцюга повинні бути дуже великими.
3. Волокно має мати високий ступінь кристалічності і не повинно мати дефекти.

6.2. Види волокон

Полімери, з яких одержують високоміцні високомодульні синтетичні волокна, діляться на **жорстко-** і **гнучколанцюгові** (рис. 6.1.). Жорстко ланцюгові волокна – ароматичні поліаміди: поліпарафенілентерефталамід (Кевлар, Терлон, Тварон), поліамідобензімідазол на основі гетероциклічного парадіаміну та терефталоїлхлориду (СВМ). До жорстколанцюгових полімерів відносяться – парарамідні волокна (Русар, Армос). Ці волокна мають найвищі механічні властивості серед усього сімейства параарамідних волокон.

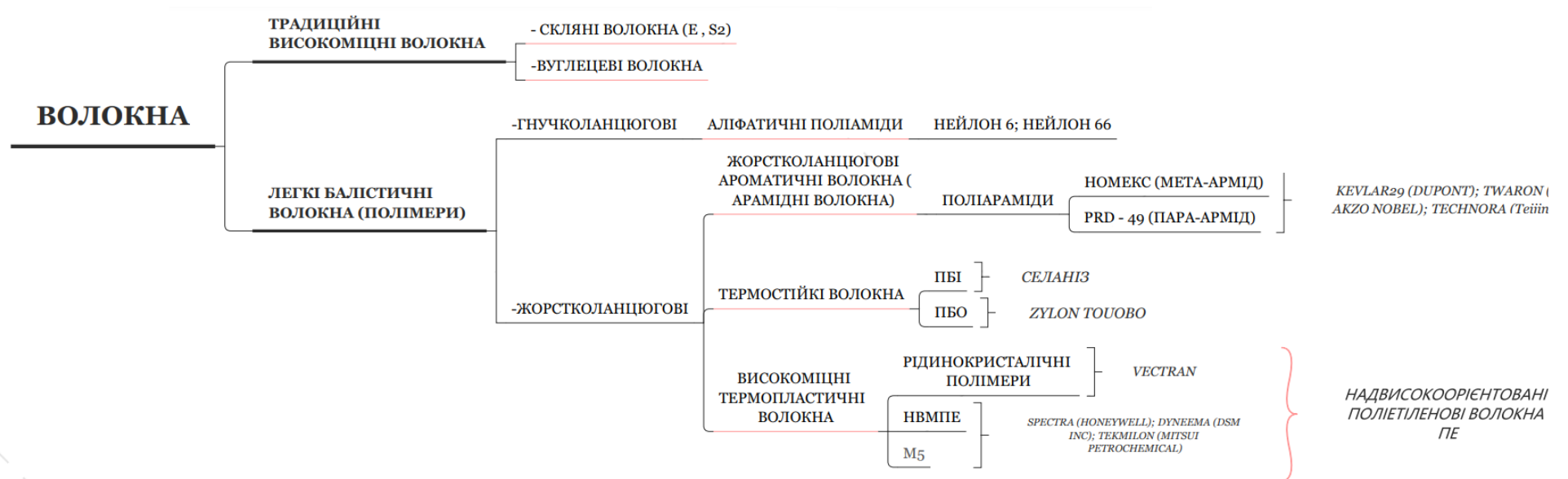


Рис. 6.1. Загальна класифікація синтетичних волокон

Короткі історичні відомості про синтетичні волокна

При перших спробах створити легкий бронезахист використовували **шовк**. Проте через високу вартість шовку даний вид бронезахисту не отримав широкого розповсюдження.

Хоча **шовкові волокна** дуже міцні і їх питома міцність при розтязі, тобто відношення міцності до ваги, досягає 5 г/денсьє, до справжньої революції в створенні легкої броні призвела поява синтетичних **полімерних волокон**. Питома міцність **нейлону**, який широко використовували під час в'єтнамської війни, була 8 г/денсьє. Подальша розробка нових волокон дозволила створити спочатку **Kevlar** з питомою міцністю 26 г/денсьє, а потім і волокна **Spectra** з питомою міцністю 35 г/денсьє.

У природі зустрічаються і більш міцні волокна. Наприклад, **павутина** має навіть більшу питому міцність, але робити її промислово не вдається. Хіміки продовжують розробляти економічні способи синтезу і виробництва високоміцних волокон. Наприклад, поява вуглецевих нанотрубок може бути одним з найбільш ефективних напрямків отримання таких матеріалів.

Границя міцності характеризує стійкість матеріалу до балістичного удару, що приводить до появи напружень. Напруження визначають діленням прикладеної сили на поперечний переріз зразка. Границя міцності визначають як напруження, при якому відбувається руйнування матеріалу. Зазвичай його виражають в Н/м² (Па) або Н/см². Чим вище ця характеристика, тим вище міцність. Для руйнування волокон їх потрібно подовжити, і мірою подовження є деформація, що визначається як відношення величини подовження до вихідної довжини волокна.

Kevlar49 є високоміцним волокном, що складається з ароматичних полімерних молекул (поліарамід часто скорочують до арамід). Волокна отримують, розчиняючи арамід в спеціальному розчиннику і витягаючи розчин через отвір малого діаметру (філь'єра). Розчинник видавлюється з полімеру і утворюється волокно, питома міцність якого приблизно в п'ять разів вище, ніж у сталі. Поліарамід був синтезований компанією DuPont в 1960 р, але волокна на його основі отримали лише в 1965 р, коли хімік цієї компанії Стефані Кволек знайшла для нього ефективний розчинник. Фірма DuPont виробляє свої волокна під торговою маркою Kevlar.

Приблизно в той же самий час фахівці **Akzo Inc.**, що розташовується в Нідерландах, також знайшли розчинник поліараміда і зареєстрували патент на виготовлення волокна, який пізніше (в 1984 г.) назвали **Twaron**.

Волокна **Kevlar** почали використовувати замість сталевого дроту при виготовленні радіальних шин, а потім їх почали застосовувати і в засобах індивідуального бронезахисту. При нагріванні волокна Kevlar не плавляться, але розкладаються (**процес піролізу**). При збільшенні температури їх міцність дещо знижується, але залишається досить високою і при підвищених температурах, що дозволяє робити з них корпус твердопаливних ракет.

Spectra - це торгова марка синтетичних високомодульних поліетиленових (НВМПЕ) волокон, що випускається фірмою Honeywell, американська фірма. Особливостями цих волокон є низька вага, висока міцність, ударостійкість, стійкість до дії вологи і хімічно активних речовин, а також до стирання.

Волокна **Spectra** почали виробляти в 1985 р, і їх перше успішне комерційне застосування складалося у виготовленні тросів, які до цього робили зі сталі. Потім з них почали робити стійкі до порізів рукавички.

Для отримання м'якої броні з волокон **Spectra** роблять тканину і гнучкий поперечно орієнтований композиційний матеріал, званий **Spectra Shield**, що з'явився в 1988 р. З препрегів **Spectra Shield** роблять також каски, захисні покриття антен радарів, гідролокатори і інші вироби.

Волокна **Spectra** отримують методом гельформоутворення. Довгі молекули поліетилену, що містять від 70000 до 350000 вуглецевих атомів, розчиняють при підвищеній температурі і пропускають через найтонші отвори (фільтра). Волокна охолоджують, витягають, сушать і намотують на котушки. У процесі формування молекули поліетилену орієнтуються уздовж осі волокна.

Волокна з високомодульного поліетилену були впроваджені в середині 1980 - х рр., а волокна ПБО - в кінці 1990 - х рр.

Технології виробництва волокон різних торгових марок одного сімейства дещо різняться, але їх хімічний склад, фізичні, механічні та протибалистичні властивості дуже близькі.

6.3. Традиційні високоміцні волокна

Унікальність високоміцних матеріалів, на відміну від стандартних синтетичних волокон, в тому, що їх модуль пружності і границя міцності при розтязі значно вищі, а подовження при розриві волокна нижче. Протибалистичним волокнам властива стійкість до дії хімічних речовин, розчинників і мастильних матеріалів.

Скляні волокна - найстаріші і найбільш відомі високоміцні волокна. На частку склопластиків припадає понад 94% ПКМ, що випускаються в

світі. Це пояснюється їх відносною дешевизною і універсальністю властивостей (низька щільність у порівнянні з металами, висока міцність при розтязі і при стисканні, термо- і хімічна стійкість, високі діелектричні властивості). Склояні волокна не дуже негнучкі і не дуже підходять для виготовлення тканин.

Скловолокна мають гірші механічні властивості, але зате вони найдешевші з усіх протибалістичних волокон. В броні використовують два види скловолокна (**E** і **S2** волокна). Механічні і балістичні властивості S2 - волокон близькі до арамідних, але вони трохи дешевше. У багатьох випадках вибір типу скловолокна обумовлений вимогами до жорсткості, складності форми і вологостійкості матеріалу. При використанні без кераміки балістичні характеристики склопластику близькі до сталі, однак жорсткість нижча, а вартість вища табл. 6.1.

Таблиця 6.1. Властивості скляних волокон

Властивості	УП Росія	ВМП	Е США	S	Т Японія
Густина, кг/м ³	2470	2560	2540	2490	2490
Модуль пружності, ГПа	85	95	74	87	86
Подовження при руйнуванні, %	5,6	4,8	4,7	5,4	5,1
Коефіцієнт лінійного теплового розширення КТР·10 ⁷ , 1/град	26	35	51	29	28
Діелектрична проникність (стала) при 10 ⁷ Гц ²³⁺³	5,18	5,93	6,23	5,21	5,20
Тангенс кута діелектричних втрат при 10 ¹⁰ Гц	0,008	0,010	0,011	0,007	0,026

Що стосується керамічної броні, то сталь або алюміній часто є більш привабливими підкладками, ніж менш жорсткий склопластик. Оскільки жорстка підкладка покращує балістичні властивості кераміки, композити не завжди є оптимальним матеріалом.

Проте, склопластики все ще застосовуються для посилення керамічних бронепанелей, оскільки їм легко надати складну форму, вони

дозволяють знизити вагу і спростити конструкцію броні в порівнянні з тонкими звареними металевими листами.

З вуглецевих волокон роблять високоміцні і жорсткі композити (табл. 6.2.). Це електропровідні, тепло- і хімічностійкі текстильні матеріали. Фізичні властивості визначаються ступенем карбонізації та орієнтації площини, в якій лежать атоми вуглецю. Вуглецеві волокна роблять з особливо чистого штучного шовку або високоякісних поліакрилових волокон (ПАН), а також рідинокристалічних пекових волокон.

Таблиця 6.2. Фізико-механічні властивості вуглецевих волокон на основі ПАН-волокна

Тип волокна	Марка волокна (фірма - виробник)		Міцність ГПа	Модуль пружності ГПа	Гранична деформація %
Надвисокоміцні	T1000	(Торей)	7,20	300	2,4
	T800		5,70	300	1,90
Високомодульні та ультрависокомодульні	JM-600X	(Тохо Рейон)	5,70	300	1,90
	M40	(Торей)	2,80	400	0,60
	M50		2,50	500	0,50
	M55J		3,70	560	0,70
	NM-45	(Тохо Рейон)	2,20	450	0,48
	NM-40		3,00	400	0,80
	NM-50	(Когосима	2,80	500	0,56
	NM-55	Сэкию)	2,90	550	0,53
	NM-60		3,00	600	0,50
	NM-80		3,24	785	0,40

В якості вихідної сировини для отримання вуглецевих волокон використовують віскозні і поліакрилонітрильні волокна, а також нафтові і кам'яновугільні пеки. Досягнення високої міцності цих ниток обумовлено усуненням мікро- і макродефектів в вихідному волокні шляхом ретельного очищення прядильних розчинів, а також отриманням при карбонізації рівномірної структури по всьому поперечному перерізу волокна, зокрема, за рахунок зменшення його діаметра. В даний час

спостерігається тенденція відходу від круглої форми перетину волокон, її змінюють на зірчасту, плоску, серповидну.

6.4. Легкі балістичні волокна (високоорієнтований поліетилен)

Популярність легкої броні на основі волокнистих матеріалів виникла на початку 1970 - х рр. Протягом перших п'ятнадцяти років справа обмежувалася лише кількома видами волокон. Вони дозволили забезпечити задовільний рівень балістичного захисту, який підвищився після появи технології формування під тиском при підвищеній температурі.

Полімери можна армувати майже будь-якими волокнами. Для балістичного захисту використовують склопластики і органопластики на основі високоміцних арамідних або поліетиленових волокон.

Одним з найбільш перспективних армуючих матеріалів слід вважати волокна на основі високомолекулярного високоорієнтованого поліетилену (ПЕ) (табл. 6.3.).

Таблиця 6.3. Властивості промислових ПЕ – волокон

Марка волокна (фірма - виробник)	Міцність ГПа	Модуль пружності ГПа	Гранична деформація %	Густина кг/м ³
Спектра-900	2,7	124	4,5	960
Спектра-1000 («Еллайд Ко», США)	3,2	177	-	970
Дайнема SK-60	2,7	87	3,5	970
Дайнема SK-60 («ДСМ», Нідерланди)	3,1	100	3,5	970
Текмилон («Мицуи Ко», Японія)	2,5-2,9	100	5,1	960
Еспелен («Тверьхимволокно»)	2,9	130-170	6,0	970

Головна властивість ПЕ-волокон - здатність поглинати енергію при ударних навантаженнях. До **недоліків** ПЕ-волокон слід віднести обмежену температуру експлуатації (90⁰-110⁰С), високу повзучість і горючість, низьку адгезійну міцність при їх взаємодії з традиційними

з'єднувачами. Важливим напрямком досліджень є пошук методів поверхневої обробки волокон.

Гнучколанцюгові полімери

Нейлон є поліамідом, одержуваний з ароматичних кислот і амінів. Нейлон 6 і нейлон 66 мають гнучкий зв'язок між амідними групами (аліфатичні поліаміди) (рис. 6.2, 6.3.).

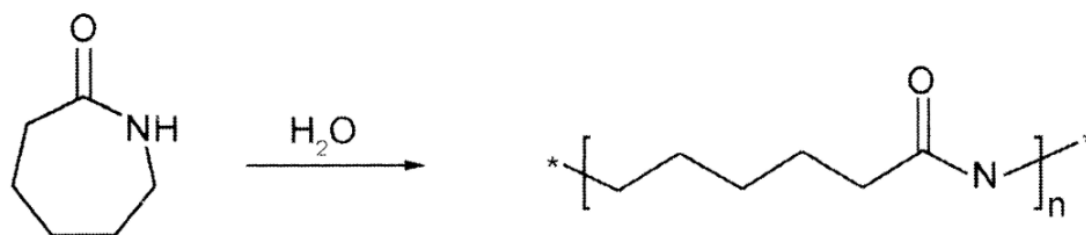


Рис. 6.2. Хімічна структура Нейлона 6

Нейлон має високу питому міцність, і при достатній кількості шарів волокон він здатний зупинити **уламки шрапнелі**. Тому протягом багатьох років його використовували в балістичних стійких матеріалах.

«Згідно з повідомленням Служби головного лікаря армії при бойових випробуваннях нового жилета з нейлону броня зупинила приблизно 65% всіх ударників, 75% уламків і 25% куль стрілецької зброї. У повідомленні також зазначалося, що броня знижувала кількість поранень тулуба на 60-70%, а ступінь тяжкості отриманих поранень завдяки броні була зменшена на 25-25%. »

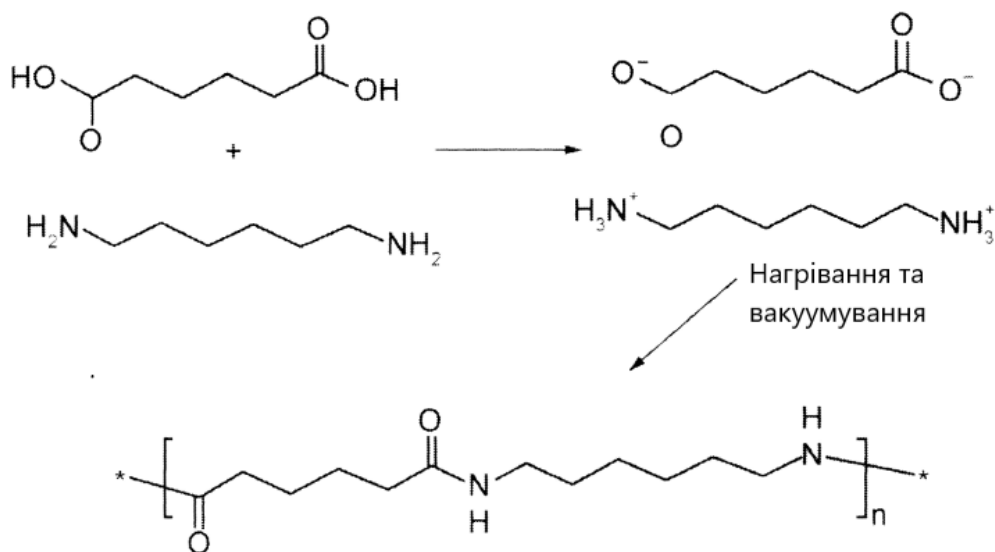


Рис. 6.3. Хімічна структура Нейлона 66

В даний час нейлон для балістичного захисту не використовують, тому що він за своїми характеристиками поступається сучасним волокнам.

Жорстколанцюгові ароматичні волокна

В кінці 1960 - х рр. стався технічний прорив в області полімерів. Вчені фірми Dupont розробили сімейство волокон, які були в **три рази міцніше нейлону** і володіли набагато більш **високим модулем пружності**. Волокна були настільки тонкими, що з них можна було виготовити дуже гнучку і тонку тканину. Нове волокно назвали PRD - 49, а потім його стали поставляти на ринок під торговою маркою Kevlar.

Ці волокна набагато **міцніше** і **легші** скляних волокон. Вони замінили нейлон в гнучкій і жорсткій броні, яка використовувалася правоохоронними відомствами та збройними силами.

Бронежилет з арамідних волокон виявився набагато легше аналогічного жилета з нейлону. Арамід як і нейлон є поліамідом, одержувані з ароматичних кислот і амінів.

Хімічна структура **Номекс** (мета - арамід) - між амідними групами розташоване ароматичне кільце, що додає полімерному ланцюгу жорсткість (рис. 6.4.), перші жорстколанцюгові полімерні волокна.

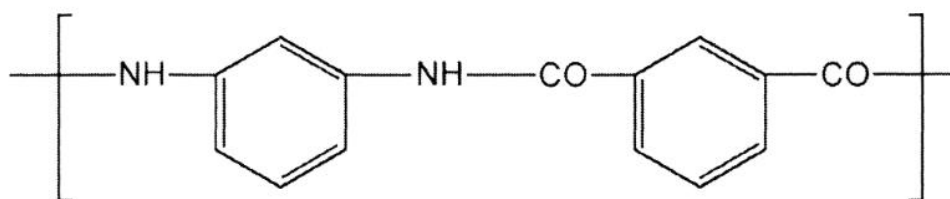


Рис. 6.4. Хімічна структура волокна Номекс

Завдяки стабільності ароматичних кілець і збільшення міцності амідних ланок, завдяки їх зв'язку з ароматичними структурами арамідні мають більш високу міцність і термостійкість, ніж аліфатичні поліаміди (нейлони).

Волокно PRD - 49 є **параарамідом**. Параарамідне волокно (Kevlar і Twaron) засновані на терефталевої кислоті і р-фенілендіамін або поліамінобензойної кислоті (рис. 6.5). Мають більш високу міцність і термостійкість, ніж волокна Номекс.

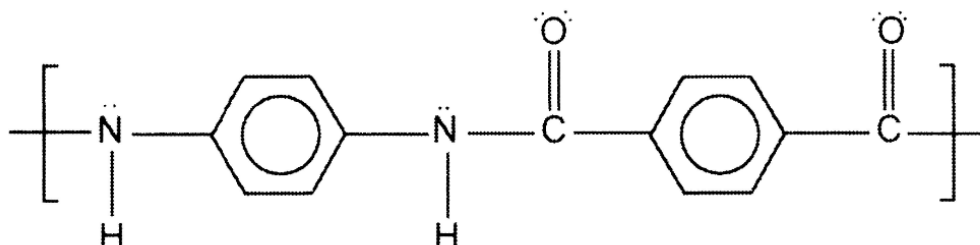


Рис. 6.5. Хімічна структура параарамідних волокон

Пізніше на європейському ринку під торговою маркою **Twaron** з'явилися волокна того ж хімічної будови, вироблені фірмою Akzo Nobel Inc (Нідерланди). Для азіатського ринку японська фірма Teijin Inc виробляти під торговою маркою **Technora** (табл. 6.4.).

Таблиця 6.4. Властивості високоміцних арамідних волокон

Марка волокон	Лінійна густина, текс	Густина, кг/м ³	Міцність, ГПа	Подовження при розриві, %	Модуль пружності, ГПа	Рівноважний вміст води, %
Кевлар 29	22-330	1440	2,9	3,6	60	7,0
Кевлар 129, високоміцний	84-167	1440	3,3	3,6	75	7,0
Кевлар 119, з високим подовженням	-	1440	2,9	4,5	45	7,0
Кевлар 68, з проміжним значенням модуля пружності	158-240	1440	2,9	3,1	90	4,2
Кевлар 49, високомодульний	22-790	1450	2,9	1,9	120	3,5
Кевлар 149, надвисокомодульний	127-158	1470	2,4	1,5	160	1,2
Тварон	42-336	1440	2,8	3,3	80	4,5
Тварон, високомодульний	20-805	1450	2,8	2,0	125	2,5
Технора	22-835	1390	3,0	4,4	70	2,0
Вектран	30-167	1400	2,9-3,3	3,7	75-114	0
СВМ	14,3-1000	1420-1450	3,8-4,2**	2,5-4,0	125-140	4-7
Армос	29,4-1000	1420-1450	4,5-5,2**	2,5-3,5	145-160	3,5-5,0
Терлон	6-600	1450	3,2*	2,0-4,0	100-150	

*При 200С та 65-% відносної вологості повітря

**Міцність в мікропластику

6.5. Жорстколанцюгові волокна

Термостійкі волокна. ПБІ волокна

ПБІ - полібензімідазол є термостійким зв'язаним ароматичним полімером. Причиною високої теплостійкості цих волокон є **ступінчаста структура полімеру** (рис. 6.6.).

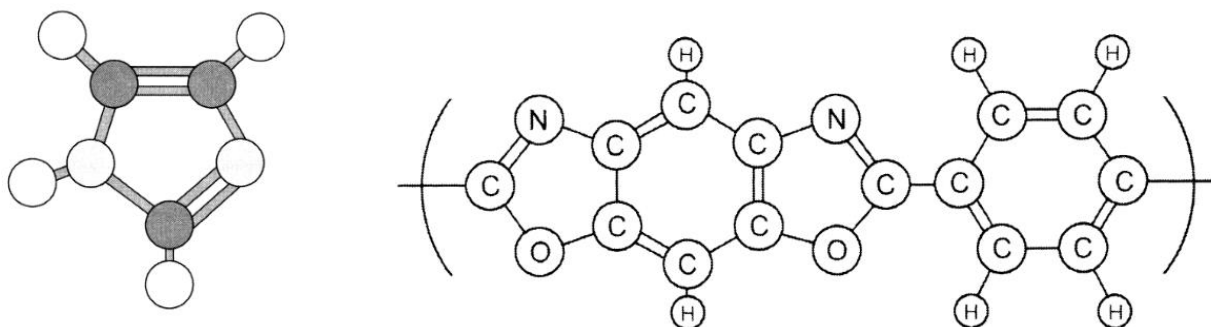


Рис. 6.6. Хімічна структура ПБІ волокна

Полібензімідол був розроблений в 1950 - х рр. У 1960 - х рр. компанія «Селаніз» розробила процес полімеризації теплостійкого полібензімідазола і технологію формування ПБІ волокон. Після пожежі на космічному кораблі «Аполлон» в 1967 р. НАСА співпрацювало з компанією «Селаніз» в питанні розробки текстильних виробів з волокон ПБІ. Виробництво волокон було розпочато в 1983 р ПБІ відрізняється високою вартістю через дорогу сировину і великих виробничих витрат. При високій рівноважної вологості (7-8%) волокон ПБІ мають жовтуватий колір. Тканина з цього волокна на дотик здається м'якою і зручною (через високу рівноважну вологість). Змішування з іншими теплостійкими волокнами, наприклад, арамідними для зменшення вартості або збільшення міцності може розширити область використання ПБІ волокон.

ПБО волокна

Порівняно новий тип високоміцних жорстколанцюгових кристалічних поліволокон. Вельми дорогі і виробляються в обмежених кількостях.

ПБО - поліфенілбензобісозазольніе волокна є теплостійкими полімерами, заснованих на **циклічній ароматичній структурі**. Має дуже

високу границю міцності при розтязі і високий модуль пружності, що дозволяє робити з них армовані пластики. В даний час японська фірма «Тойобо» під торговою маркою Zylon виробляє ПБО волокна з жорстколанцюгових р - поліфенілен - 2,6 – бензобізоксазол (рис. 6.7.).

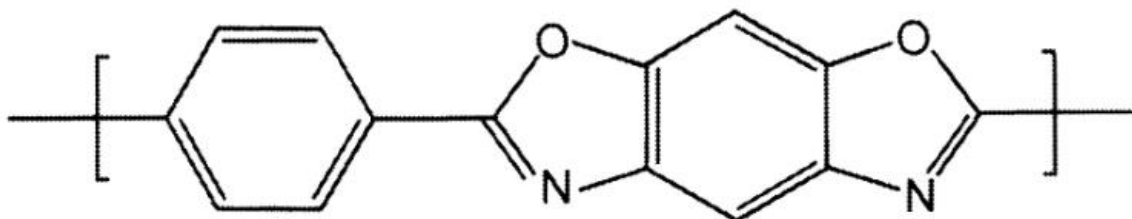


Рис. 6.7. Хімічна структура ПБІ волокна

Властивості ПБО волокон

Міцність при розтязі, модуль пружності, термостійкість і вогнестійкість є чотирма головними фізичними характеристиками ПБО волокон. ПБО є першим органічним волокном, міцність якого (в розрахунку на одиницю перерізу) перевершує сталь і вуглецеве волокно. Теоретичний модуль пружності полімерів був обчислений завдяки недавнім успіхам обчислювальних квантовохімічних методів. Реальний модуль пружності ПБО волокон фірми **Toyobo** становить лише 60% від теоретичного значення кристала ПБО, але модуль пружності деяких волокон високої якості досягає теоретичної границі. Відзначимо, що **ПБО має найвищу теоретичну границю модуля пружності серед всіх лінійних полімерів.**

Термостійкість ПБО приблизно на 100°C вище, ніж у поліарамідів. Вогнестійкість (кисневий індекс) цих волокон несподівано виявився навіть вище, ніж у волокон ПБІ (з кисневим індексом 41), які до розробки

ПБО були найбільш термостійкими волокнами, не кажучи про поліарамідних (кисневий індекс 29).

Термостійкість ПБО волокон

ПБО волокна мають дуже високу термостійкість. Фізичні властивості цих волокон залежать від температури значно **слабше**, ніж у інших органічних волокон. **Модуль пружності** не проявляє суттєвого зменшення навіть при високих температурах, і при 400°C спостерігається лише 20% - ве зниження модуля пружності. При високих температурах міцність цих волокон також вище, ніж у поліараміда. При 500°C їх міцність при розтягуванні дорівнює 15 г/деньє.

Таблиця. 6.5. Властивості ПБО волокон

Параметр	Одиниці вимірювання	ПБО - AS	ПБО-НМ
Лінійна щільність волокон		1,5	1,5
Густина	г/см ³	1,5	1,5
Міцність при розтязі	г/деньє	42	42
	ГПа	5,8	5,8
Модуль пружності	г/деньє	1300	2000
	ГПа	180	280
Відносне подовження	%	3,5	2,5
Поглинання води	%	2,0	0,6
Температура деструкції	°C	650	650

Інші властивості

Рівноважна вологість ПБО волокон дуже **низька**. При температурі 25°C і відносній вологості повітря 65% рівноважний вміст води дорівнює 0,6 мас.% у волокнах марки ПБО-НМ і 2,0 мас.% у волокнах ПБО-AS. Стабільність розмірів при зміні вологості і температури також дуже висока. Швидкість повзучості цих волокон при однаковому прикладеному напруженню до границі міцності приблизно вдвічі нижче, ніж у Кевлара. Хімічна стійкість до дії органічних розчинників і лугів чудова, і втрати міцності при цьому не спостерігається. По стійкості забарвлення ПБО перевершують інші високоефективні органічні волокна. ПБО волокна не

настільки стійкі до дії кислот, як до дії лугів, але все ж більш стійкі, ніж поліараміди.

Високоміцні термопластичні волокна.

Рідинокристалічні полімери

Волокна з рідинокристалічних (РК) полімерів формують з розплаву при високій температурі (рис. 6.8.). Єдиним комерційно доступним волокном є **Vectran**, яке формується з розплаву полімеру. Волокна Vectran легкі і мають виключно високу міцність і жорсткість, що робить їх дуже хорошою альтернативою сталі. При однаковій масі волокна Vectran в п'ять разів міцніший за сталь.

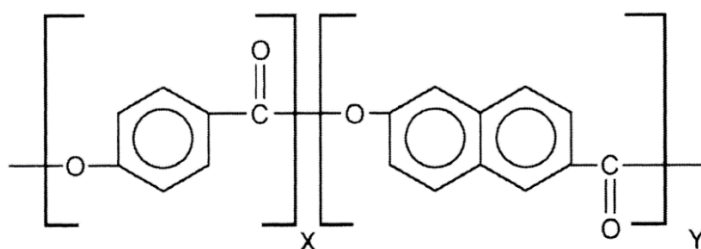


Рис. 6.8. Хімічна структура рідкокристалічного волокна

Форма поперечного перерізу волокон ідеальна для отримання з високотемпературних фільтрів. Щоб збільшити міцність тканини, їх іноді змішують з арамідними або іншими високоміцними волокнами.

НВМПЕ - надвисокомолекулярні поліетиленові волокна

Фірма **Honeywell** випустила на ринок волокна під торговою маркою **Spectra**, на європейському ринку голландська фірма DSM Inc впровадила волокна Dyneema, а японська фірма Mitsui Petrochemical Inc виробляє волокно Tckmilon для азіатського ринку, які в 10 разів міцніший за сталь, але були легші за воду і володіли **нелінійними в'язкопружними**

властивостями. Практично не піддаються впливу різноманітних хімічних реагентів, з якими можуть зіштовхнутися. Вперше бронепластины з формованого НВМПЕ були застосовані французькими збройними силами в Боснії. Властивості НВМПЕ волокон дозволяють створювати броню з поверхневою щільністю 15 кг/м², здатну зупинити кулю гвинтівки М80.

НВМПЕ - надвисокомолекулярний поліетилен, з якого методом гельформування можна отримати сильно орієнтовані волокна (рис. 6.9.). Ці волокна мають високу міцність, хімічну стійкість, хорошу зносостійкість і малу вагу. НВМПЕ легше води, тому канати з такого матеріалу плавають. При однаковій масі НВМПЕ волокна торгової марки Spectra в десять разів міцніший за сталь. Основними **недоліками** цих волокон є погана термостійкість, обумовлена відносно низькою температурою плавлення поліетилену, і повзучістю під навантаженням.

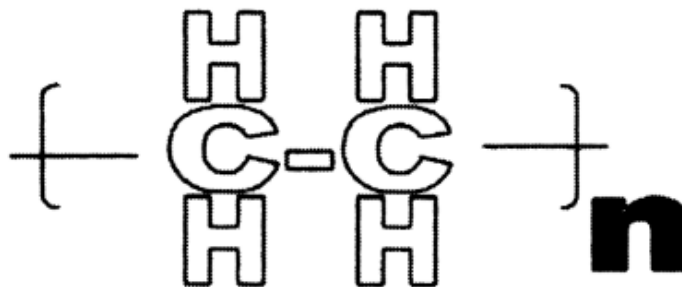


Рис. 6.9. Хімічна структура НВМПЕ волокна

Волокна складаються з дуже довгих лінійних молекулярних ланцюгів, паралельна орієнтація яких дозволяє отримати полімер з високим ступенем кристалічності. Мають дуже низьку щільність і високу питому міцність, в 15 разів перевищує питому міцність сталі.

Недоліки поліетиленових волокон обумовлені їх термопластною природою, що виявляється при підвищених температурах. Було виявлено,

що після зберігання волокон при підвищених температурах їх характеристики при кімнатній температурі кілька змінюються.

Волокна М5

Полі (2,6 - діімідазо [4,5-b4'5'-e] пірідінілен - 1,4 (2,5 - дигідрокси) - фенілен) (ППД) - перспективний серйозний конкурент на ринку протибалістичного захисту (рис. 6.10). Волокно розробляється фірмою Magellan Systems International, але у відкритому продажі його ще немає.

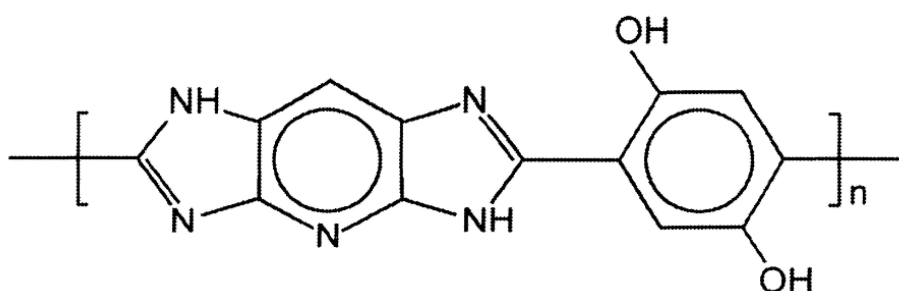


Рис. 6.10. Хімічна структура волокна М5

Перші випробування в Солдатському центрі Natick армії США показали велику ймовірність успішного впровадження цього високоміцного волокна.

6.5. Властивості волокон

Наявна технологія виробництва волокон різних торгових марок одного сімейства дещо різниться, їх хімічний склад, фізичні, механічні та протибалістичні властивості дуже близькі (табл. 6.6-6.8).

Таблиця 6.6. Властивості високоміцних протибалістичних волокон

Властивості	НВМПЕ		Арамідні		ПБО	
	900	1000	НМ	ВМ	НМ	ВМ
Міцність, г/деньє	30	35	22	26	42	42
Модуль пружності, г/деньє	1400	2000	488	976	1300	2000
Подовження, %	3,5	2,7	3,6	2,8	3,5	2,5
Густина, г/см ³	0,97	0,97	1,44	1,44	1,54	1,56

НМ – низькомодульні, ВМ - високомодульні

Таблиця 6.7. Пружні властивості волокон протибалістичного призначення

Тип волокна	Густина, г/см ³	Міцність при розтязі г/деньє	МПа	Деформація при руйнуванні, %	Модуль пружності г/деньє	МПа
Нейлон-66	1,14	10	1006	18,2	45	5
Кевлар-29	1,44	22	2794	3,5	525	67
Кевлар-129	1,44	27	3429	3,3	755	96
Кевлар-KM2	1,44	27	3429	4,3	500	64
Spectra-900	0,97	31	2610	3,6	920	79
Spectra-1000	0,97	38	3250	2,9	1320	113
Spectra-2000	0,97	41	3510	2,9	1450	124
Zylon-AS	1,54	43	5800	3,5	1325	180
Zylon-HM	1,56	42	5800	2,5	1962	270

Таблиця 6.8. Фізико-механічні властивості волокон

Марка матеріалу (країна)	Густина, кг/м ³	Міцність при розтязі, МПа	Подовження при руйнуванні, %	Модуль пружності, ГПа
Параарамідні волокна				
Армос (РФ)	1450	5000-5500	3,5-4,6	140-142
СВМ (РФ)	1430	3800-4200	4,0-4,5	120-135
Терлон (РФ)	1450	3100	2-3,5	100-150
Кевлар-29 (США)	1440	2920	3,6	69-77
Кевлар-129 (США)	1440	3200	3,6	75-98
Тварон (Нідерланди)	1440	2800	3,3-3,5	80-120
Технора (Японія)	1390	3000-3400	4,2	71-83
Поліетіленові волокна				
Спектра-900 (США)	960	2700	4,5	124
Спектра1000 (США)	970	3200	-	177
Дайнема SK-60 (Нідерланди)	970	2700	3,5	87
Дайнема SK-66 (Нідерланди)	970	3100	3,5	100
Текмилон (Японія)	960	250-2900	5,1	100
Еспелен (РФ)	970	2900	6,0	130-170

Існує різкий стрибок механічних властивостей при переході від частково кристалічних волокон **нейлон 66**, які отримують формуванням з розплаву, до **Кевлара 29**, який є першим рідинокристалічним жорстколанцюговим полімерним волокном. Варіація фізичних властивостей **Кевлар, Spectra і Zylon** обумовлена в основному різницею умови їх витягування та високотемпературної термообробки після формування. При цьому змінюється морфологія кристалічної структури і молекулярна орієнтація полімеру, яка сильно впливає на механічні властивості, наприклад, модуль пружності і подовження при розриві.

Кевлар 29 був розроблений на початку 1970-х рр, з них почали робити протибалистичні бронежилети і каски. **Кевлар 129** з'явився в кінці 1980 - х рр. і випускався у вигляді ниток з меншою лінійною щільністю для збільшення гнучкості і комфорту. Його використовувати для зупинки 9-мм пістолетних куль з суцільнометалевою оболонкою. Зараз в протибалистичних матеріалах використовують волокна **Кевлар марки КМ2**. З цих волокон роблять бронежилет **«Перехоплювач»** Збройних сил США.

Перше покоління волокон **Twaron Standart** з'явилося в 1986 р. Останнім поколінням є волокна **Twaron CT Microfilament**. Це дуже тонкі волокна, і при однаковій вазі нитки складаються з удвічі більшої кількості моноволокон, ніж аналогічні нитки, що випускалися раніше (лінійна щільність 930 текс складається з 1000 волокон). При використанні цих волокон вага броні зменшується на 41% в порівнянні з еквівалентною бронею на основі волокон Twaron Standart.

#додакові_факти

Пластмаси: різноманітні, корисні, проблемні

Пластмаси - це велика група синтетичних (чи напівсинтетичних) органічних матеріалів, об'єднаних спільною властивістю - **пластичністю**. Синтез пластмас починається з мономерів, простих молекул, які можуть поєднуватися в довгі ланцюги чи гілки полімерів. Два основні мономер, етилен і пропілен, утворюються за допомогою **парового крекінгу** (нагрівання до 750-950°C) вуглеводневої сировини. Подальші процеси синтезу теж живляться енергією вуглеводів.

Для деяких поширених полімеризаційних реакцій (процесів конвертації простіших (мономерних) молекул у довгі тривимірні мережі) маса вихідного матеріалу ненабагато відрізняється від маси сировини: з

1,03 одиниці етилену виходить 1 одиниця поліетилену низької густини (використовується найчастіше для виробництва пакетів). Та сама пропорція під час перетворення вінілхлориду на полівінілхлорид (ПВХ, поширений у медпрепаратах). Гнучкість пластмас дає можливість надавати їм різної форми за допомогою лиття, тиску чи пресування - і їхня форма справді варіюється від тонкої плівки до надмірних труб і від легких пляшок до масивних і тривких сміттєвих контейнерів.

Лідером світового виробництва стали **термопластмаси** - полімери, які швидко м'якшають від нагрівання й знову тверднуть від охолодження. Понад 20% пластикових полімерів, вироблених у світі, - це поліетилен (ПЕ) високої й низької щільності, близько 15% - поліпропілен (ПП) і ще приблизно 10% - полівінілхлорид (ПВХ). Пластмаси, які не м'якшають від нагрівання, називаються тремореактивними. До них зараховують поліуретан, полііміди, меланін і сечовинний формальдегід.

У деяких **термопластмас** низька питома густина (легкість) поєднується з досить високою твердістю (тривкістю). Тривкий алюміній лише втричі легший від вуглецевої сталі, тоді як ПВХ більш ніж уп'ятеро, а ПП - аж увосьмеро. Ще один факт: розривний опір прокатної сталі - 400 мегапаскалів, а полістирену - 100, себто двічі більший, ніж у деревини чи скла, і лише на 10% менший, ніж в алюмінію.

Саме завдяки поєднанню легкості й тривалості термопластмаси стали ідеальним матеріалом для міцних труб і фланців, протиковзких поверхонь і хімічних цистерн. Термопластичні полімери знайшли широке застосування в інтер'єрах та екстер'єрах автівок (поліпропіленові бампери, полівінілхлоридні панелі й деталі, полікарбонаті скельця фар), легкі вогнетривкі чи жаростійкі термопластмаси (полікарбонати, суміші ПВХ/акрилу) стають основою для інтер'єрів сучасних літаків, а різні види

вуглепластику (композитного матеріалу) нині використовують для будівництва корпусів літаків. Boeing 787 був першим літаком, сконструйованим переважно з композитних матеріалів: вони становили 89% об'єму і 50 % маси, причому 20% становив алюміній, 15% - титан і 10% - сталь.

Перші пластмаси - передусім целулоїд, виготовлений із нітрату целюлози та камфори (аж до 1950-х був надзвичайно вогненебезпечною опорою всієї кіноіндустрії) - виготовлялися малими партіями вже в останні тридцять років XIX століття. Перший термореактивний матеріал (що плавився за температури 150-160°C) винайшов 1907 року Лео Гендрік Бакеланд, бельгійський хімік, який працював у Нью-Йорку. Його компанія General Bakelite Company, заснована 1910-го, стала першим промисловим виробником пластмас, з яких відливалися різні деталі й прилади - від електроізоляторів до чорних дискових телефонів. У роки Другої світової з тамтешніх пластмас робили деталі легкої зброї. 1908 року Жакет Бранденбергер винайшов целофан.

У міжвоєнні роки настав час першого масштабного синтезу ПВХ, який уперше було виготовлено ще 1838-го, але ніколи не використовувано поза лабораторіями. Американська компанія DuPont, британська Imperial Chemical Industries (ICI) та німецька IG Farben профінансували дуже успішні дослідження нових пластичних матеріалів. Перед початком Другої світової ці дослідження уможливили комерційне виробництво ацетону целюлози (нині з нього роблять гігроскопічні тканини й серветки), неопрену (синтетична гума), поліестеру (тканини й обивка), поліметил метакрилату (він же плексиглас, що нині став іще популярнішим через пандемічний попит на щитки й розділювачі). Нейлон виробляють із 1938-го (першим комерційними продуктами із цього матеріалу стали панчохи й щетина зубних щіток, а сьогодні його

використовують скрізь - від рибальських сітей до парашутів), і того ж таки року, як уже зазначалося, настав час тефлону, повсюдного антипригарного покриття. Доступне виробництво стирену теж почалося в 1930-х, а нині його зазвичай використовують як полістирен (ПС) - для пакування і одноразового посуду.

Компанія IG Farben представила світові поліуретани в 1937-му (поролон, ізоляція); ICI під дуже високим тиском синтезувала поліетилен (пакування, ізоляція) й почала виробництво метилметакрилату (клеї, лакофарбові матеріали) в 1933-му. Поліетилентерефталат (ПЕТ), що з 1970-х став прокляттям планети через викинуті пляшки з-під напоїв, було запатентовано в 1941-му. Масове його виробництво почалося через 10 років, а пекельну ПЕТ-пляшку запатентували 1973-го. Серед найславетніших повоєнних нововведень можна згадати полікарбонати (оптичні лінзи, вікна й палітурки), поліімід (медичні трубки), рідкокристалічні полімери (передусім електроніка), а також відомі торговельні марки від DuPont, що вже стали загальними назвами: тайвек (Tyvek, 1955), лайкра (Lycra, 1959) і кевлар (Kevlar, 1971). До кінця XX століття на світовому ринку було вже 50 різновидів пластмас, і це нове розмаїття разом зі збільшенням попиту на найпопулярніші сполуки (ПЕ, ПП, ПВХ і ПЕТ) привело до стрімкого зростання їхньої популярності.

1925 року в усьому світі вироблялося лише 20000 т пластмас. 1950-го ця цифра зросла до 2 мільйонів, 2000-го - до 150 мільйонів, а у 2019-му вже близько 730 мільйонів тон. Найлегше досягнути повсюдності пластмас у нашому повсякденні, звернувши увагу, як часто їх торкаються наші руки й тіла, бачать очі й відчувають ноги. Без них справді не можна уявити жодного дня. Клавіші вашого ноутбука і бездротову мишку під правою долонею зроблено з акрилонітрил-бутадієн-стиролу. Сидите на обертовому кріслі, оббитому поліестеровою тканиною, а його

нейлонові коліщатка впираються в захисний полікарбонатний килимок, що лежить на поліестеровому килимі.

Промисловість, яка почалася з виготовлення невеликих деталей (першою з них була ручка важеля коробки передач у «ролс-ройсі» 1916 року) й розмаїтих предметів домашнього вжитку, широко розсунула межі цих двох комерційних ніш (найперше - завдяки побутовій електроніці, де щороку з'являється кілька мільярдів нових приладів із пластмасовими елементами) і знайшла для пластмас нові масові застосування - від автомобільних корпусів та інтер'єрів літаків до труб великого діаметра.

Але справді незамінними пластмаси стали в медицині, зокрема стаціонарному лікуванні інфекційних хвороб. Життя сучасної людини починається (у пологовому будинку) й закінчується (у реанімації) серед пластмасових предметів. Пластмасовими бувають не лише невеликі деталі: підлоги, міжкімнатні перегородки, стильні кахлі, двері й віконні рами теж бувають пластмасовими. Ті, хто не повністю розумів роль пластмас у сучасній охороні здоров'я, змінили думку завдяки коронавірусу. Уроки пандемії були жорсткі й нерідко драматичні: коли американському та європейському медперсоналу забракло індивідуальних засобів захисту (одноразових рукавичок, масок, щитків, шапочок, халатів і бахіл), уряди почали змагатися за право першими отримати літак з обмеженими (і дуже переоціненими) партіями цих товарів, вироблених у Китаї, куди західні виробники, гнані бажанням зекономити, перемістили виробничі потужності, створивши небезпечний, але цілком уникний дефіцит.

Пластмасове лікарняне обладнання передусім виготовлено з різних типів полівінілхлориду. Саме з нього зроблено гнучкі трубки (для годування пацієнтів, постачання кисню і спостереження за тиском),

катетери, контейнери для внутрішньовенного введення розчинів, мішечки для крові, стерильні упакування, різноманітні таці й чаші, качки для справляння потреб і бічні поручні ліжок, термоковдри й незліченне лабораторне обладнання. Полівінілхлорид - основний компонент більш ніж чверті всієї медичної продукції. У сучасних будинках його можна знайти в рулонній покрівлі для стін і дахів, віконних рамах, жалюзі, шлангах, ізоляції дротів, електронних компонентах, дедалі ширшому асортименті офісного обладнання, іграшках - і банківських картках, які допомагають купити все вищезгадане.

Останнім часом нас почала більше турбувати забрудненість пластиком суші, океану, прибережних вод і пляжів. Безвідповідальне смітіння - не аргумент проти належного використання розмаїтих і часто справді незамінних синтетичних матеріалів. Що ж стосується мікрОВОЛОКОН, то, на противагу поширеному хибному переконанню, в океанічній воді вони з'являються зовсім не внаслідок зношування синтетичних тканин. Дві третини світового виробництва тканин ґрунтуються на використанні полімерів, але аналіз морських мікрОВОЛОКОННИХ зразків показав, що переважно (у 90% випадків) це волокна природного походження.

7. Структура нитки. Способи отримання ниток.

7.1. Характеристика ниток

7.2. Характеристика волокна

7.3. Способи отримання ниток

7.4. Формування арамідних волокон

7.5. Гельформування НВМПЕ волокон

7.6. ПБО волокна

7.1. Характеристика ниток

Волокна виробляють у вигляді ниток, які намотують на катушки деякого діаметра. Нитки складаються з сотень і навіть тисяч дуже тонких волокон. З них можна робити тканини або поперечно орієнтовані препреги. Нитка є елементарним складовим елементом тканини. Майже у всіх протибалістичних матеріалах використовують в якості елементарного компонента комплексні нитки, а не окремі волокна.

Комплексна нитка - текстильний термін, що описує групу волокон, з яких отримують тканину.

Розмір нитки визначається відношенням маси (або ваги) до довжини нитки.

Найбільш звична кількісна характеристика перерізу нитки є:

- лінійна щільність, яка вимірюється в одиницях **деньє**, що визначається як маса нитки довжиною 9000 м в грамах. Ці одиниці використовують виробники штучних волокон;

- лінійна щільність, яка вимірюється в одиницях **текс**, що визначається як маса нитки довжиною 1000 м в грамах. Ці одиниці використовують наукове співтовариство ($1\text{текс} = 9\text{деньє}$).

Щоб отримати волокна з високими модулем пружності і міцністю при розтязі, необхідно виконати принаймні **три вимоги**:

1. Полімерні молекули повинні бути орієнтовані строго в напрямку осі волокна;
2. Молекулярна маса і довжина молекулярного ланцюга повинні бути дуже великими;
3. Волокно має мати високий ступінь кристалічності і не повинно мати дефектів.

7.2. Характеристика волокон

Перед виготовленням тканини волокна зазвичай скручують, і певна частка волокон виявляється пошкодженою (рис. 7.1.).

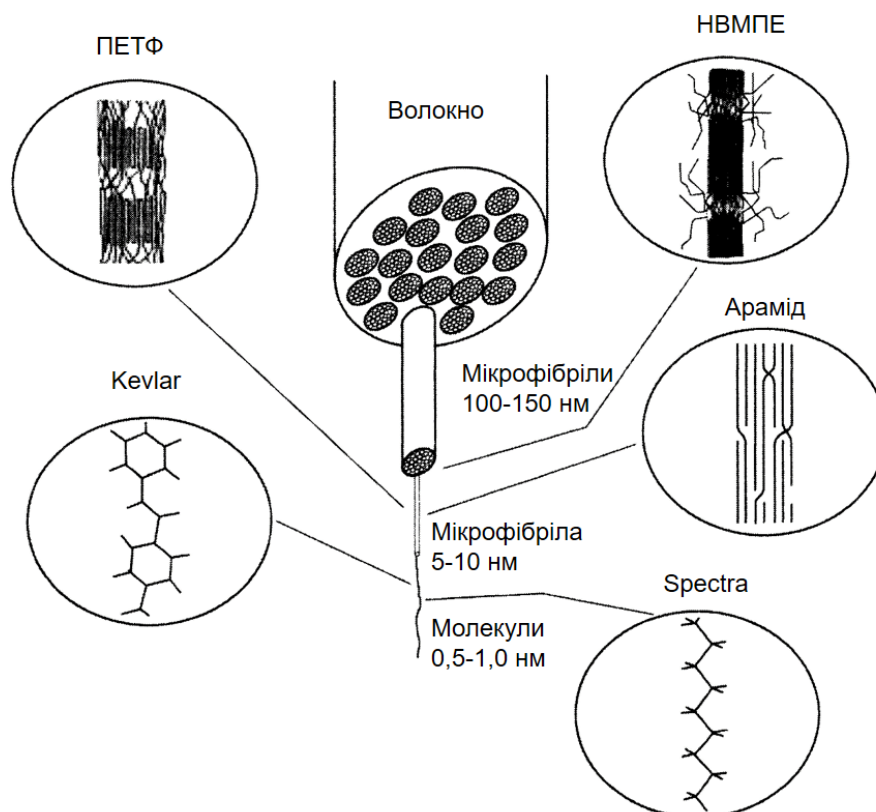


Рис. 7.1. Структура волокна

Зазвичай волокна скручують ще до отримання тканини. Крутка нитки **зменшує** ступінь сплутаності волокон, що дозволяє зберегти їх фізичні властивості. Однак **в крученій нитці зменшується кількість окремих волокон, що контактують з кулею.**

Наукові дослідження по легким бронематеріалам спрямовані на розробку волокон, яким можна надати єдину орієнтацію, уникають скручування волокон і зменшуючи вигин при ткацтві.

Унікальні властивості високоміцних протибалістичних волокон обумовлені особливостями полімерів, з яких вони виготовлені, а також методами їх прядіння. Властивості волокон визначаються орієнтацією полімерних молекул уздовж осі волокна. Процес їх виробництва визначає мікроскопічну структуру і орієнтацію полімерного ланцюга вздовж осі волокна. **Технологія виготовлення волокон ґрунтується на формуванні під тиском при підвищеній температурі.**

Характеристики будь-якого волокнистого матеріалу залежать перш за все від того, чи є волокна безперервними або ж штапельними (тобто короткими, рубаними). Волокна цих типів легко відрізнити по їх довжині. У нитках з безперервних волокон довжина кожного моноволокна дорівнює довжині всієї нитки.

Штучні нитки можна поділити на штучні нитки з натуральної сировини типу ацетатних, скляних, штучного шовку, і на чисто синтетичні типу поліефірних, поліамідних, поліолефінових.

Висока стійкість до згину - здатність витримувати без руйнування дуже різкі перегини. Завдяки малим поперечним перерізам волокон (5...15мкм) напруження, що виникають в периферійних областях волокна при згині, не досягають граничних значень, що відповідають показниками міцності.

$$\sigma = E \cdot e = E \cdot \frac{d}{2R}, \quad (7.1.)$$

де d - діаметр волокна, R - радіус згину.

Зі зменшення радіуса згину напруження різко зростають, в результаті чого волокна не витримують малих радіусів згину. При зтягуванні вузла волокна можуть крихко руйнуватися, тому міцність визначають на розтяг в вузлі або петлі.

Поздовжня швидкість пружних хвиль в волокнах:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho_m}} = 9...10 \text{ км/год}. \quad (7.2.)$$

Поєднання високого модуля і відносно низької щільності полімеру призводить до дуже високих значень поздовжньої швидкості пружних волокон, що забезпечують швидке перетворення кінетичної енергії кулі в роботу деформування досить великого обсягу захисного матеріалу, що визначає ефективність текстильної броні.

Приклад: волокно М5 - $\rho = 1,72 / \text{см}^3$, $E = 330 \text{ ГПа}$, границя міцності – 4,5 ГПа, подовження при розриві 1,5%.

Визначення умовного діаметру нитки:

$$d_{\text{ум}} = 0,0357 \sqrt{\frac{\text{текс}}{\rho_m}}, \quad (7.3.)$$

де ρ_m - густина.

Розмірність

Густина волокон: $\text{сН} / \text{текс}$ - сантіньютон/текс, $1 \text{гс} [\text{грам} - \text{сила}] = 0,1 \text{сН}$,
 $1 \text{МПа} = 0,1 / \rho_m [\text{сН} / \text{текс}] = 0,102 / \rho_m [\text{гс} / \text{текс}] = 0,102 [\text{кгс} / \text{мм}^2] = 0,0113 / \rho_m [\text{гс} / \text{деньє}]$.

7.3. Способи отримання волокон

Методи виробництва ниток, які визначають особливості текстильного виробництва, **розрізняються** типом волокна, що використовують:

1. Формування з рідинокристалічного стану;
2. Метод гель – формування;

Перший спосіб полягає в отриманні високоорієнтованих структур з жорстколанцюгових стрижньоутворюючих молекул з відносно низькою молекулярною масою, прикладом є арамідні або рідинокристалічні полімери (рис. 7.2.). Рідинокристалічні полімери мають структуру проміжну між кристалічною і аморфною, макромолекули укладені в строго орієнтованому порядку. З такого полімеру можна сформувати волокно і збільшити його молекулярну масу шляхом відпалу або додаткового витягування.

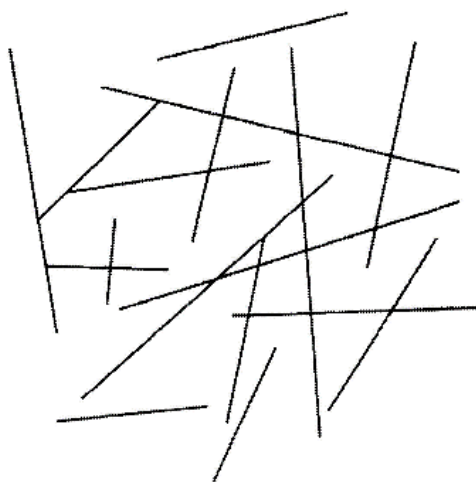


Рис. 7.2. Хаотична орієнтація молекул жорстколанцюгових полімерів

Другий спосіб полягає в використанні полімеру з надвисокою молекулярною масою і гнучким довгим ланцюгом, прикладом є формуванням волокон з надвисокомолекулярного поліетилену (рис. 7.3.). Так як з розплаву НВМПЕ сформувати волокно не вдається (**полімер має занадто високу в'язкість і не тече навіть при дуже високих**

температурах), волокна формують з розведеного розчину концентрацією від 2 до 30%. У розбавленому розчині НВМПЕ полімерний ланцюг «розмотується» і утворює **гелеобразну сітку**. Методом гел'формування отримують волокна з слабкозв'язанною сіткою довгих молекулярних ланцюгів. Після цього волокна для збільшення механічних характеристик піддають додатковій орієнтації витягування. Ці процеси будуть ілюструватися нижче на прикладі високоефективних НВМПЕ волокон типу Spectra і Dyneema.



Рис. 7.3. Клубки гнучколанцюгових полімерних волокон

7.4. Формування арамідних волокон

Метод формування волокон з орієнтованих жорстколанцюгових полімерів **заснований** на орієнтації молекул при течії через фільтр і її подальшому подовженні. Арамідні волокна формуються з розчину. Арамідне волокно засноване на **р-фенілентерефталаміде** (ПФТФ). Процес полімеризації проходить **за механізмом поліконденсації**. ПФТФ не розчиняється **у звичайних розчинниках**, але можна розчинити в концентрованій сірчаній кислоті.

Ступінь впорядкованості молекул поліараміда в розчині **залежить** від його концентрації. При збільшенні концентрації полімеру від 5 до 12% в'язкість розчину збільшується.

При подальшому збільшенні концентрації полімерних молекул у формі стрижнів переходять в **нематичний стан** з високим ступенем орієнтації. В результаті, в'язкість розчину знижується. При подовженні в процесі течії при формуванні волокон з анізотропного розчину молекули полімеру орієнтуються уздовж осі течії, що створює орієнтацію волокна.

Нематичні рідкі кристали або **нематики** ("нема" - грецькою нитка) — оптично одновісні рідкі кристали, мають дальній орієнтаційний порядок, вільні в переміщенні. Характеризуються наявністю мікроструктур у вигляді ниток, кінці яких або вільні, або зв'язані зі стінкою посудини, в якій перебуває речовина, що вивчається. Орієнтація осей молекул в цих кристалах паралельна, однак вони не утворюють окремих шарів. Довгі осі молекул лежать вздовж ліній, паралельних певному напрямку, а їхні центри розташовані хаотично. Нематичні рідкі кристали називають також нематиками.

Анізотропний розчин ПФТФ проходить через повітряний проміжок в коагуляційну ванну. Після коагуляції полімеру нитку промивають і висушують (рис. 7.4.).

Коагуляція – фізико-хімічний процес злипання маленьких частинок дисперсних систем в більш крупніші під впливом сил зчеплення з утворенням коагуляційних структур.

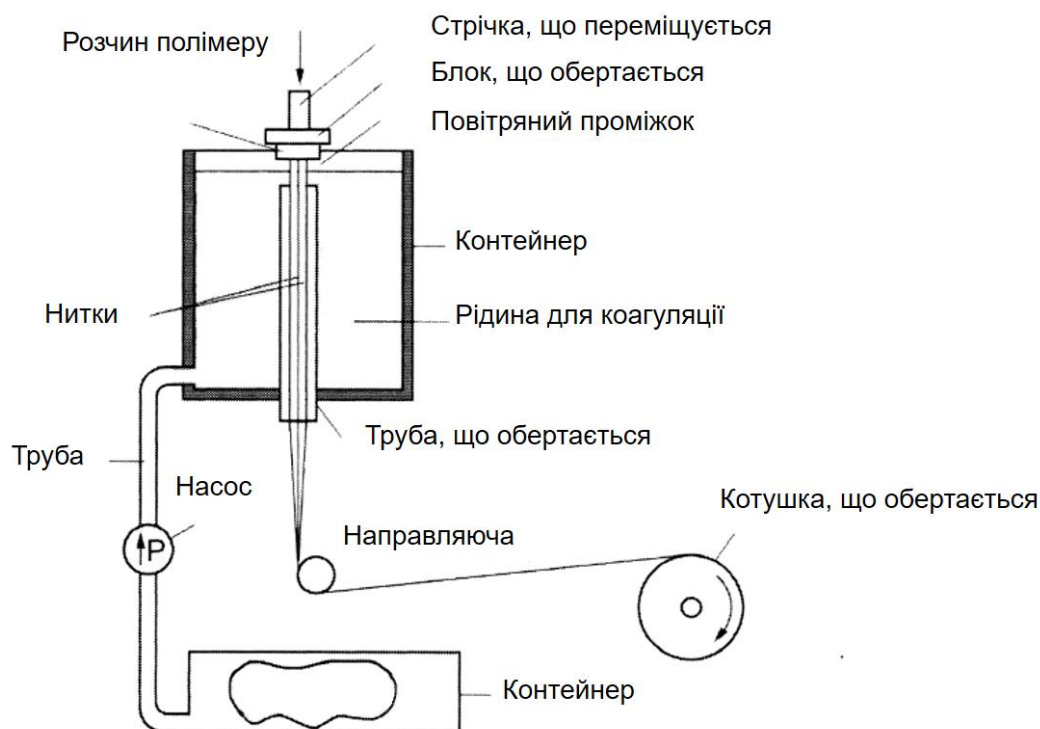


Рис. 7.4. Схема процесу формування арамідних волокон

Дезорієнтація молекул після виходу з капіляру зводиться до мінімального подовження течії в повітряному проміжку і в коагуляційній ванні, де вона перетворюється в високоорієнтоване кристалічне волокно (рис. 7.5.). Щоб збільшити модуль пружності волокна, його потім піддають високотемпературній обробці під розтягучим напруженням (табл. 7.1.). Швидкість прийому волокна на бобіну може досягати 50 м/с.

Матеріали здатні поглинати пар. Видиме поглинання пари з повітря припиняється при досягненні рівноваги між вологим-повітрям і вологим матеріалом. При рівновазі тиск насиченої пари над поверхнею вологої плівки в матеріалі виявляється рівним **парціальному тиску** водяної пари в навколишньому вологому повітрі. Зміст вологи в матеріалі в стані рівноваги набуває постійного значення, яке називають **рівноважна гігроскопічна вологість або рівноважна вологість матеріалу**. Матеріали, що мають значну рівноважну вологість, називаються

гігроскопічними. Рівноважну вологість матеріалів визначають дослідним шляхом після витримки (протягом 1 доби) зразків в атмосфері вологого повітря різної встановленої вологості. Результати дослідів зображуються графічно у вигляді кривих рівноважної вологості або ізотерм **сорбції** вологи, оскільки процес сорбції зазвичай досліджується при постійній температурі.

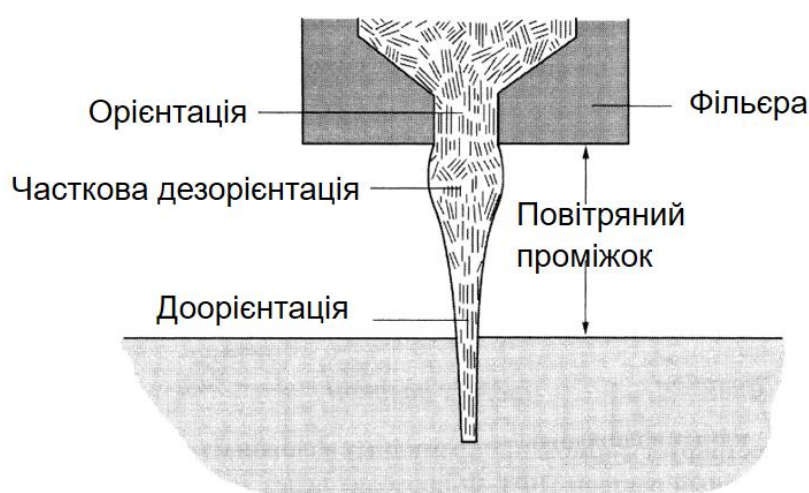


Рис. 7.5. Орієнтація молекул в фільєрі завдяки подовженню та течії розчину

Таблиця 7.1. Властивості арамідних волокон

Властивості нитки	Противалістичне волокно	Високомодульне волокно
Міцність при розтязі г/деньє Kpsi	23,0-26,5 420-485	18,0-26,5 340-420
Модуль пружності г/деньє Mpsi	550-750 10,3-14	950-1100 17,4-21
Відносне подовження, %	3,6-4,4	1,5-2,8
Густина, г/см ³	1,44	1,44
Рівноважна вологість % при 25°C	6	1,5-4,3

PSI - фунт-сила на квадратний дюйм (фунт-сила/дюйм², psi).

Визначення

Парціальний тиск (від лат. *partialis* — частковий) — внесок газу певного роду в загальний тиск суміші газів і відповідає тиску, під

яким перебував би газ, що входить до складу газової суміші, коли б він один займав об'єм, рівний об'ємові суміші при тій самій температурі.

Рівноважна вологість (РВ) гігроскопічного матеріалу, оточеного хоча б частково повітрям, - це вміст вологи, при якому матеріал не набирає і не втрачає вологу. Значення РВ залежить від матеріалу та відносної вологості та температури повітря, з яким воно контактує. Швидкість, з якою вона настає, залежить від властивостей матеріалу, співвідношення поверхні та площі до об'єму його форми та швидкості, з якою волога переноситься або назустріч матеріалу (наприклад, дифузія застійного повітря чи конвекція в повітря, що рухається).

Сорбція (від лат. *Sorbeo* — поглинаю) — захоплення газу, пари або розчинених речовин твердим тілом чи рідиною. Тіло, що поглинає називається сорбентом, а речовина, котра поглинається ним — сорбатом (або сорбтивом).

Структура і морфологія арамідних волокон

Рідині полімери мають структуру проміжну між кристалічною та аморфною. Макромолекули укладено в строго орієнтованому порядку.

Арамідне волокно має впорядковану кристалічну структуру. Методом висококутової рентгенівської дифракції не виявляється **аморфного гало**, що вказує на високу ступінь кристалічності полімеру. При цьому спостерігається пара кілець в екваторіальній площині, що вказує, що волокно може містити кілька відсотків неорієнтованих кристалітів. Розглянемо мікро - і макроструктури арамідних волокон.

Фібрилярна структура волокна. Складчасті структури.

У поляризаційному мікроскопі в арамідному волокні спостерігаються унікальні поперечні смуги (рис. 7.6.). Якщо волокно

розтягнуті, ці полоси стають тоншими. Це спостереження привело до гіпотези, що арамідне волокно має складчасту структуру. Причина виникнення складчастої шаруватої структури в арамідних волокнах до кінця не зрозуміла і зараз.

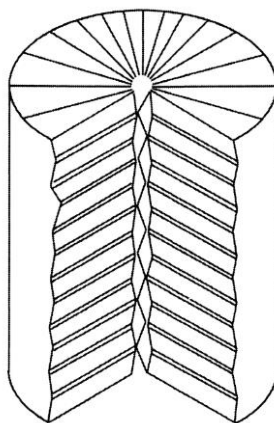


Рис. 7.6. Модель складчастої структури арамідного волокна

Для пояснення причини утворення складчастої структури було припущено, що при коагуляції спочатку формується поверхневий шар волокна, який і несе розтягуючі напруження. Це дозволяє «ядру» волокна скинути з себе напруження, в результаті чого в ньому формуються регулярні складки. **Складчаста структура** надає волокну здатність до значного подовження. Це може бути причиною зменшення товщини поперечних смуг в волокні Kevlar коли діють напруження.

Арамідне волокно легко фібрилізується під дією сил тертя, особливо якщо вони діють перпендикулярно осі волокна. Фактично, легко фібрилізуються майже всі високоорієнтовані волокна (наприклад, Spectra). Це обумовлено тим, що макромолекули утримуються разом лише вандерваальсовими або водневими зв'язками. Силовими елементами цих волокон є окремі фібрили, тоді як в звичайних волокнах силовими елементами є молекулярні ланцюги. Поперечний розмір фібрил дорівнює приблизно 600нм, а довжина досягає декількох сантиметрів (рис. 7.7.).

Морфологія і орієнтація арамідних волокон

На рис. 7.8. показана мікрофібрила, на якій прямі лінії зображують полімерні ПФТФ молекули. Деякі з них мають кінці і вигини. Ці дефекти є слабкими точками структури волокна. Деякі ПФТФ молекули проходять через аморфні дефектні області, поєднуючи високоміцні мікрокристаліти. Сітка «проходять» молекул, яка забезпечує високу міцність волокна.

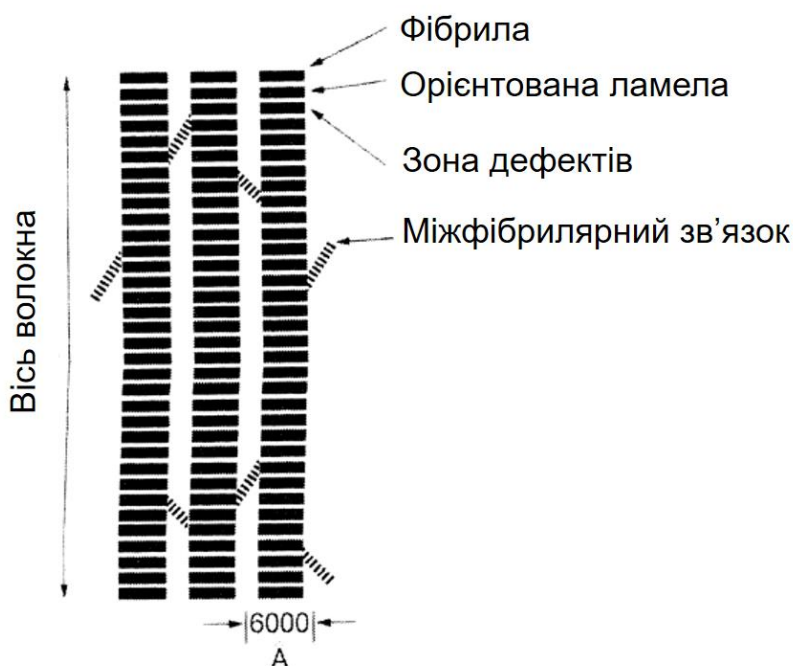


Рис. 7.7. Модель фібрилярної структури арамідного волокна

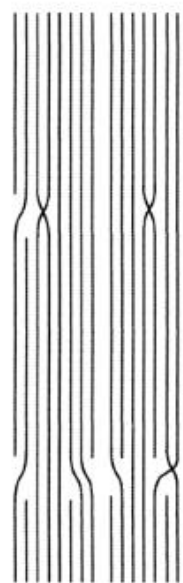


Рис. 7.8. Модель кристалічної структури арамідного волокна

Руйнування арамідного волокна при розтязі супроводжується його інтенсивною фібрилізацією, тобто утворенням тонкофібрилярної «сітки». Цей тип руйнування відображає високовпорядковану поперечну структуру волокна (рис. 7.9.-7.10.).

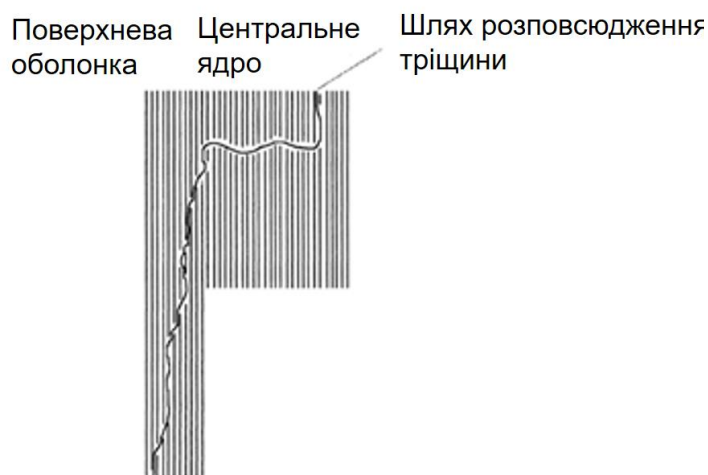


Рис. 7.9. Розповсюдження тріщини в волокні

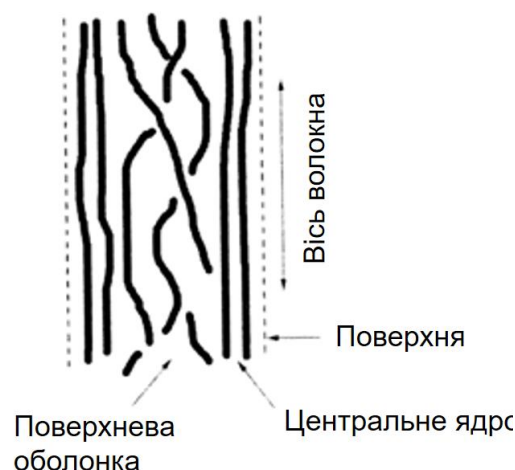


Рис. 7.10. Оболонка і ядро волокна

7.5. Гельформування НВМПЕ волокон

Процес створення високоефективних НВМПЕ волокон з дуже довгих гнучких поліетиленових молекул є другим способом формування волокон. Хоча хімічна структура НВМПЕ ідентична звичайному поліетилену високої щільності (ПЕОМ), тобто найпоширенішому технічному полімеру, з розплаву волокна сформувати **не вдається** через надмірно високу в'язкість. Крім того, через дуже сильну сплутаність гнучких полімерних молекул орієнтаційне витягування високоміцних НВМПЕ волокон практично неможливе навіть при дуже малій швидкості розтягування.

Отримати високоміцні НВМПЕ волокна дозволяє **процес гельформування**. Полімер, що складається з дуже довгих, гнучких і заплутаних молекул, розчиняють в розчиннику до концентрації **2-15%** (залежно від молекулярної маси) і ретельно перемішують в екструдері або іншому пристрої для змішування (рис. 7.11).



Рис. 7.11. Модель процесу гелюформування волокон

У розчині молекули розплутуються і формують вільно зв'язану гелеутворюючу сітку. Потім гель продавлюється через фільєру, як при звичайному формуванні волокон з розплаву. Після охолодження гелеутвореного волокна його можна дуже сильно витягнути, в результаті чого утворюються високоорієнтовані високоміцні волокна (рис. 7.12-7.13). Розчинник для НВМПЕ може бути легколетучим чи ні, але принцип гелюформування залишається тим же.

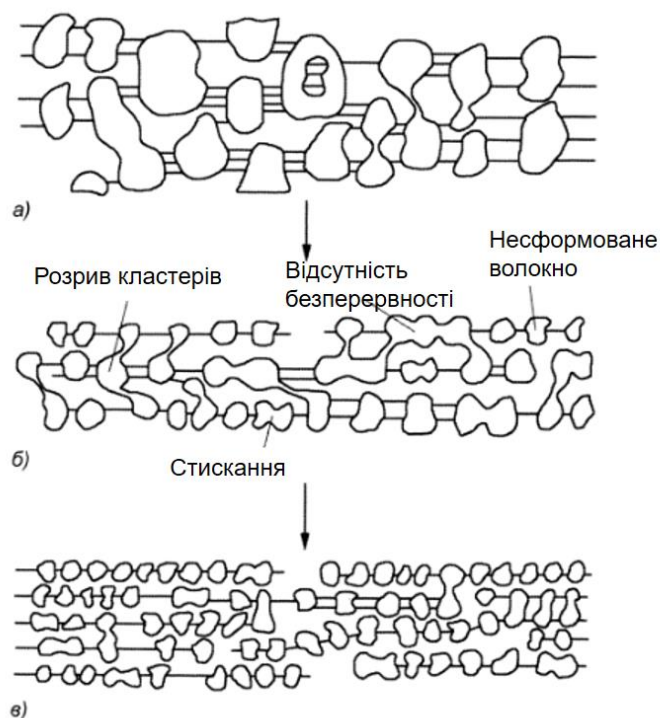


Рис. 7.12. Стадії деформування гелеутворюючого волокна

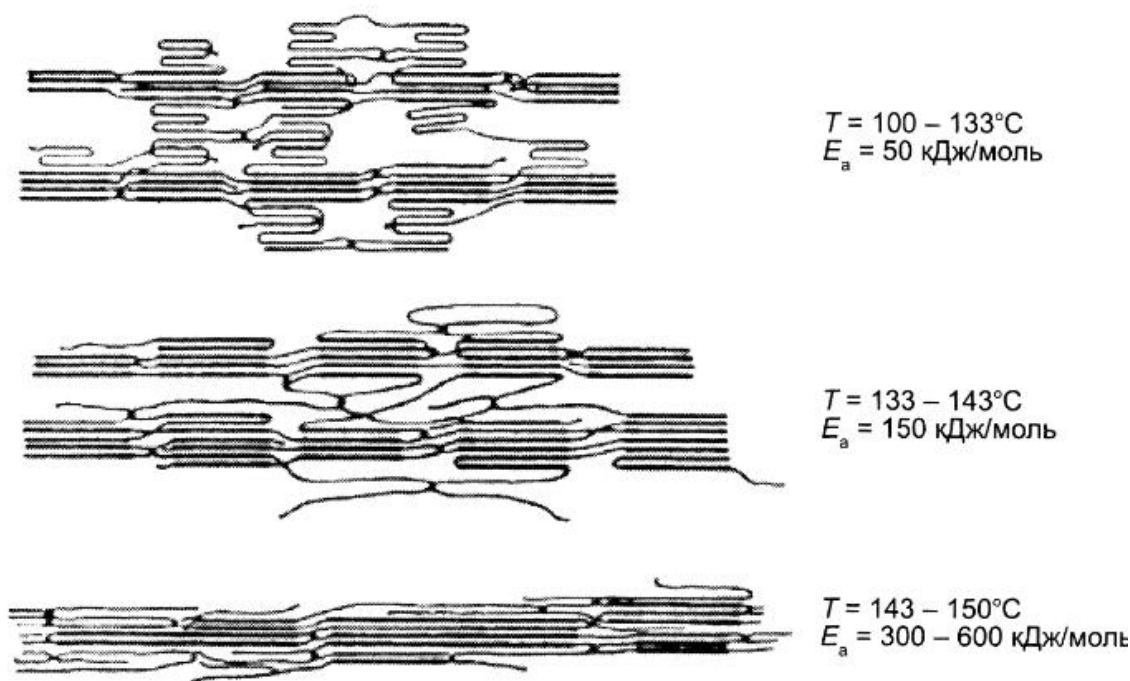


Рис. 7.13. Механізм деформування НВМПЕ при гарячому витягуванні

Морфологія НВМПЕ волокна

Як і у арамідних волокон, структура високоміцних НВМПЕ волокон має макро- і мікрорівні. Мікрофібрили витягнуті уздовж волокна (рис. 7.14).

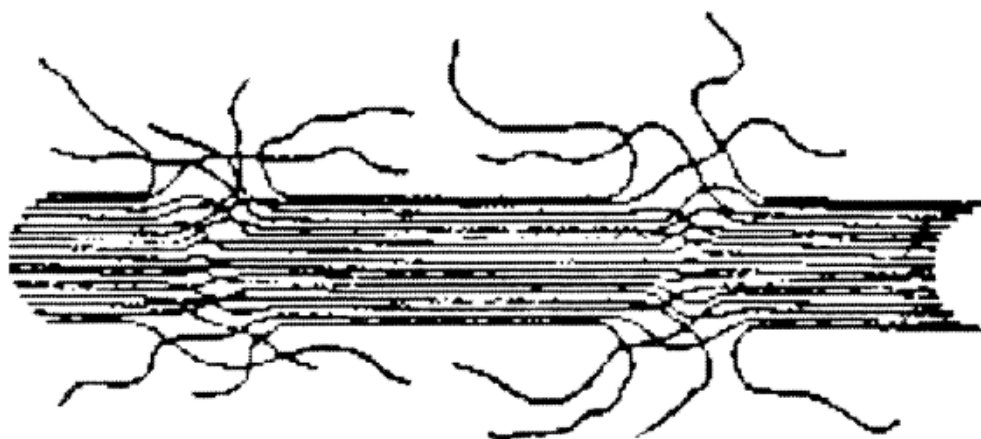


Рис. 7.14. Микрофібрила НВМПЕ волокна

Вони складаються з майже ідеальних кристалітів, що перемежуються відносно малими аморфними областями (рис. 7.15).

Мікрофібрилярна структура волокна далека від ідеальної. Таким чином, хоча питома міцність НВМПЕ волокон і перевищує міцність сталі в десять разів, вона все ще далека від теоретичної міцності ковалентних С-С зв'язків.



Рис. 7.15. Модель структури НВМПЕ мікрофібрили

Очевидно, що збільшення кількості «прохідних» молекул в аморфній області повинно призводити до зростання міцності і модуля пружності полімеру. Це означає, що є потенціал подальшого підвищення властивостей НВМПЕ волокон.

Оскільки між мікрофібрилами речовина знаходиться в аморфному стані, структуру волокна можна уявити, як композит, що складається з майже ідеально орієнтованих кристалічних мікрофібрил в аморфній матриці. Ця модель аналогічна описаній вище моделі арамідного волокна. Відмінність полягає в тому, що в арамідному волокні міжфібрилярне взаємодія обумовлена водневими зв'язками між поліамідними молекулами. На рис. 7.16 показані чітко розділені аморфні і кристалічні області. Однак є також і прохідні молекули, які з'єднують сусідні кристаліти. Очевидно, що збільшення кількості «прохідних» молекул повинно призводити до зростання міцності і стабільності розмірів НВМПЕ волокна.

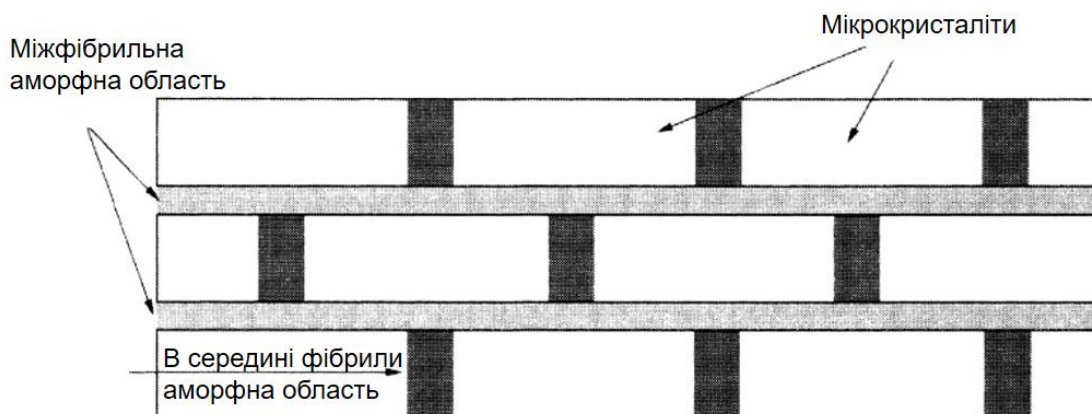


Рис. 7.16. Модель структури високоміцної НВМПЕ мікрофібрили

У міру вдосконалення технології гел'формуванням властивості волокон поступово поліпшуються (табл. 7.2.). В даний час випускаються різні марки волокон Spectra, наприклад S-900, S-1000 і S-2000, а фірма DSM випускає волокна SK 75 і SK76. Волокна останнього покоління поступово зменшується в товщині і в вазі, мають більш високу міцність при розті і модуль пружності.

Таблиця 7.2. Властивості НВМПЕ волокон

Характеристика	Стандартне волокно	Високоміцне волокно
Міцність при розтязі г/деньє ГПа	25,5-30,5 420-485	37,5-41, 3,21-3,61
Модуль пружності г/деньє ГПа	775-920 66-79	1320-1450 113-124 1
Відносне подовження, %	3,6-4,4	,9-3,6
Густина, г/см ³	0,97	0,97

7.6. ПБО волокна

Висока міцність ПБО волокон обумовлена стрижньоподібною формою полімерного ланцюга, що ускладнює формування волокон з цього полімеру. З цієї причини на розробку технології формування ПБО волокон витрачено багато часу. У 1991 р компанія Dow Chemical почала працювати над цією проблемою спільно з компанією Toybo. Їх робота

привела до створення унікальної технології формування, що відкрила шлях до промислового виробництва ПБО волокон.

Компанія Тоубо отримала ліцензію від Dow Chemical і продовжила подальший розвиток технології. Експериментальна установка з виробництва ПБО волокон була запущена на початку 1995 р, а промислове виробництво почалося в 1998 р.

Полімеризація і формування

ПБО полімеризується з діамінорескоцінол дигідрохлориду і терефталевої кислоти в поліфосфорній кислоті. Потім з прядильного розчину полімеру в фосфорній кислоті формують волокно. Формування структури волокна відбувається під час поділу фаз в процесі коагуляції полімеру. Коли видавлений з фільтри нематичний розчин жорстколанцюгових молекул стикається з коагулянтном, утворюється набрякла мікрОВОЛОКНИСТА сітка. В процесі коагуляції з неї видавлюється розчинник і формується щільна ВОЛОКНИСТА структура. Потім коагульоване волокно промивають і висушують.

Відразу після формування міцність при розтязі ПБО волокон може перевищувати 5,7ГПа, а модуль пружності - 175 ГПа. Після термообробки при 600⁰С модуль пружності зростає до 275 ГПа, а міцність при цьому не знижується.

Мікрофібрили і пори

Вивчення поверхні руйнування ПБО волокон в растровому електронному мікроскопі показує, що волокно складається з набору фібрил діаметром від 10 до 50нм. При вивченні структури цим методом потрібно проявляти обережність, оскільки в процесі розриву волокна можуть утворюватися мікротріщини.

В екваторіальній площині діаграм рентгенівського розсіювання ПБО волокон спостерігається смуга, яка вказує на наявність мікропор, сильно видовжених в напрямку осі волокна. У процесі термообробки ця смуга зникає, і з'являється чотирипелюсткова фігура, що нагадує крила метелика. Аналогічні смуги спостерігаються і на діаграмах розсіювання волокон Kevlar. Цікаво, що ПБО волокна мають більш високу міцність, ніж Kevlar, дають ту ж саму картину розсіювання. Пори є дефектами, що приводять до зменшення границя міцності волокон.

Для оцінки діаметра мікропор в ПБО волокні аналізують профіль інтенсивності екваторіальній лінії малокутового рентгенівського розсіювання (Муррей). Після поправки на фон логарифм інтенсивності будують в залежності від квадрата вектору розсіювання. Ця залежність має вигляд прямої лінії.

Структура ПБО

Структура ПБО волокон формується в процесі коагуляції, промивання та висушування. Сформовані волокна мають фібрилярну структуру, а діаметр сильно витягнутих пор дорівнює приблизно 20А. Волокно орієнтоване, про що свідчить метод Фур'є (перетворення діаграм електронного розсіювання волокон).

При формуванні волокон утворюються мікрокристаліти, розмір яких в процесі термообробки збільшується від 100 до 200А. Діаграма малокутового розсіювання тільки сформованого волокна має вигляд чотирипелюсткової структури, яка зникає після термообробки.

ПБО волокна перед висушуванням складаються з мікрофібрилл діаметром приблизно 10-50 нм і великої кількості капілярноподібних мікротріщин. На поверхні волокна пори відсутні. Мікрофібрилами складається з довгих ПБО молекул, орієнтованих уздовж осі волокна.

Методом малокутового рентгенівського розсіювання ступінь орієнтації молекул оцінюється як 0,95. У площині перетину волокна вісь ПБО кристала орієнтується переважно в радіальному напрямку. У разі високомодульних ПБО волокон ступінь орієнтації Ерманна досягає значення 0,99.

8. Тканина. Структура тканини. Види тканин.

8.1. Характеристика балістичних тканин

8.2. Види тканини

8.3. Вибір оптимальної структури переплетіння

8.4. Органопластики на основі арамідних тканин

8.5. НВМПЕ тканини

8.1. Характеристики балістичних тканин

Основною особливістю армованих пластиків є яскраво виражена анізотропія їх механічних властивостей, що визначається орієнтацією волокон в матриці в одному або декількох напрямках. Йдеться про системи армуючих волокон, пов'язаних між собою середовищем - полімерною матрицею. Особливу роль набуває міцність адгезійної взаємодії матриць з поверхнею армуючих волокон.

Головним елементом будь-яких структур армованих пластиків є односпрямований шар, що складається з паралельно орієнтованих армуючих елементів волокон, ниток, джгутів, стрічок і полотен. **Текстильні і ткацькі процеси призводять до помітного зниження міцності волокнистих матеріалів.** Використання тканин виправдано лише технологією і формою виробів, наприклад, при їх подвійній кривизні.

Загальною і важливою майже для всіх видів волокнистих матеріалів характеристикою є дисперсія міцності і довжини волокна в пучку (нитки, джгути, ровінгу), що обумовлено технологією їх формування та отримання. Основним коректним методом оцінки їх фізико-механічних властивостей може служити визначення міцності при розтязі так званого мікропластика, тобто пучка волокон, просочених полімерною матрицею, яка твердіє за заданим режимом.

Корозійна стійкість, вологостійкість, атмосферостійкість, тепло-, звуко- і електроізоляційні властивості полімерного композиційного матеріалу, їх радіопрозорість дозволяє з успіхом використовувати ці матеріали в електротехніці, приладобудуванні, для виготовлення хімічної апаратури, включаючи ємності і труби, в суднобудуванні і транспортному машинобудуванні.

Балістичні характеристики тканого матеріалу залежать від цілого ряду чинників:

- фізичні властивості волокон;
- лінійна щільність (товщина) ниток в напрямку основи і утка;
- ступінь крутіння ниток;
- способу переплетіння ниток в тканині;
- ступеня пошкодження ниток в процесі ткацтва;
- обробка після процесу ткацтва.

З волокон можна зробити односпрямований матеріал або тканину. Малу міцність шару в поперечному напрямку можна компенсувати двома способами. У поперечно орієнтованому композиті волокна укласти в двох напрямках, 0 і 90°, і матеріал дуже міцний уздовж цих осей. Другий спосіб полягає у виготовленні тканини, що дозволяє передати напруження в точках переплетіння ниток.

З найбільш поширених текстильних методів - переплетіння, отримання нетканих матеріалів, нанесення на волокна матриці і отримання багат шарових композитів. Лише в'язання не годиться для виготовлення балістичних стійких матеріалів.

8.2. Види тканини

У виробках протибалістичного призначення волокна використовують як у вигляді нетканих матеріалів, так і у вигляді тканин різного типу. Волокна використовують як окремо, так і в поєднанні з полімерними матрицями. Тканини отримують переплетінням ниток у вигляді дво- або тривимірних структур. Залежно від типу переплетіння ниток тканини **підрозділяють** на полотняні, саржеві, сатинові (атласні) і інші. Тривимірні тканини розрізняються також за типом з'єднання шарів.

Двовимірні тканини

Найбільш часто у виробках протибалістичного призначення використовують двовимірні (2-D) тканини, отримані шляхом переплетіння ниток під кутом 90° . Основними типами переплетіння є полотняне, саржеве і сатинове. Тканина полотняного переплетіння має **найвищу щільність** переплетень, за нею йдуть саржа і потім сатин. Тому стабільність розмірів полотна вище, ніж у тканин іншого переплетіння.

Однак, переплетіння ниток значно **зменшує** ефективність армування в порівнянні з характеристиками односпрямованих композитів. Дослідження впливу типу тканини на її балістичні характеристики привели до думки, що структури **з меншою кількістю переплетень ниток мають більш високі характеристики через менший опір поширенню поздовжньої хвилі розтягування. Було також виявлено, що тканини з більш тонких ниток мають кращі характеристики, ніж тканини з більш товстих ниток.** Це вказує, що недостатньо часте переплетіння може бути подолано збільшенням числа ниток, які протидіють проникненню кулі. Очевидно, ефективне руйнування волокна при балістичному ударі, яке є основним джерелом

дисипації кінетичної енергії, більш імовірно в тканинах з тонких ниток, ніж в разі товстих ниток.

Нижче коротко описані фізичні характеристики типових тканин, які використовують в високоміцних композитах протибалістичного конструкційного призначення.

Найбільш часто використовують **полотняні тканини** (рис. 8.1.). Їх роблять шляхом переплетіння ниток основи і утка по типу «над однією - під однією ниткою». Полотняні тканини **легко** просочуються матрицею. З іншого боку, для заповнення проміжків між нитками такі тканини **вимагають** більше матриці. Крім звичайних кручених ниток в полотняних тканинах використовують некручені нитки у вигляді плоскої стрічки (ровінги), що зменшує товщину тканини. Такі тканини мають максимальну щільність з міцним закріпленням ниток.

Тканини **«кошикове» переплетіння** подібні полотнам, але в них дві нитки по черзі проходять спочатку над двома, а потім під двома перпендикулярними нитками. Такі тканини **більш плоскі і гнучкі**, ніж полотна. Нитки в них менш вигнуті, ніж при полотняному переплетенні. **«Кошикове»** переплетіння часто використовують в разі товстих ниток, з яких роблять важкі тканини.

Саржеве переплетіння (рис. 8.1.) дуже схоже на «кошикове», але в цьому випадку одна, а не дві нитки проходить над двома, а потім під двома нитками. Саржеве переплетіння позначають дробом, в якій в чисельнику стоїть число перекриттів основи, а в знаменнику - число перекриттів утка з боку лицьової поверхні (1/2, 3/1). Саржеве переплетіння 2/2 відповідає випадку, коли нитка проходить над двома, а потім під двома перпендикулярними нитками. Крок переплетіння може бути збільшений. Наприклад, в саржі 4/4 - нитку пропускають спочатку над чотирма, а потім

під чотирма перпендикулярними нитками. Саржеві тканини мають характерні діагональні лінії, які утворюються в результаті переплетіння. Ця оптична ілюзія часто призводить до помилково укладанні шарів саржі під кутом 45° до необхідного напрямку. Саржеві тканини **гнучкіше** полотна, а в порівнянні з сатином чотирьох- або восьмипрядні переплетіння вони **мають** більшу стабільність форми. Саржу часто **використовують** для виготовлення композитів складної форми методами вакуумного формування та ручної викладки. З вуглецевих волокон часто роблять саржеві тканини за їх естетичний зовнішній вигляд.

Переплетіння **«гусяча лапка»** є найбільш простим способом переплетіння в сімействі сатинових тканин. Переплетіння «гусяча лапка» фактично є чотирехпрядним сатином. Тканину виготовляють, пропускаючи нитку під одним, а потім над трьома перпендикулярними нитками, так що нитка проходить спочатку над чотирма, а потім під однією ниткою. Такі тканини часто використовують в авіакосмічній промисловості для виготовлення деталей складної форми з високоміцних і легких композитів.

П'ятепрядне сатинове переплетіння (рис. 8.1.) використовують, якщо вигини ниток небажані. В цьому випадку нитка проходить спочатку над чотирма, а потім під однією ниткою. Такі тканини часто використовують в авіакосмічній промисловості для виготовлення деталей складної форми з високоміцних і легких композитів.

У восьмирядному сатиновому переплетінні нитка спочатку проходить під одним, а потім над сімома перпендикулярними нитками. Такі тканини з тонких скляних ниток часто використовують в авіакосмічній промисловості.

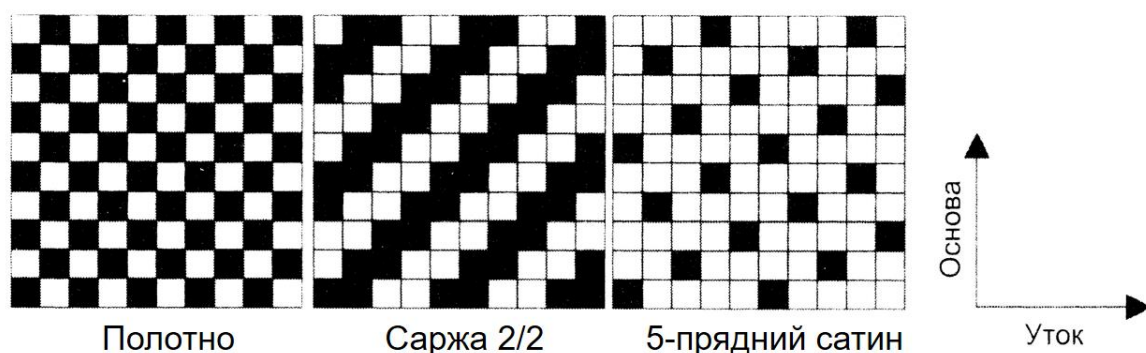


Рис. 8.1. Основні типи переплетіння ниток в тканині

Тривимірні тканини

Тривимірні (3-D) тканини роблять, переплітаючи нитки в трьох напрямках: прямі нитки в двох взаємно перпендикулярних напрямках в площині тканини фіксуються ниткою, яка охоплює їх в третьому напрямку (рис. 8.2.). Існують різні типи 3-D тканин, що розрізняються способом орієнтації ниток. Типовими структурами є **3-D «тасьма»** і **3-D «переплетіння»**. Головна перевага 3-D структур полягає в армуванні матеріалу не тільки в площині, а й у поперечному напрямку, що **усуває розшарування** багатошарових композитів.

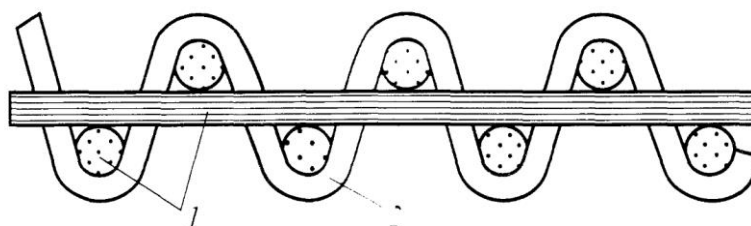


Рис. 8.2. Схема розташування ниток в одношаровій тривимірній тканині

Волокнисті 3-D композити мають відмінну стійкість до пошкоджень при балістичному ударі. З іншого боку, 3-D композити **менш ефективно поглинають енергію удару** в порівнянні з тонкими 2-D тканинами, які використовують в бронежилетах і касках. Це обумовлено або більш

високим вмістом матриці в 3-D композитах, або пригальмовування процесу розшарування цього композиту.

8.3. Вибір оптимальної структури переплетіння

В даний час в протибалістичних виробх найбільш часто **використовують** тканини полотняного і «кошикове» переплетіння, а також односпрямовані неткані матеріали. При визначенні оптимальної структури тканини, розміру нитки і щільності переплетіння потрібно враховувати наявність водовідштовхувального покриття і апрету, що забезпечують хорошу адгезію волокон і матриці і запобігають поглинання вологи.

Апретування (від фр. Apprêter - остаточно обробляти) - просочення текстильних матеріалів або нанесення на них при обробці різних речовин - аппретов (крохмаль, клей, синтетичні смоли і ін.), які надають матеріалами жорсткість, незмиральність, безусадковість, вогнестійкість і інші властивості.

Балістична стійкість тканин залежить від ступеня заповнення її нитками, яка визначається числом ниток основи і утка на умовній довжині тканини - 10см. Поверхнева щільність визначається:

$$m_T [\text{г} / \text{м}^2] = 0,01 \eta_n \cdot (\rho_0 P_0 + \rho_y P_y), \quad (8.1.)$$

де η_n - емпіричний коефіцієнт переплетіння, що враховує звивистість ниток в складі тканини; ρ_0, ρ_y - лінійна густина ниток в напрямку основи і уток; P_0, P_y - кількість ниток по основі та уток.

Міцність тканини на розрив визначається шляхом розтягування смужки тканини шириною $b = 25\text{мм}$, вирізаної з тканини в напрямку основи або утка. Для порівняння міцності тканин, що мають різну

поверхневу щільність, вводять питоме навантаження на розрив $P_{y0} = P_p / (bm_T)$.

При прикладанні зусилля розтягу під кутом до ниток основи і утка міцність тканини виявляється **менше**, ніж при застосуванні навантаження в подовжньому і поперечному напрямках. Подовження при розтязі тканини відбувається за кілька **стадій**. **На початковій стадії** деформування відбувається розпрямлення ниток тканини, розташованих в напрямку навантаження, розтягнення ниток, пов'язані зі зменшенням кутів нахилу волокон спіральної крутки, розпрямлення і ковзання волокон. **На кінцевій стадії** деформування відбувається розтягнення волокон. У тканинах полотняного переплетіння нитки відчують найбільшу кількість перегинів, то при розтязі тканини полотняного переплетіння мають найбільше подовження при інших рівних умовах. Однак зі збільшенням щільності подовження тканини зростає до певної границі, після якого зв'язаність ниток стає настільки великою, що здатність до розтягування зменшується.

8.4. Органопластики на основі арамідних тканин

Одним з переваг тканих матеріалів є їх здатність зупиняти уламки. Арамідні волокна володіють хорошими механічними властивостями (табл. 8.1.-8.2.). Використовують арамідні нитки, що складаються з різної кількості волокон і відповідно мають різну лінійну щільність, починаючи від найбільш тонких і ефективних з показником 400 текс і до 3400 текс, в разі не дуже строгих вимог до ваги броні. Тканини з перпендикулярним переплетінням 0/90° досі **забезпечують максимальну балістичну ефективність**, незважаючи на великі зусилля з розробки більш складних багатовісних тканин.

Таблиця 8.1. Структура тканин на основі волокон Кевлар

Переплетіння	Лінійна густина ниток основахуток	Структура тканини основахуток	Товщина, мм	Вага, г/м ²	Границя міцності кгс/см основахуток
Кевлар-29 и 129					
Полотно	840×840	31×31	0,3048	220,59	161×170
Полотно	1500×1500	24×24	0,4318	319,00	197×214
Полотно	1000×1000	31×31	0,3810	281,67	161×166
Полотно	840×840	26×26	0,2540	196,83	134×143
Полотно	1500×1500	17×17	0,3048	223,98	139×145
Полотно	1420×1420	17×17	0,2794	220,59	152×152
Полотно	1000×1000	22×22	0,2540	281,67	116×130
Полотно	400×400	32×32	0,1524	108,60	80×77
2×2 саржа	1500×1500	35×35	0,5842	468,32	322×325
2×2 саржа	1420×1420	35×35	0,5842	464,93	349×357
Полотно	200×200	40×40	0,1270	71,27	60×58
Полотно	3000×3000	17×17	0,6096	461,53	286×322
8×8 саржа	1500×1500	48×48	0,8128	638,00	393×411
4×4 саржа	3000×3000	21×21	0,7620	546,37	357×357
4×4 саржа	3000×3000	24×24	0,7620	610,85	416×447
Кевлар-LT					
Полотно	400×400	36×36	0,1778	122,17	98×100
Кевлар-KM2					
Полотно	850×850	31×31	0,3048	230,77	157×170
Кевлар-49					
Полотно	1420×1420	17×17	0,3048	217,19	125×134
Гусяча лапка	195×195	34×34	0,0762	57,69	38×38
8Н полотно	380×380	50×50	0,2032	166,29	118×116
Полотно	195×195	34×34	0,0762	57,69	46×46
Полотно	380×380	22×22	0,1016	74,66	53×53
Полотно	1140×1140	17×17	0,2540	169,68	112×115
Гусина лапка	1140×1140	17×17	0,2286	169,68	111×114
Полотно	1420×1420	13×13	0,2540	162,89	102×107
4×4 саржа	1420×1420	28×28	0,4826	363,12	243×232
4×4 саржа	2130×2130	27×22	0,6350	461,53	326×263
8×8 саржа	1420×1420	40×40	0,6604	509,04	327×320

Таблиця 8.2. Структура тканин на основі волокон Spectra

Переплетіння	Лінійна густина ниток основахуток	Структура тканини основахуток	Товщина, мм	Вага, г/м ²	Границя міцності кгс/см основахуток
Ткани Spectra-900					
Полотно	1200×1200	10×10	0,305	101,72	89×89
Полотно	1200×1200	17×17	0,457	186,48	160×152
Полотно	1200×1200	21×21	0,508	237,34	196×178
Полотно	650×650	34×34	0,432	213,60	169×178
8×8 корзинная	1200×1200	48×48	0,965	525,53	446×410
8Н сатин	1200×1200	21×23	0,457	247,51	196×214
Ткани Spectra-1000					
Полотно	215	45×45	0,152	88,15	98×85
Полотно	650	17×17	0,279	94,93	107×85
Полотно	650	34×34	0,432	203,43	196×187
Полотно	215	56×56	0,178	108,50	125×116
Полотно	375	32×32	0,178	108,50	107×98
8Н сатин	650	32×32	0,335	186,48	187×178
Полотно	375	32×32	0,178	108,50	107×98
Ткани Spectra-2000					
Полотно	180	49×49	0,007	2,45	440×440

Арамідні тканини є найпоширенішим матеріалом підкладок для керамічної броні. У них балістичні характеристики поєднуються з порівняно низькою вагою і непоганою жорсткістю. Хороші протитравматичні властивості забезпечують їм перевагу перед поліетиленовими тканинами, які мають більш низьку поверхневу щільність, але менш ефективно захищають від травм.

Важливо підкреслити, що чисто арамідні тканні матеріали не здатні зупинити гвинтівкову кулю (калібру 5,56 мм і кулю НАТО калібру 7,62 мм). Однак в поєднанні з керамічним лицьовим шаром тканний арамідний бронепакет діє як мережа, що уловлює уламки (кераміка руйнує кулю, а підкладка зупиняє фрагменти, що залишилися). Цей механізм роботи пов'язаний з властивостями тканини і власне волокна.

8.5. НВМПЕ тканини

За останні три десятиліття вдалося добитися значного прогресу в підвищенні механічних властивостей волокон з довголанцюгових лінійних полімерів. Важливе місце тут займає надвисокомолекулярний поліетилен. У порівнянні з арамідними волокнами орієнтовані НВМПЕ волокна мають більш високі механічні властивості і меншу щільність.

Як не дивно, тканина з 100% НВМПЕ володіє практично тими ж властивостями, що і арамідна тканина. Тканини з НВМПЕ не мають значних переваг перед арамідними тканинами: їх балістична ефективність приблизно однакова, а вартість вище. Більш того, полімерні композити з НВМПЕ тканини мають меншу твердість і не настільки ефективні в ролі основи, що підтримує керамічний шар.

Проте, тканини з НВМПЕ в окремих випадках дозволяють знизити вагу і зменшити поглинання вологи. Без кераміки вони досить ефективно зупиняють уламки.

9. Штапельні волокна. Неткані протибалістичні матеріали.

9.1. Неткані матеріали

9.2. Штапельні волокна

9.3. Етапи виготовлення нетканих матеріалів

9.1. Неткані матеріали

Методи виробництва волокнистих матеріалів, що входять в широку категорію «нетканих» матеріалів, відомі вже протягом десятиліть. Для створення протибалістичних структур використовують далеко не всі з них. З приводу визначення, що є нетканим матеріалом, є розбіжності навіть серед професіоналів. Якщо в'язана структура включає в себе неткані матеріали, чи можна її вважати нетканою.

Асоціація промисловості нетканих матеріалів (INDA), що володіє певним авторитетом у цій галузі, дала визначення нетканого матеріалу. Згідно з довідником нетканих матеріалів INDA:

Неткані матеріали - плоскі, пористі листи, вироблені безпосередньо з окремих волокон, з розплаву полімеру або з полімерної плівки. Їх не роблять переплетінням або в'язанням, і при цьому не потрібно переробка волокон в нитку.

Для зручності протибалістичні неткані структури визначаються як волокнисті структури, що складаються не тільки з тканин, не тільки з в'язаних матеріалів і не тільки з волокнистих композиційних матеріалів.

У 1966 р дослідження Міністерства оборони США показали, що балістична стійкість голкопробивної нетканої структури на основі нейлонових волокон досягає 80% від характеристик відповідної тканини, будучи при цьому втричі легше. Такі матеріали в спеціальних областях успішно використовують і сьогодні.

9.2. Штапельні волокна

Штапельні (короткі) волокна в протибалістичних нетканих структурах не використовували в зв'язку з їх очевидними недоліками в порівнянні з безперервними волокнами.

Переваги

Матеріал, що складається з випадково орієнтованих коротких волокон, на макроскопічному рівні є ізотропним, що неможливо в разі безперервних волокон.

Якщо сильно спресувати, то щільність волокон в ньому може бути вище, ніж в багат шарових тканих або композитних структурах.

Недоліки

У виробництво штапельні волокна надходять у вигляді пухкої і неоднорідною маси. Зазвичай штапельні волокна упаковані в тюк, і перед виробництвом нетканого матеріалу вони повинні пройти кілька операцій механічної обробки.

Етапи виготовлення штапельних волокон

1. Готують прядильний розчин, який надходить в напірні блоки формувальної машини;
2. Пропущення через філь'єру з великою кількістю отворів;
3. Нитки збирають в джгут і невитягнутий джгут поміщають в контейнер;
4. Ротаційне витягування джгута (4-5 разів);
5. Гофрування джгута насиченою парою для створення звивистості і підвищення зчеплення волокна;

6. Термофіксація гарячим повітрям для збереження звивистості і зменшення термоусадки волокна;

7. Охолодження і різання джгута на відрізки певної довжини;

8. Подається в прес для ущільнення (збільшується поверхня взаємного контакту волокна) і упаковуються в кіпи.

9.3. Етапи виготовлення нетканих матеріалів

1. Попередні операції: розпушення і змішування;

2. Отримання мату: кардування і поперечне укладання;

3. Надання властивостей: голкопробивання.

Розпушення і змішування

В процесі розпушення волокна поділяються на невеликі вільні пучки. Із - за великого тиску, необхідного для перетворення вільно упорядкованої маси волокон в щільний тюк вагою приблизно 225кг, збільшується поверхня взаємного контакту волокон, і пучки волокон утворюють зв'язок.

Змішування є другою операцією приготування штапельного волокна. Навіть сучасні високоміцні волокна відрізняються фізичними властивостями в різних партіях. Ця різниця зменшується при змішуванні волокон різних партій.

Самий передовий метод підготовки штапельних волокон для виробництва протибалістичних нетканих матеріалів включає стадію змішування двох або декількох типів волокон. Склад суміші можна описувати як ваговими, так і об'ємними частками волокон, що змішуються. Зазвичай використовують вагові частки.

Розпушувально - тіпальні машини ділять на два основних типи:

1. У першому типі використовується голчастий пластинчастий конвеєр, що обертається (рис. 9.1.).

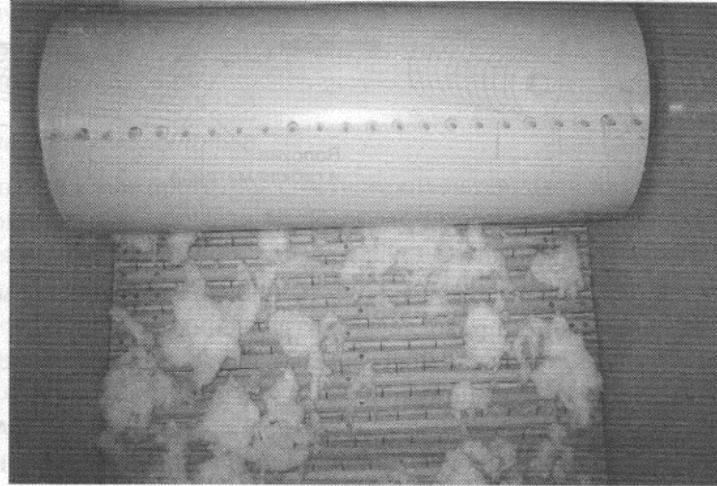


Рис. 9.1. Голковий пластинчастий механізм розміщує окремі пучки волокон на конвеєрну стрічку, що обертається

2. У другому типі з поверхні пакета акуратно знімаються тонкі шари рубаних волокон (рис. 9.2.).

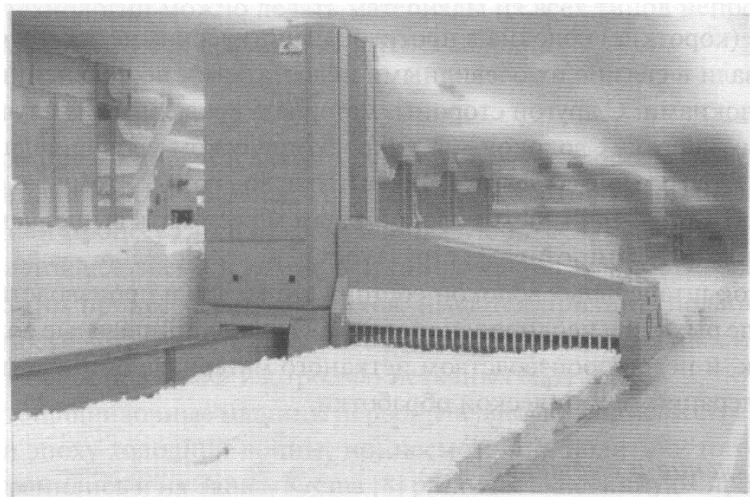


Рис. 9.2. Машина для розпушення, яка знімає шари волокон

Зараз використовуються обидва методи, але через надзвичайно високу міцність протибалістичних волокон більш привабливий голчастий конвеєр.

Методи отримання матів

Після розпушення і перемішування волокон їх поміщають в форму, в якій досягається необхідна щільність або обсяг виробу (рис. 9.3.).



Рис. 9.3. Змішування та прочісування штапельних волокон, які подаються в формі мата

Крім того, волокна потрібно орієнтувати в потрібному напрямку за допомогою машини, що фіксує положення волокон.

Самий ранній і поширений метод формування волокон в мати є **кардування**. Кардувальна машина спочатку була призначена для створення товстої нитки паралельних волокон з очищених, перемішаних і розірваних волокон. Машини для виконання цього завдання складаються з трьох барабанів, що обертається, кожен з яких покритий тонкою голчастою сіткою (рис. 9.4.).

Сучасні кардувальні машини не зовсім підходять для отримання нетканого матеріалу з балістичних стійких волокон, тому що вони **призначені** для отримання пучків майже **паралельних** штапельних волокон при прядінні нитки.

Проте, це текстильне обладнання було першим застосовано для отримання нетканих матів, і зараз воно є традиційним обладнанням виробництва нетканих протибалістичних матеріалів.



Рис. 9.4. Стандартна кардувальна машина з плоским верхом, яка має голкову конвеєрну стрічку

У кардувальній машині отримують шари **товщиною лише в два - чотири волокна**. Тонка як павутинка структура може бути придатною для отримання нетканих матеріалів типу фільтрувальних аркушів шляхом склеювання волокон, але вони мають дуже малу протибалістичну стійкість

Остання стадія цього процесу полягає в поперечному укладанні тонких матів майже паралельних волокон в протибалістичну структуру.

Поперечне укладання

Для створення структури з достатньою кількістю волокон, орієнтованих у різних напрямках і здатних зупиняти кулі різної форми, був потрібний спосіб взаємної кладки шарів волокон.

Функції поперечного укладання складаються в:

1. Укладання необхідної кількості шарів і формування волокнистого мату необхідної поверхневої густини;

2. Укладанню шарів прочісаних волокон під певними кутами, які відрізняються від напрямку подачі кардувальної стрічки.

Ці функції виконує пристрій поперечного укладання, що переводить шари з рухомого конвеєра і укладають його на конвеєр, що рухається в перпендикулярному напрямку з меншою швидкістю. Цей пристрій дозволяє накладати один на одного шари з різною товщиною і різними кутами середньої орієнтації волокон, що залежать від різниці швидкостей конвеєрів (рис. 9.5.).

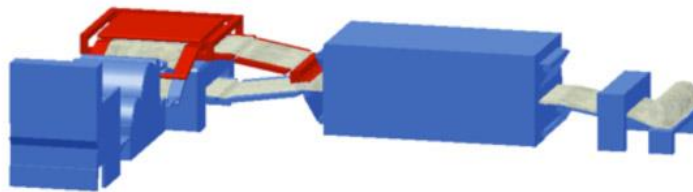


Рис. 9.5. Сучасний пристрій поперечного укладання шарів

Подальший контроль кінцевої товщини матеріалу, однорідності товщини і орієнтації шарів може бути отриманий стисканням приводними валками.

Голкопробивання

Голкопробивання - досить проста операція, зміни технологічних параметрів якої дозволяє варіювати характеристики матеріалу. Безперервні протибалістичні волокна рубають на короткі пучки, кардують (тобто очищають від дрібних фрагментів волокон і бруду) і укладають хаотично в площині листа, в результаті чого формується ізотропний войлокподібний лист. Цей лист потім пробивають набором голок, які проштовхують кілька волокон перпендикулярно до площини

листа. Ці волокна пов'язують матеріал краще, ніж традиційні переплетіння тканини.

Голкопробивання є більш простою операцією, ніж ткацтво. З його допомогою можна отримати матеріали з різноманітними властивостями, обумовленими технологією процесу. Безперервні волокна рубають на пасма, прочісують і укладають шарами під певними кутами, формуючи **квазіізотропний матеріал**. Потім його зміцнюють в поперечному напрямку голкопробиванням. Голки проштовхують через лист з войлока кілька волокон під кутом 90^0 . Войлок зупиняє уламки значно краще, ніж традиційні тканини.

Голкопробивання є досить простою операцією, що дозволяє шляхом зміни параметрів процесу змінювати властивості матеріалу, що отримують.

Властивості кінцевого продукту можна змінювати, застосовуючи голки різної форми. Голки вирішують безліч завдань, а також просто з'єднання шарів. Для виробництва протибалістичних структур часто використовують голки з трикутним або чотирикутним зіркоподібним перерізом (рис. 9.6.). Зубці голки можуть відрізнятися за формою, кількістю і орієнтацією. Регулювання кутів захоплення волокон, глибини довжини фрикційних контактів забезпечується довжиною зубців, кутом їх орієнтації і відстанню між ними. Наступними **параметрами**, що впливають на кінцеві властивості матеріалу, є набір голок в голковій дошці, швидкість подачі волокнистого мату і частота проколювання. Всі ці фактори визначають кількість зшивок на одиницю площі матеріалу. У голкопробивних механізмах, які іноді називають **голковими ткацькими верстатами**, голкові дошки пробивають матеріал зверху вниз, знизу вгору або в обох напрямках одночасно.



Рис. 9.6. Різні пробивні голки

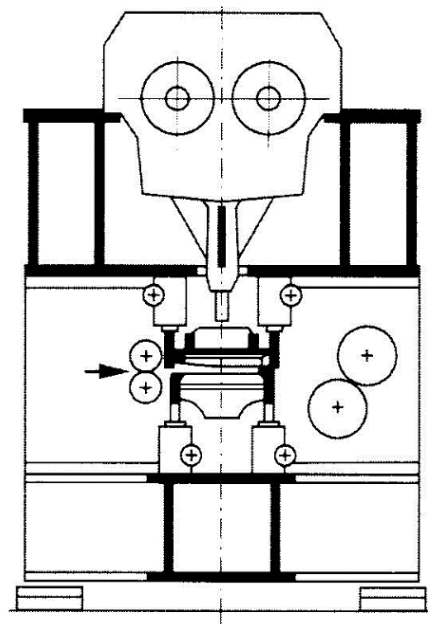


Рис. 9.7. Схема голкопробивної машини з верхнім проколюванням

Хоча протибалістичні і допоміжні неткані матеріали можуть формуватися за один прохід через голкопробивну машину, часто використовують процес в два етапи, перший етап називають попереднім (рис. 9.7.). За допомогою цього процесу **утворюється** сітка хаотично орієнтованих волокон, які тримаються разом лише силами взаємного тертя.

10. Протибалістичні композити на основі препрегів. Види препрегів. Технологія виготовлення препрегів.

10.1. Препреги

10.2. Матриці

10.1. Препреги

Броня повинна зупиняти кулю і знижувати травматичні наслідки удару. Здатність волокнистих композиційних матеріалів вирішувати цю задачу залежить від безлічі факторів, наприклад типу волокон, концентрації матриці і структури матеріалу. Технологія виробництва залежить від усіх цих факторів і від технологічних вимог.

Композиційний матеріал складається з двох або кількох компонентів. Наприклад, композитом є бетон або печиво, покрите шаром шоколаду. Тут будуть розглянуті лише **двофазні композити**, які складаються з волокон і полімерної матриці.

Визначення:

Препреги (англ. Prepreg або pre-impregnated material, prepreg) - напівфабрикат полімерного композиційного матеріалу, отриманий шляхом просочення армуючої волокнистої основи полімерним сполучником (рис. 10.1).

Один з найбільш перспективних способів отримання високоефективних протибалістичних матеріалів полягає у використанні препрегів.

Композити конструкційного призначення складаються з волокон і матриці. Зазвичай вони мають не дуже добрі бронезахисні властивості.

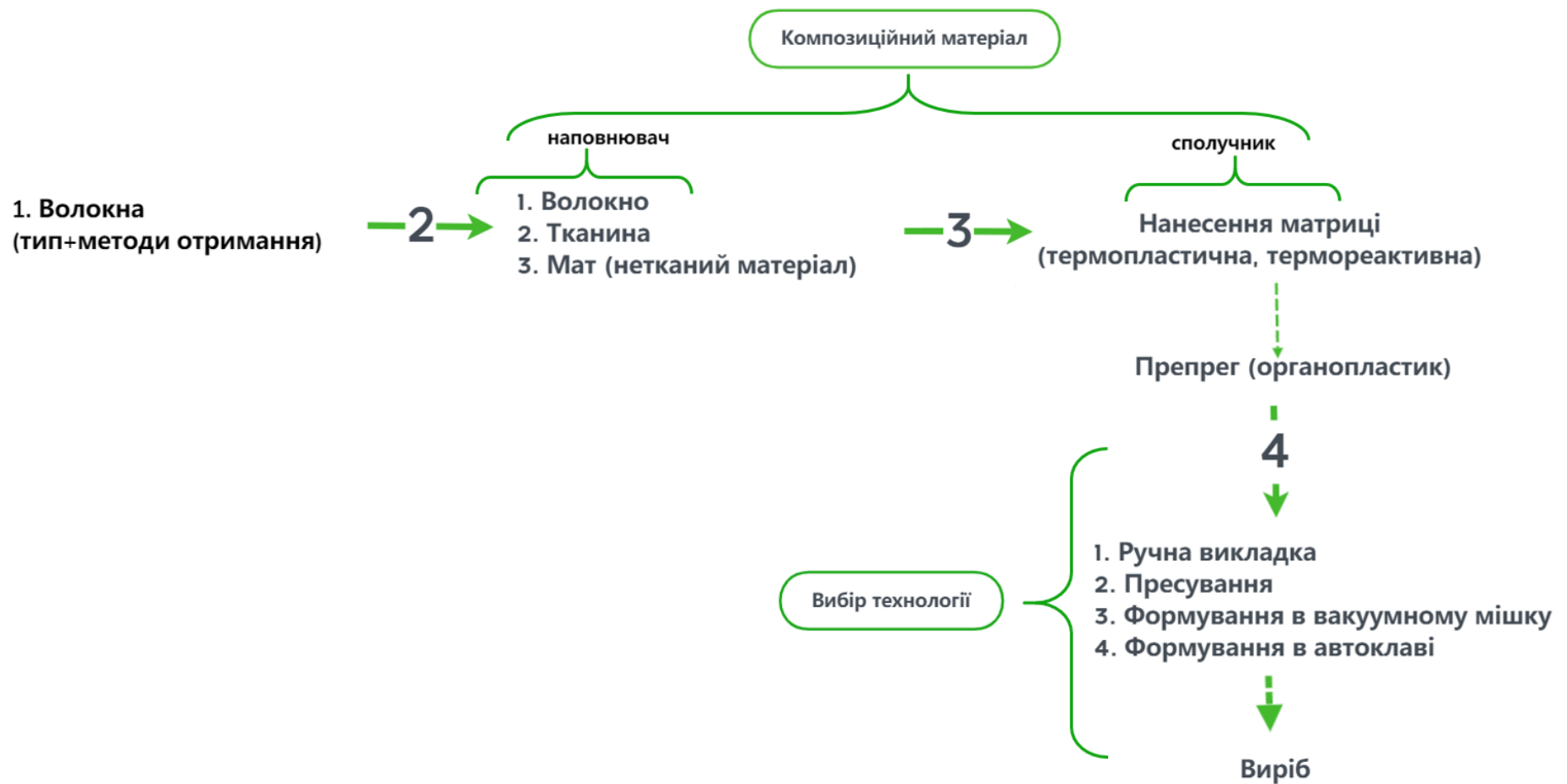


Рис. 10.1. Схема виготовлення препрегу

Протибалістичні композити мають наступні відмінності від конструкційних композиційних матеріалів (табл. 10.1):

- вміст матриці в них зазвичай набагато нижчий і становить 18-22 мас.%, в той час як в конструкційних композитах він досягає 40-65 вагу.%;
- в них зазвичай використовують більш еластичну матрицю, що робить кінцевий продукт менш жорстким;
- вони мають меншу адгезію між волокнами і матрицею;
- вміст пор в протибалістичних композитах досить високий;
- роль матриці в них порівняно обмежена;
- поперечно орієнтовані композити (0/90) мають підвищені балістичні характеристики;
- односпрямовані композити (0, 0, 0, 0 ... 0) мають низьку балістичну стійкість.
- в проибалістичних препрегах матриця наноситься не на всі волокна;
- протибалістичні препреги мають недостачу матриці;
- препреги не липкі;
- препреги конструкційного призначення зберігають при температурі нижче 0°C;
- більшість протибалістичних препрегів мають тривалий термін зберігання при кімнатній температурі.

Препреги мають підвищене тертя з високошвидкісними снарядами, що зменшує вагу протибалістичного матеріалу.

Матеріали на основі препрегів мають жорстку форму, яку їм надають за допомогою відповідних прес-форм.

Під час балістичного удару вплив матеріалу на снаряд призводить до:

- його уповільнення;
- деформації;
- зупинки;
- деформації задньої поверхні.

Таблиця 10.1. Порівняння препрегів протибалістичного і конструкційного призначення

	Композити конструкційного призначення	Композити протибалістичного призначення
Волокна	ВМ вуглецеві, скляні S-2, арамідні	ПБО, СВМПЄ, арамідні, скляні S-2 і Е-волокна
Вміст волокон	50-60 вага, %	80-90 вага, %
Матриця	Термопластичні і термореактивні смоли, що тверднуть при високій температурі	Термопластичні і термореактивні смоли, що тверднуть при низькій температурі
Вміст матриці	40-60%	10-25%
Текучість смоли	Добра	Обмежена або повністю відсутня
Поверхня волокна, обробка	Інтенсивна	Помірна
Адгезія	Дуже добра	Обмежена для контролю розшарування
Структурна цілісність	Чудова	Відносно низька
Балістичні властивості	Погана	Чудова
Розтріскування	Обмежене	Інтенсивне
Вміст пор	<1%	>5%
Пористість поверхні	Ні	Мікропориста
Поглинання води	Дуже мале	До 5%
Руйнування	Крихке	В'язке
Гібридні композити	Так	Так

В броні при ударі напруження концентруються у відносно невеликій області поблизу місця удару. В результаті цього зі снарядом контактує лише порівняно невелика кількість волокон. Так як напруження локалізовані в вузькій області мішені, заброньова деформація зазвичай досить велика. Однак введення в волокнистий матеріал полімерної матриці, що склеює волокна, дозволяє поліпшити його характеристики. Препреги можуть мати форму тканини, двохшарового поперечного орієнтованого шаруватого матеріалу або войлок, отриманого з пучків рубаних волокон. Протибалістичні препреги складаються з високоміцних волокон і матриці в формі тонкої плівки або клею, частково заповнює простір між волокнами.

Матриця є слабким компонентом композитів. Під дією високошвидкісного снаряда в ній утворюються мікротріщини, об'єднання яких призводить до формування макротріщин, а завершитися процес зіткнення може руйнуванням композиту. **Матриця забезпечує необхідну поведінку матеріалу при балістичному ударі. Вона фіксує волокна, що перешкоджає проникненню снаряда.** При зіткненні матриця розподіляє навантаження між протибалістичними волокнами, збільшуючи опір проникненню снаряда і термін служби виробу.

Завдяки матриці напруження розподіляються на деяку область за границею безпосередньо контакту з кулею. Це дозволяє отримати більш легкі і довговічні протибалістичні жилети і каски. Препреги також збільшують тертя між снарядом і бронею.

Інші переваги препрегів:

- зменшення ступеня пошкодження волокон при носінні броні через відсутність тертя між ними;
- захисту волокон від вологи;

- захист від побутових рідин (кава, содової, кетчупу, приправи до салату і т.д.);

- захист від абразивного пилю, піску та інших частинок.

Крім того, матриця фіксує форму виробу і контролює його стійкість до впливу навколишнього середовища.

Використання препрегів для формування касок, грудних пластин і бронезахисту транспортних засобів дозволяє помітно знизити їх вагу в порівнянні з виробами, отриманими мокрим укладанням. При виготовленні препрегів необхідно точно контролювати орієнтацію волокон, частку і однорідність розподілу матриці, її течію і затвердіння. Препреги дозволяють отримувати вироби кращої якості незалежно від технічної підготовки персоналу, зайнятого формуванням композиту. Їх можна зробити і зберігати на складі, що зменшує час виконання замовлення. У будь-який момент препреги можна відправити покупцеві в будь-яку частину світу.

10.2. Матриці

Матриця заповнює простір між волокнами і надає композиту структурну цілісність і жорсткість. Полімерні матриці ділять **на термореактивні і термопластичні**.

Основні переваги термореактивних матриць: низька вартість і хороші технологічні властивості. До недоліків термопластичних зв'язуючих слід віднести крихкість і низький опір ударним навантаженням. Для зведення до мінімуму цих недоліків при створенні захисних структур ЗІБ до складу термореактивних зв'язуючих вводять пластифікатори, наприклад полівінілбутіраль.

Головною перевагою армованих термопластів з точки зору використання їх в ЗІБ є поєднання високої міцності з високою ударною в'язкістю і тріщиностійкістю. Широкому поширенню органопластиків з термопластичним сполучником заважає висока в'язкість розплавленого полімеру, через що доводиться працювати з високими тисками і температурами. Для подолання цих труднощів використовують різні способи, наприклад волокнисті і плівкові технології. Зі сполучника спочатку отримують або волокна, які змішують з волокнами армуючого матеріалу або вводять до складу тканин, або плівки, яку викладають в формоутворювальну матрицю або намотують по черзі зі стрічкою або тканиною з армуючого матеріалу. Після цього отриманий пакет або виріб пресують при високій температурі - сполучник розплавляється і проникає між нитками і волокнами, перетворюючись при охолодженні в полімерну матрицю.

Характеристики протибалістичних матеріалів залежать від вмісту матриці. Особливістю протибалістичних препрегів є мала кількість матриці, і тому їх небажано робити методом мокрого укладання або поливом матриці.

При виготовленні препрегів зазвичай використовують рідку матрицю, повністю зволожуючи нею поверхню волокон. Щоб отримати гарний зв'язок між волокнами, розподіл матриці має бути однорідним. Один із способів вирішення цієї проблеми полягає в її розчиненні в низков'язкій рідині. Після просочення волокон розчинник видаляють шляхом нагрівання, і висушений препреги на виході з просочувальної машини містить менше 1% розчинника. Це допоможе продовжити термін зберігання і транспортування препреги перед виготовленням кінцевого виробу. Це типово для всіх препрегів незалежно від хімічного складу матриці і типу волокна.

11. Види матриць (смоли). Використання матриць.

11.1. Препреги на основі термопластичних матриць

11.2. Препреги на основі термореактивних матриць

11.3. Поєднання термопластичних і термореактивних матриць

11.4. Добавки в термопластичні і термореактивні смоли

11.5. Використання матриць

11.1. Препреги на основі термопластичних матриць

Термопластичні полімери в початковому стані знаходяться в твердому стані, а при підвищенні температури можуть багаторазово переходити в рідкий стан, просочувати армуючий матеріал і при охолодженні утворювати досить міцний КМ. В якості термопластичних сполучників використовують такі полімери: поліуретани, поліетилен, поліпропілен, фторопласти, ПВХ, поліаміди та інші термопластичні полімери. Термопласти складаються з довгих полімерних ланцюгових молекул. При підвищеній температурі вони плавляться. При прикладанні тиску або під дією вакууму смола може просочувати пучки волокон.

Термопластичні матриці, що використовуються для отримання протибалістичних препрегів, сильно відрізняються від комерційних термопластів типу поліетилен та інших технічних полімерів. Такі термопласти є одночасно і досить жорсткими, і в'язкими. Вони зазвичай мають високе подовження при руйнуванні, відносно невеликий модуль пружності і помірну міцність. Термопластичні матриці для протибалістичних композитів відрізняються від матриць, використовуваних в композитах конструкційного призначення. В наслідки використовують матриці типу поліефірефіркетон (ПЕЕК), поліфеніленсульфід (ПФС) та поліефірамід (ПЕА).

**Термопластичні матриці для протибалістичних композитів
мають такі особливості:**

- низька молекулярна вага;
- високе подовження при руйнуванні;
- низький модуль пружності;
- низьку міцність;
- високу енергію руйнування;
- знижену в'язкість течії;
- низьку температуру плавлення і розм'якшення;
- здатність до розчинення, в тому числі і в воді;
- відносно слабку адгезію до волокон;
- хорошу вологостійкість;
- хорошу хімічну стійкість;
- великий термін зберігання при кімнатній температурі;
- виробляються з дефіцитної сировини і поки дорогі.

Термопластичні матриці для протибалістичних препрегів можуть мати форму порошку, гранул, рідини або готового до використання розчину. Такі матриці містять апрети і розчиняються в органічних розчинниках або у воді. Розчинник дозволяє знизити в'язкість матриці, що спрощує просочення волокон. Використання розчинників не завжди бажано з безлічі причин: забруднення навколишнього середовища, токсичність, горючість і інші.

На використання органічних розчинників потрібен спеціальний дозвіл і заходи по рекуперації (тобто вилучення) розчинника. Однак матриці на основі розчинника мають **переваги**, завдяки яким вони широко використовуються для отримання препрегів (табл. 11.1.):

- чудове змочування волокон;

- високий об'ємний вміст полімеру;
- підвищення продуктивності виробництва препрегів;
- зниження температури виготовлення препрегів;
- однорідне просочення волокон;
- простота додаткових процесів, наприклад, нанесення ламінованої плівки;
- довговічність;
- чудова вологостійкість;
- тривале зберігання.

Матриці на основі водного розчину мають наступні переваги:

- екологічна чистота;
- не потрібна рекуперація або дозвіл на використання;
- можливість використовувати в необмеженому обсязі;
- дешевизна води;
- легкість зберігання;
- легкість транспортування.

При використанні водорозчинних матриць для видалення води може знадобитися додаткове обладнання та багато енергії. При нанесенні ламінованої плівки в цьому випадку потрібно забезпечити повне видалення вологи. Щоб досягти об'ємного вмісту матриці вище 50%, необхідно, щоб більша частина полімеру була присутня у вигляді агломератів, розмір яких перевищує колоїдний розмір. Відзначимо, що для отримання протибалістичних препрегів використовують і органічні розчинники, і воду.

Із - за можливості тривалого зберігання повна вартість препрегів на основі термопластичних матриць менша, ніж в разі термореактивних смол. Ці препреги можна формувати повторно при високій температурі і

тиску. Вироби з термопластичних препрегів дешевші, однак повторне формування та експлуатація в екстремальних кліматичних умовах негативно впливають на термін служби таких композитів.

Таблиця. 11.1 Фізико-механічні властивості термопластичного сполучника

Сполучник	Модуль пружності Е·10 ⁻² , ГПа	Міцність, МПа При розтязі	При стиску	Граничне подовження, %	Ударна в'язкість, кДж/м ²
Поліетилен: високого тиску	-	10...17	12	400...600	-
низького тиску	6...8,5	20...45	20...36	300...800	2...150
середнього тиску	8...12,5	18...40	-	200...1300	7...120
Поліпропілен	-	25...40	20...36	200...800	33...88
Фторпласт-4	-	14...35	10...12	250...500	100
Полікарбонат	24...28	57...70	80...90	50...100	120...140
Поліамід 6	12...15	55...77	77...85	100...150	90...130
Фенілон П	-	90	320	4	20

Акрилові матриці

Акрилові смоли синтезують з мономерів різних акрилових і метакрилових ефірів. Промислові процеси проводять по вільнорадикальному механізму при високій температурі в присутності ініціатора.

Акрилові матриці використовують у вигляді розчинів і водних емульсій. В обох випадках в'язкість підбирають так, щоб отримати невисокий вміст матриці. Акрилові матриці мають хорошу стійкість до ультрафіолетового випромінювання і окислення. У акрилових емульсіях зазвичай використовують загусники, вибір яких дозволяє оптимізувати реологічні властивості розчину при невисокій концентрації смоли.

Жорстка формована броня на основі термопластичної акрилової матриці добре захищає від уламків, але сильно розшаровується при пострілі з пістолета. Деякі проблеми можуть бути вирішені шляхом

змішування акрилової матриці з добавками, що забезпечують високу адгезію.

Поліуретанові матриці

Поліуретанові матриці широко використовуються в промисловості через їх еластичність, гарну адгезію до різних волокон, добра здатність до фарбування, гарно з'єднуються з каучуком і металами, висока міцність при розриві, високі абразивні властивості.

Більшість поліуретанових смол застосовують у вигляді розчинів на основі органічних розчинників. З екологічних причин все більш популярними стають поліуретанові водні дисперсії. Зазвичай вони містять невелику кількість води. Об'ємний вміст матриці в емульсії досить високий, і після сушки при кімнатній температурі утворюється безперервна плівка. Якщо на субстрат наноситься водний розчин поліуретанової смоли і висушується при 97-140°C, це покращує міцність зв'язку, довговічність і адгезію до волокон.

Одно- і двокомпонентні поліуретанові матриці використовують дуже широко. Однак лише деякі препреги на основі поліуретанових матриць мають великий термін зберігання при кімнатній температурі. В'язкість водної емульсії регулюють, змінюючи кількість дистильованої води. Розчин наносять на протибалістичні волокна і сушать в термокамері при підвищеній температурі.

11.2. Препреги на основі термореактивних матриць

Термореактивні матриці являють собою в'язкі рідини (при температурі переробки), які після просочення армуючого матеріалу і формотворчих технологічних операцій за рахунок хімічних реакцій полімеризації перетворюється в неплавку тверду полімерну матрицю.

Цей хімічний процес, який, як правило, йде при підвищеній температурі, називається затвердінням. В якості термореактивних зв'язуючих традиційно використовують такі полімери, як епоксидні олігомери, ненасичені поліефіри, мочевино- і фенолформальдегідні системи, олігоіміди і інші термореактивні сітчасті полімери.

Термореактивні матриці (смоли) складаються з двох або декількох рідких компонентів, які при змішуванні у відповідних пропорціях вступають в хімічну реакцію і утворюють поперечні зшивки, що створюють матеріал з хорошими фізичними та механічними властивостями. Хоча багато термореактивних матриць можуть утворювати з'єднання при кімнатній температурі, зазвичай їх тверднення відбувається при підвищеній температурі. Термореактивні матриці не плавляться, і деталі з них не можна переробляти вдруге.

Препреги на основі термореактивних матриць мають такі особливості (табл. 11.2-11.3):

- низький вміст матриць (<20%);
- низький вміст летючих речовин;
- комерційну доступність;
- стабільність властивостей при зберіганні в кімнатних умовах;
- відносно низьку адгезію між волокнами і матрицею;
- часткове покриття волокон матрицею (вміст матриці менше 20%);
- регульовану ступінь поперечних зшивок в полімерній матриці;
- високий протибалистичний захист;
- хороші механічні властивості;
- здатність зберігати свої властивості при підвищеній температурі (66°C);
- в допустимих границях мають температуру склування T_K ;

- негорючість;
- відсутність липкості при формуванні касок та інших виробів складної форми;
- добрий зв'язок з переднім шаром металу або кераміки;
- легкість механічної обробки, свердління і фарбування;
- відсутність мікропор.
- високе подовження (> 100%);
- контрольована течія матриці під високим тиском;
- мінімальне проникнення матриці в волокнисту основу.

До основних недоліків реактопластів можна віднести крихкість, низьку ударну стійкість, обмежену життєздатність препрегів на їх основі.

Таблиця 11.2. Властивості термореактивних полімерних матриць

Властивості	Поліефіри	Епоксиди	Феноло-формальдегідні полімери	Поліаміди
Густина, кг/м ³	1240-1440	1110-1390	1380-1940	1400
Міцність, МПа	55-96	28-90	34-48	83-207
Модуль пружності, ГПа	2,1	0,69-3,45	6,9-9,7	3,45-4,14
Гранична деформація, %	5-300	3-50	-	2-12
Міцність при ударі (методика Ізода), Дж/см	2,72	1,09-5,44	1,63-199	13,6
Теплопровідність, кал/(см*с*град)	2,1-1,7	0,10-0,25	0,17-0,22	2,2
Коефіцієнт лінійного теплового розширення КТР*10 ⁶ , 1/град	40-80	10-20	15-22	20-40
Температура розширення (1,8МПа), °С	50-60	40-260	130-195	260-320
Адсорбція води за 24 г., %	0,08-0,09	0,08-0,15	0,30-0,60	0,30-0,50

Таблиця. 11.3. Фізико-механічні властивості термореактивних сполучників

Зв'язуючи	Густина, г/см ³	Міцність, МПа	Модуль пружності, ГПа	Гранична деформація, %	Ударна в'язкість, кДж/м ²
Поліефіри	1,24...1,44	55...96	2,1	5...300	2...10
Епоксиди	1,11...1,39	28...90	0,69...3,45	3...50	5...20
Фенолформальдегіди	1,38...1,94	34...48	6,9...9,7	-	-
Поліаміди	1,4	83...207	3,45...4,14	2...12	-

Фенольні смоли

Фенольні матриці використовують в композиційних матеріалах вже більше 90 років. Фенольні смоли отримують реакцією поліконденсації фенолу і формальдегіду.

Хімія фенольних смол заснована на двох ідеях. Хоча до складу фенольних смол часто включається фенол, крім нього можуть використовуватися смоли, що містять р - третбутилфенол, р - третамілфенол, р - нонілфенол і суміші крезолів і масл, які отримані зі шкаралупи горіха кеш'ю. Властивості полімеру можуть варіюватися в широких границях в залежності від типу каталізатора, молярних часток фенолу і формальдегіду, умов проведення реакції, послідовності додавання реагентів і умов розчинення.

Фенольні матриці широко використовують в волокнистих композитах і конструкційного, і протибалистичного призначення. Поряд з невисокою ціною вони мають непогані механічні властивості, стійкість до удару, теплостійкість і негорючі.

В наведеній таблиці 11.4. матрицю використовували в кілька мільйонів касок.

З економічних причин краща одностадійне просочення тканини. Фенольні матриці, що використовуються в протибалістичних препрегах, модифікують синтетичними добавками, що підвищують балістичну стійкість або еластичність. Залежно від типу і швидкості ударника для протибалістичного матеріалу на основі НВМПЕ або арамідних волокон в тканому або нетканому вигляді потрібен свій склад матриці.

Таблиця 11.4. Склад матриць в препрегах, які використовують для формування протибалістичних касках і бронепластинах

Компонент	Вагові частини	Відсоток твердої речовини
Полівінілбутіл	868 (25% в етанолі)	47,2
Фенолформальдегід	100 (57% в етанолі)	12,4
Триметілфенол	267 (60% в етанолі)	34,8
Фталевий ангідрид	25,6	5,6
Метанол	51,2	0,0

Залежно від обсягів виробництва і доступності устаткування фенольну матрицю можна наносити будь-яким з вищезгаданих методів. Розчинник видаляють нагріванням у великих сушильних камерах. Після сушіння вага матриці становить 15-20% ваги тканини.

Більшість препрегів на основі арамідної тканини і фенольної матриці мають колір маскувальний зелений або пісочний колір. Протягом багатьох років вміст матриці в висушеному препрезі підтримувалося на рівні 15-20 ваг.%. Однак починаючи з середини 1990-х рр. для підвищення балістичних властивостей вміст матриці в арамідній тканині знизили, і тепер воно становить 11-14 ваг.%, хоча при цьому композит став більш

інтенсивно розшаровуватися і дещо збільшилася поглинання води під час дощу.

В Європі препреги для формування касок і жорстких бронепластин виготовляють нанесенням тонкої фенольної плівки на арамідну тканину. Вміст матриці становить приблизно 11 ваг.%. Балістична стійкість броні на основі даних препрегів значно покращилася. Однак, формований виріб досить пористий і матриця не покриває всю його поверхню. Щоб дощова вода не могла проникнути всередину каски, такі вироби покривають додатковим захисним шаром. Якщо вода проникає в каску, її вага може збільшитися на 20%, а балістичні характеристики знизяться.

Вінілефірні матриці

Вінілефіри є термореактивними полімерами. Вони являють собою полімерний ланцюг з акрилатними ($R = H$) або метакрилатними ($R = CH_3$) кінцевими групами $R- [O-C-C = C]$. Хоча вінілефірні матриці іноді класифікуються, як складні поліефіри, вони являюся типовими діефірами, що містять повторювані етилові групи. Вінілефірні смоли отримують з промислової епоксидної або уретанової смол, складних поліефірів і інше. Вінілефірні смоли мають епоксидну основу з різною молекулярною масою. Смоли з підвищеною молекулярною масою характеризуються підвищеною ударною в'язкістю і еластичністю, низькою термостійкістю і поганою розчинністю.

Вінілефірні матриці використовують як в чистому вигляді, так і з добавками хімічно активного сомомера типу стиролу, вінілтолуона, тріметілолпропантріацілата або неактивного розчинника типу метілетілкетон і толуолу. Вінілефірні матриці містять подвійні зв'язки, які вступають в реакцію в присутності вільних радикалів під дією хімічного, теплового або світлового джерела. Затвердіння відбувається по

вільнорадикальному механізму, що включає ініціювання, ріст ланцюга і закінчення процесу. Затвердіння вінілефірної матриці характеризується більш низьким екзотермічним ефектом і меншою усадкою, ніж поліефірні смоли. Для протибалістичних композитів важливі обидві ці властивості.

При розробці композиту і при незначному обсязі виробництва вінілефірну матрицю іноді наносять вручну. Однак, балістична стійкість композиту максимальна, якщо вміст матриці невисокий, а щільність зшивання нижче, ніж в композитах конструкційного призначення. Вміст матриці при ручному нанесенні матриці варіюється від 20 до 30% в залежності від типу волокон і ступеня змочуваність. При ручному нанесенні матриці важко домогтися її низький вміст, і тому в протибалістичній промисловості вона практично не використовується.

Альтернативою процесу ручного нанесення матриці є використання препрегів. Протибалістичні вінілефірні препреги мають низький вміст матриці. Якщо правильно підібрати каталізатори затвердіння відбувається з невисоким екзотермічним ефектом, а щільність зшивання не надто висока. Такі препреги широко використовують для виготовлення жорстких касок, нагрудних пластин і бронепанелей для захисту транспортних засобів.

Через досить широкий вибір вінілефірних смол різного складу, каталізаторів затвердіння і інших добавок ці препреги поступово витісняють препреги на основі фенольних смол. Вінілефірні препреги мають більше подовження і велику липкість, необхідну для формування в автоклаві під високим тиском виробів на основі арамідних волокон або НВМПЕ волокон. Температурний діапазон затвердіння вінілефірних препрегів становить 75-120⁰С в залежності від затверджувача.

Вінілефірні протибалістичні препреги мають такі особливості:

- низький (5 ваг.%) або високий (30 ваг.%) вміст матриці;
- низька або висока липкість;
- негорючість;
- можливість фарбування;
- тривалий термін зберігання при кімнатній температурі.

Контрольована адгезія і усадка вінілефірної матриці роблять препреги на її основі і арамідних або НВМПЕ волокон основною сировиною для виготовлення протибалістичної броні. Вінілефірні препреги можуть мати ткану, поперечно орієнтовану і неткану основу з безперервних або рубаних волокон.

Для вищезгаданого складу рекомендується метод мокрого просочення.

Процедура просочення препрегів вінілефірною смолою:

1. Підготовка розчину матриці відповідно до складу (табл. 11.5.);

Таблиця 11.5. Склад протибалістичного вінілефірного препрега (США 5,165,989)

Компонент	Вагові частки	Відсоток від загальної ваги
Вінілефірна матриця	50,00	99,96
PER 308	0,01	0,01
Трет-бутіл-пербензоат	0,03	0,03
Ацетон	24,98	0,00
Ізопропіловий спирт	24,98	0,00

2. Установка тканини або нетканого матеріалу на рамі, що створює по всій поверхні натяг в процесі виготовлення препрега.

3. Занурення тканини в розчин матриці при постійному натягу.

4. Тривала сушка волокон при температурі не нижче 75°C, щоб сумарний вміст летких речовин не перевищував 1%.

5. Згортання препрега в рулон з антиадгезивною плівкою від запобігання контакту шарів.

Поліефірні смоли

Поліефірні смоли представляють собою суміш хімічно активних полімерів і мономерів. Затвердіння матриці відбувається шляхом розкриття подвійних зв'язків. Найбільш часто для цього використовують стирол. Він з'єднується з розкриваючими подвійними поліефірними зв'язками, формуючи міцну полімерну сітку.

Перевагою поліефірних смол є їх економічність. Їх широко використовують при виробництві човнів, деталей електричного призначення, деталей автомобілів, спортивного обладнання та панелей конструкційного призначення.

Подібно вінілефірним смолам, поліефіри мають широкий вибір складу, затверджувачів, добавок і т.п., що забезпечує величезний спектр можливих кінцевих властивостей. Матриці мають широкий діапазон подовжень і липкості, які необхідні для протибалістичних матеріалів на основі арамідних або НВМПЕ волокон.

Широкий вибір затверджувачів дозволяє проводити затвердіння матеріалу в широкому інтервалі температур, від 75°C до 120°C. Це дозволяє використовувати їх як з термостійкими, так і з легкоплавкими волокнами.

Особливостями поліефірних препрегів є:

- можливість змінювати вміст матриці в широких межах (від 5 до 30 ваг.%);

- можливість зміни ступеня липкості препрегів;
- негорючість;
- можливість фарбування;
- тривалий термін зберігання при кімнатній температурі.

Процедура просочення препрегів поліефірної смолою:

1. Приготування розчину матриці;
2. Установка тканини або нетканого матеріалу на рамі, що створює по всій поверхні натяг в процесі виготовлення препрегу.
3. Занурення тканини в розчин матриці при постійному натягу.
4. Тривала сушка волокон при температурі не нижче 75°C, щоб сумарний вміст летких речовин не перевищував 1%.
5. Згортання препрега в рулон з антиадгезивною плівкою від запобігання контакту шарів.

Епоксидні смоли

Епоксидні матриці широко використовуються в волокнистих композитах конструкційного призначення, наприклад, в аерокосмічній техніці через міцність, легкість і термостійкість. Перевагами композитів на основі епоксидних матриць є відмінні конструкційні властивості, наприклад, висока жорсткість, і низька усадка, що робить їх привабливими бронематеріалами.

Епоксидні матриці створені на основі бісфенола А і епіхлоргідріна біфункціонального і мають епоксидні групи на кінці ланцюга. При полімеризації вони зберігають біфункціональність, а їх молекулярна вага збільшується.

Хоча епоксидні смоли дорожче інших термореактивних матриць, вони дозволяють поліпшити балістичні властивості композиту. Їх перевагами є високі конструкційні властивості, хімічна стійкість, простота фарбування, хороший зв'язок з керамічними металевими матеріалами, стабільність розмірів.

Вибір отверджувача (каталізатора процесу зшивання) настільки ж важливий, як і вибір епоксидної матриці. Тип отверджувача визначає термін зберігання препрегу, швидкість затвердіння, величину виділеної теплоти і температуру формування. При виборі отверджувача необхідно враховувати всі найважливіші властивості епоксидної смоли. Отверджувач визначає тип утворюваних хімічних зв'язків і ступінь зшивання епоксидної смоли. Високий ступінь зшивання забезпечує найкращі конструкційні характеристики, але відносно слабкий балістичний захист.

Баланс конструкційних і балістичних характеристик досягається контролем ступеня хімічного зшивання і адгезії волокон.

Використання епоксидної матриці і правильний вибір затверджувача забезпечують такі властивості отвержденного композиту:

- відносно висока адгезію з волокнами;
- низьку усадку;
- високі конструкційні властивості;
- добру балістичну стійкість;
- хороший термін зберігання при кімнатній температурі;
- гарно формується;
- відсутність вологи при формуванні;
- легкість фарбування;
- добрий зв'язок з переднім керамічним або металевим шаром;

- легку утилізацію відходів.

11.3. Поєднання термопластичних і термореактивних матриць

Останнім часом з'явилися протибалістичні препреги нового типу. Спочатку на волокнистий матеріал наносять перший шар матриці, що забезпечує високий рівень балістичного захисту, незважаючи на відносно низьку міцність зв'язку волокон. Потім наносять другий шар, який представляє собою тонкий безперервний або дискретний шар плівки або рідкої матриці. У нього вводять антипірен, що пригнічує горіння препрегу, і інші захисні добавки. В один з шарів матриці може бути додана фарба.

Щоб усунути недоліки кожного з класів сполучників і домогтися оптимального поєднання властивостей застосовують різні суміші полімерів. Введення каучуків в епоксидні та інші крихкі термореактивні сполучники підвищує в'язкість руйнування і ударну міцність композитів і трохи знижує границю міцності і модуль пружності КМ. До тих же ефектів призводить модифікація термореактивних зв'язуючих з термопластами. Епоксидні олігомери знижують в'язкість, покращують технологічність термопластів (табл. 11.6.).

Модуль пружності E_{on} і границя міцності σ_{on} органопластиків наближено можуть бути визначені по так званим міксовим формулам:

$$\begin{aligned} E_{on} &= \alpha v_{\epsilon} E_{\epsilon} + v_{c\epsilon} E_{c\epsilon} \\ \sigma_{on} &= \alpha v_{\epsilon} \sigma_{\epsilon} + v_{c\epsilon} \sigma_{c\epsilon} \end{aligned} \quad (11.1.)$$

де v_{ϵ} , $v_{c\epsilon}$ - об'ємний вміст в композиті відповідно волокон або ниток і зв'язків; E_{ϵ} , $E_{c\epsilon}$, σ_{ϵ} , $\sigma_{c\epsilon}$ - відповідно їх модулі пружності та границя міцності; α - коефіцієнт, що залежить від розташування волокон або

ниток: при однобічному розташуванні $\alpha = 1$, при двонаправленому ортогональному $\alpha = 0,5$, при випадковому розташуванні $\alpha = 3/8$.

Таблиця. 11.6. Фізико-механічні характеристики органопластиків

Характеристики	Арамідна нитка + епоксидна смола		Тканини кевлар 49+ епоксидна смола	Тканини з арамідних ниток + поліамід 68
	Нитка, джгут	Тканини		
Густина, г/см ³	1,25...1,38	1,24...1,33	1,33	1,1...1,2
Міцність на розтяг, МПа:				
уздовж волокна	1400...2200	500...700	517	450...550
поперек	12,3...28,2	-	-	-
Модуль пружності, ГПа				
уздовж волокна	78...95	26...41	40	36
поперек	4,1...55	-	-	-
Міцність при стиску, МПа	200...300	150...250	-	-
Міцність при згині, МПа	500...700	300...400	347	450
Відносне подовження, %	1,7...2,2	1,7...2,4	1,5	-
Міцність при міжшаровому зсуві, МПа	30...80	20...30	-	-
Поліамід 68 –термопластичний сполучник: модуль пружності – 30ГПа, міцність при розтязі 100...120 МПа, граничне подовження 10%				

11.4. Добавки в термопластичні і термореактивні смоли

При додаванні препрегам певних властивостей в термопластичні і термореактивні матриці часто вводять добавки. Іноді вводять відразу кілька добавок, наприклад, барвники і різні наповнювачі, що покращують балістичні характеристики броні. Використовуючи різні добавки, можна поліпшити цілий ряд характеристик матеріалу. Наприклад, підвищити його ударну в'язкість, знизити горючість, газопроникність, зробити його

більш радіопрозорим в промені радара, поліпшити стійкість до впливу ядерного опромінення, збільшити біологічну і хімічну стійкість.

11.5. Використання матриць

Однією з перших матриць, використаної для виготовлення протибалістичних бронежилетів, була суміш фенольної і полівінілбутиральної (ПВБ) смол. Ця смола була розроблена компанією DeBell and Richardson Inc. для нейлонових прокладок шолома на початку 1960-х рр. Матрицю отримують зміщенням каталізованою фталевим ангідридом фенол формальдегіду і ПВБ з ваговим співвідношенням компонентів 1: 1. Carswell повідомив, що змішена фенол/ПВБ матриця має більш високі властивості як по відношенню до чистого ПВБ (термопласт), так і по відношенню до фенольної смоли (терморектопласт). Фенол/ПВБ суміш має високу ударну в'язкість, гнучкість і еластичність термопласта (ПВБ) і хорошу термостійкість і стійкість до розчинників, характерні для фенольної смоли. Використання цієї смоли спільно з нейлону, кевларовими або скляними волокнами дозволяє досягти гарної протибалістичної стійкості композиту.

Суміш фенол/ПВБ широко використовують в якості матриці для виготовлення броні на основі волокон Kevlar. Вона дозволяє домогтися більш високої міцності склеювання шарів тканини в порівнянні з іншими матрицями, наприклад, фенолвінілацетальної змішаної матриці. Дослідження впливу складу на властивості фенол/ПВБ сумішей показало, що максимальну адгезійну міцність досягається при концентрації ПВБ 40%. Протибалістична стійкість композиту максимальна при концентрації ПВБ від 40 до 60%. При меншій концентрації ПВБ в суміші (від 0 до 20%) органопластики на основі волокон Kevlar руйнуються крихко, і їх балістичні характеристики виявляються зниженими.

Для виготовлення композитів на основі тканин з поліетиленових волокон Spectra оптимальна вінілефірна (ВЕ) (Derakane компанії Dow Chemical) і термопластична поліуретанова смоли (ПУ) (Disperol компанії Mobay Chemical). Були розглянуті також суміші ВЕ і ПУ і інші матричні смоли типу меламінформальдегіда, полівінілового спирту та модифіковані фенол/ПВБ системи. Дослідження органопластиків на основі тканини Spectra і сумішей ВЕ і ПУ смол показано, що балістична стійкість броні визначається жорсткістю і об'ємним вмістом матриці. Обидва ці фактори визначають ступінь зміщення волокон при ударі, впливаючи таким чином на величину поглиненої енергії і силу гальмування снаряда. Те ж дослідження показало, що більш жорстка ВЕ смола більше обмежує рух ниток, збільшуючи здатність композитів до поглинання енергії кулі.

Незважаючи на високу жорсткість, термостійкість і стійкість до дії розчинників, через необхідність застосування розчинників і виділення шкідливих парів при просочуванні волокон все більш актуальними стають екологічні проблеми, що виникають при використанні термореактивних смол, включаючи фенольні і ВЕ. Іншими недоліками термореактивних смол є обмежений термін зберігання через поступової поперечної зшивки при зберіганні. Крім того, термореактивні матриці можна використовувати повторно, а волокнисті композити на основі термореактивних матриць важко ремонтувати.

Тому термопластичні матриці набагато краще термореактивних смол. Композити на основі термопластичних матриць можуть зберігатися дуже довго, і вони мають меншу вартість виробництва. Висока ударна в'язкість і хімічна стійкість цих полімерів роблять їх дуже привабливими для використання в волокнистих композитах. При цьому висока міцність і мала повзучість повинні зберігатися при підвищеній зовнішній

температурі. Термопласти плавляться, і тому композити на їх основі легше виготовляти і ремонтувати в польових умовах шляхом плавлення матриці.

Крім вищезгаданої термопластичної поліуретанової матриці (Dispercol) для виготовлення захисних щитів на основі НВМПЕ тканини Spectra використовували стирол - бутадієн - стіроловий сополімер Kraton компанії Shell Chemical. У органопластиках на основі волокон Кевлар використовували також термопластичні поліетилен низької щільності (ПЕНЩ) і лінійний поліетилен низької щільності (ЛПЕНЩ).

Якщо вибір матриці зроблений, наступний крок при розробці препрегів полягає у визначенні ступеня адгезійного зв'язку волокон і матриці, від якої залежить балістична стійкість, заброньова деформація, жорсткість, довговічність і інші особливості броні. Зв'язок залежить і від поверхневих властивостей волокон, і від хімічного складу матриці.

12. Технологія виготовлення препрегів. Способи нанесення матриць (смола)

12.1. Поверхнева обробка волокон

12.2. Мокре просочування та сушіння

12.1. Поверхнева обробка волокон

Від змочуваності поверхні волокон рідкою полімерною смолою залежать властивості препрегів. Оскільки матриця повинна покривати більшу поверхню волокон, поверхнева енергія має важливе значення. Змочуваність визначає поверхневий натяг матриці і поверхневу енергією волокон. Поверхневий натяг виражається відношенням сили до одиниці довжини і вимірюється в одиницях дин/см ($1 \text{ дина} = 10^{-5} \text{ Н}$).

Поверхнева обробка поперечно орієнтованого препрега або тканого матеріалу **впливає** на кінцеві властивості броне. Поверхнева обробка волокна повинна забезпечити появу на ній полярних або хімічних активних груп, що вступають в реакцію з рідкою полімерною смолою. Вона дозволяє поліпшити змочування поверхні волокна і сприяє посиленню його зв'язку з матрицею. Тканини можуть оброблятися після переплетіння.

Поверхневий натяг можна визначати вимірюючи контактний кут краплі, що лежить на підкладці. Краплю поміщають на поверхню і розглядають через мікроскоп для вимірювання кута контакту. Однак для волокнистого матеріалу цей метод непридатний, оскільки він передбачає наявність плоскої поверхні підкладки. У таких випадках для якісного визначення якості змочування поверхні використовують ряд різних рідин з каліброваним поверхневим натягом. Краплю поміщають на волокнистий субстрат, і, якщо вона має вигляд «намистинки»,

поверхневий натяг підкладки невисокий. Якщо ж вона розтікається, то поверхневий натяг рідини низький. Використовуючи ряд рідин, можна отримати оцінку значення поверхневої енергії.

Швидку оцінку змочуваності поверхні волокон можна зробити **методом Шарпі** (рис. 12.1.). По матеріалу проводять ручкою, і, якщо чорнило розтікається, поверхнева енергія волокнистого матеріалу буде достатньою для просочення матрицею.

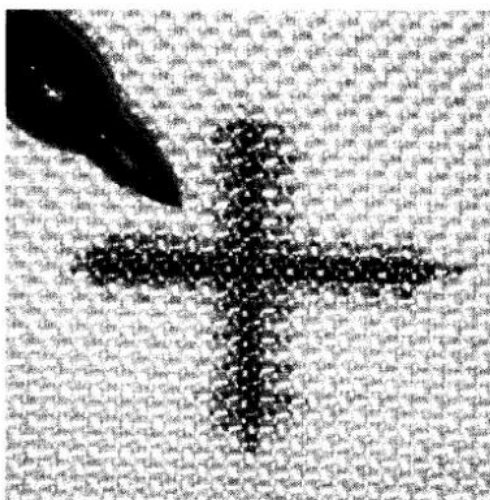


Рис. 12.1. Метод Шарпі

Головна відмінність між волокнами конструкційного і протибалістичного призначення полягає в рівні їх поверхневої обробки. Для протибалістичних волокон не потрібно настільки ретельна обробка поверхні, як у випадку волокон конструкційного призначення, які повинні мати дуже хороший зв'язок з матрицею.

Волокна різного хімічного складу вимагають оригінальної поверхневої обробки, і у всіх випадках необхідно знайти компроміс між комерційною доступністю, вартістю і якістю поверхневої обробки. Треба враховувати, що утворюються при обробці газоподібні продукти, які

перед викидом в атмосферу повинні очищатися, щоб не представляти небезпеки для навколишнього середовища.

Нижче перераховані деякі види поверхневої обробки волокон, які використовують для виготовлення протибалістичних препрегів:

- промивка;
- хімічна обробка (не використовують);
- плазмова обробка;
- обробка коронним розрядом;
- ультрафіолетове щеплення.

Хімічна обробка

Існує великий вибір методів хімічної обробки високоміцних волокон конструкційного призначення з метою збільшення їх адгезії з матрицею, жоден з них для протибалістичних композитів не використовують. Це частково обумовлено хімічною структурою поверхні арамідних і СВМПЕ волокон, і частково - існуванням інших, менш складних і більш зручних способів безперервної обробки волокон, тканин і матеріалів з войлоку.

Промивка

Нитки або тканину пропускають через хімічний розчин, що видаляє надлишок апрету і допоміжної речовини, що наносяться на волокна перед переплетінням тканини.

Нижче описані процеси промивання, які використовують у текстильному виробництві:

1. Промивання тканини у воді при кімнатній температурі;

2. Промивання тканини в розчині з рН = 9,0-9,5, що складається з: Hostapur концентрацією 0,1 г/л, TSP концентрацією 0,5 г/л;

3. Промивання при 40°C;

4. Прання при 40°C;

5. Прання при 21°C;

6. Сушка волокон.

Після промивання знову перевіряють наявність залишків хімікатів на волокнах. Після чистки поверхнева енергія збільшується, і це сприяє збільшенню тертя зі снарядом.

Чистка призводить до збільшення захисних протиуламкових властивостей касок. Оптимальний захист досягається в разі напівочищених волокон. При цьому збільшується тертя і зменшується розшарування композиту при ударі.

Таблиця 12.1. Вплив очищення волокон на протибалістичні характеристики каски, виготовленої з препрегів Spectra Style 903 з вінілефірної матриці

Рівень очищення	Вага корпусу (фунт)	V ₅₀ , уламок вагою 17г (фут/с)	V ₅₀ , уламок вагою 2г (фут/с)
Контрольний (не очищений)	2,55	2277	4152
Частково промитий	2,59	2408	4428
Повністю промитий	2,57	2378	4335

Плазмова обробка

Плазмова обробка здійснюється електричним розрядом у вакуумній камері, заповненій киснем або аміаком. Електричний розряд збуджується радіочастотним випромінюванням, під дією якого в газі утворюються

електрони, іони, вільні радикали і нестійкі частки. Важливе значення має вибір газу. Утворені електрони і вільні радикали зіштовхуються з поверхнею волокна, в результаті чого розриваються полімерні ланцюги і утворюються вільні радикали. Процес припиняють після певного часу обробки, і вакуумний насос видаляє газ.

Таблиця 12.2. Вплив плазмової обробки на міцність між шарами композиту на основі НВМПЕ волокон

Обробка	Вміст матриці (вага%)	Міцність при зсуві між шарами (МПа)
Відсутня обробка	34,6	5,7±0,3
Аміачна плазма, 1 хв	37,9	11,1±0,3
Аміачна плазма, 2 хв	37,6	11,8±0,6
Аміачна плазма, 10 хв	35,4	11,8±1,9
Киснева плазма	35,3	6,6±0,6
Коронний розряд	35,2	7,0±0,8

Плазма дозволяє обробляти волокна і тканини в безперервному режимі. Котушки з нитками (або рулони протибалістичної тканини) виходять за межі вакуумної камери, а нитки пропускають через реактор, в якому проводиться їх плазмова обробка при низькому тиску газу. Після обробки нитки або тканини намотуються на приймальні котушки, що знаходяться за межами вакуумної камери.

Обробка коронним розрядом

Коронний розряд - це низькоенергетичний електричний розряд, яким обробляють волокна, тканини і неткані матеріали. Установка для обробки коронним розрядом не вимагає вакуумної камери і камери,

заповненої аміаком або киснем. Волокна або тканини пропускають через коронний розряд і намотують на катушки. Коронний розряд зазвичай представляє у вигляді малопотужного світіння поверхні матеріалу, що оброблюється. Насос видаляє виділені при обробці газу.

Підвищення інтенсивності обробки коронним розрядом посилює взаємодію волокон і матриці, що зменшує товщину панелі, але балістична стійкість при цьому знижується. Більш високий рівень обробки збільшують адгезію, механічну жорсткість і зносостійкість, знижує ступінь розшаровування і величину заброньової деформації жорстких бронепанелей. Поверхнева активність матеріалу після обробки плазмою або коронним розрядом з часом знижується, але після досить інтенсивної обробки через кілька годин або днів в залежності від інтенсивності обробки і хімічної структури волокна.

Таблиця 12.3. Вплив коронного розряду на балістичну границю плоских формованих панелей на основі препрегів з тканини Spectra Style 903 / вінілефір. Випробування уламками вагою 17 гр. згідно стандарту MIL-STD-662F

Рівень обробки	Кількість шарів	Товщина (дюймов)	Вага (фунт/фут ²)	V ₅₀ (фут/с)
A	30	0,325	1,53	1845
2×A	30	0,323	1,53	1769
3×A	30	0,322	1,52	1754

Ультрафіолетове щеплення

Ультрафіолетове щеплення на поверхню волокна проводять пропусканням волокна або тканини через нагріту ванну з розчином щепленого мономера, фотосенсибілізатора і розчинника. Після змочування волокон їх пропускають через ванну з ацетоном, вимиваючи

надлишок змочуваної рідини. Після промивання ацетоном волокна пропускають через ванну, в якій при кімнатній температурі на поверхню волокна наносять розчинений в ацетоні щеплений мономер і фотосенсибілізатор. Ця ванна розташована безпосередньо перед камерою, в якій проводиться опромінення ультрафіолетом. Покриття волокна проходять через кварцову ультрафіолетову трубку. Поточний потік азоту в цій трубці забезпечує охолодження волокон і обмежує доступ кисню. Після цього прищеплене ультрафіолетом волокно промивають в ацетоні і гарячій воді.

Таблиця 12.4. Міцність при зсуві між шарами органопластиків на основі НВМПЕ волокон

Обробка	Міцність при зсуві між шарами (МПа)
Волокна без обробки	10
Обробка плазмою	20
Волокна з УФ щепленням	30

12.2. Мокре просочування та сушіння

Це один з найпростіших методів виготовлення препрегів складається в безперервному пропусненні тканини або нетканого волокнистого матеріалу через розчин матриці. Залишок матриці видаляють.

У разі **термопластичної матриці** її кінцевий вміст в препрегах залежить від наступних **параметрів** (рис. 12.2.):

- зміст матриці в розчині;
- в'язкості розчину при виготовленні препрегів;
- розтягуючи напруження тканини;

- стабільність температури процесу нанесення матриці;
- контроль вологості і температури в зоні нанесення матриці.

У разі термореактивної матриці її вміст залежить від наступних параметрів:

- концентрації матриці в розчині;
- в'язкості розчину при виготовленні препрегів;
- протибалістичні напруження тканини;
- стабільності температури процесу нанесення покриття;
- контроль вологості і температури в зоні нанесення матриці.

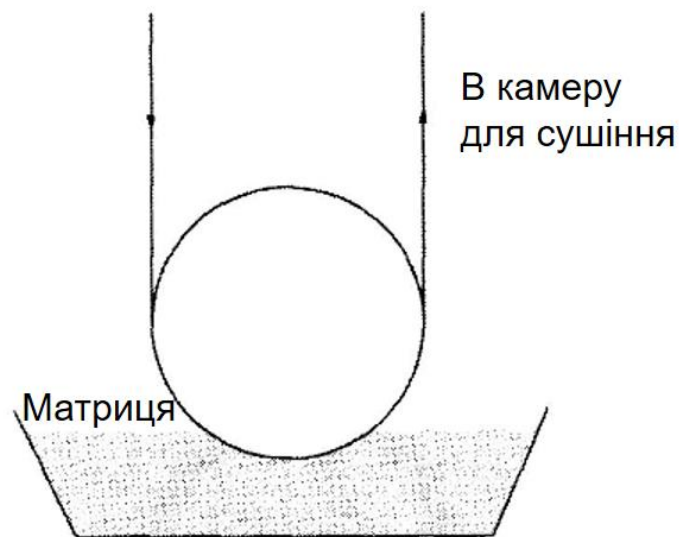


Рис. 12.2. Метод мокрого просочування волокон

Нанесення матриці за допомогою ножа

Для видалення надлишків матриці з препрегів в цьому випадку використовують металевий ніж, який притискається до тканини, що рухається. Надлишки матриці повертають в просочену ванну (рис. 12.3.). Ножом може служити плоский, звужений або гострий металевий прут.

Зазор між ножом і протибалістичним матеріалом визначає кінцеву вагу матриці.

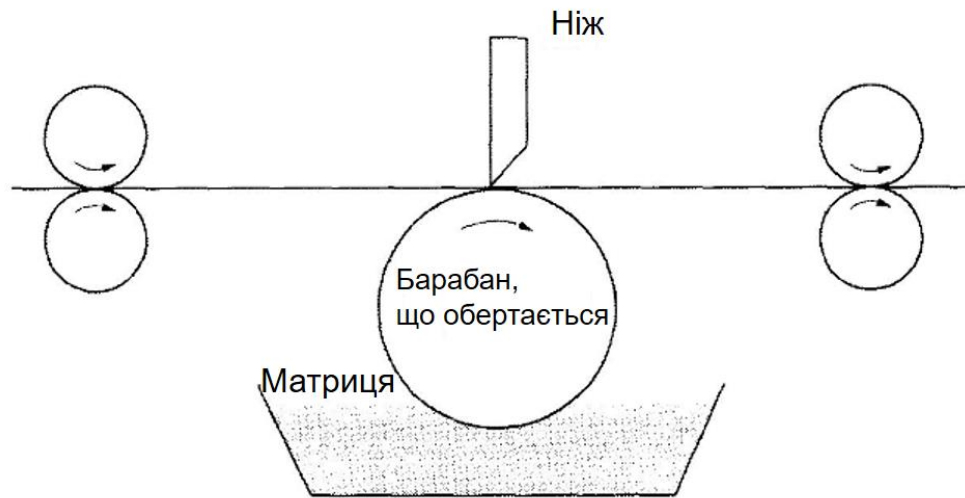


Рис. 12.3. Метод мокрого просочування волокон за допомогою ножа

Цей метод нанесення рідкої матриці на полотно простий і не потребує особливих навичок обслуговуючого персоналу.

Нанесення матриці за допомогою гострого леза

В даному випадку надлишки матриці видаляють не ножом, а лезом, яке притискається до тканини. Цей метод використовують для виробництва високонаповнених препрегів на основі арамідної або склотканини і сумішевих фенол/ ПВБ матриці. В'язка матриця заповнює поверхневі поглиблення тканини, що дозволяє отримувати гладку поверхню для подальшого формування жорсткої броні.

Нанесення матриці валками

Нанесення матриці відбувається барабаном (валком), що обертається в тому ж напрямі, що і тканина (рис. 12.4.). Просочувальний барабан практично не тисне на тканину. Кількість матриці, що наноситься залежить від зазору між тканиною і просочувальним барабаном.

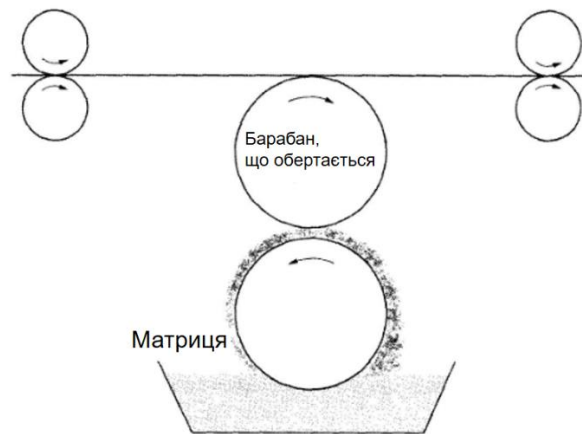


Рис. 12.4. Нанесення матриці використовуючи барабан

Нанесення періодичних смуг матриці

Для обмеження нанесення матриць її іноді наносять на одну зі сторін тканини або нетканого протибалістичного матеріалу у вигляді періодичних смуг. Метод нанесення смуг матриці на поверхню тканини дозволяє зменшити вміст розчинника, що збільшує швидкість процесу. Так як концентрація матриці в розчині в цьому випадку вище, розчинник випаровується набагато швидше. Одночасно зменшується кількість енергії, необхідної для рекуперації розчинника.

Періодичне нанесення смуг матриці використовують для виготовлення препрегів на основі арамідних тканин і фенол/ПВБ матриці, з яких формують жорсткі каски і бронепанелі. Так як матрицю наносять тільки на одну сторону тканини, склеювання шарів досягається за рахунок розтікання матриці при високій температурі.

Балістична стійкість формуваннях композитів зростає через їх розшарування.

Нанесення матриці реверсивними барабанами

Нанесення матриці барабанами, що реверсивно обертаються, є одним з найбільш поширених методів просочення протибалістичних матеріалів з матрицею низької в'язкості. Через простоту, точності і високу швидкість процесу просочення реверсивними барабанами **вибирають для сильно розбавлених матриць**.

Існує кілька варіантів нанесення матриці барабанами, що реверсивно обертаються. У всіх випадках матриця на змочувальний валок наноситься з надлишком, який видаляється за допомогою другого валка. Надлишок матриці повертають в просочену ванну. Як правило, змочувальний валок занурюється в розчин матриці. Після проходження барабанів на тканині залишається тонкий шар матриці (рис. 12.5.).

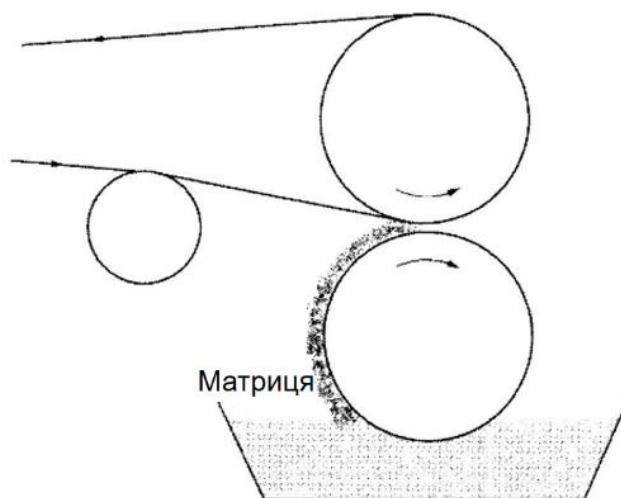


Рис. 12.5. Нанесення матриці барабанами, що реверсивно обертаються

Препреги з матрицею у вигляді плівки

У Європі та Північній Америці є широкий вибір полімерних матриць у вигляді тонкої термореактивної або термопластичної плівки, що без

зупинки подається. Плівку наносять на тканину або односпрямований шар нагріванням під тиском.

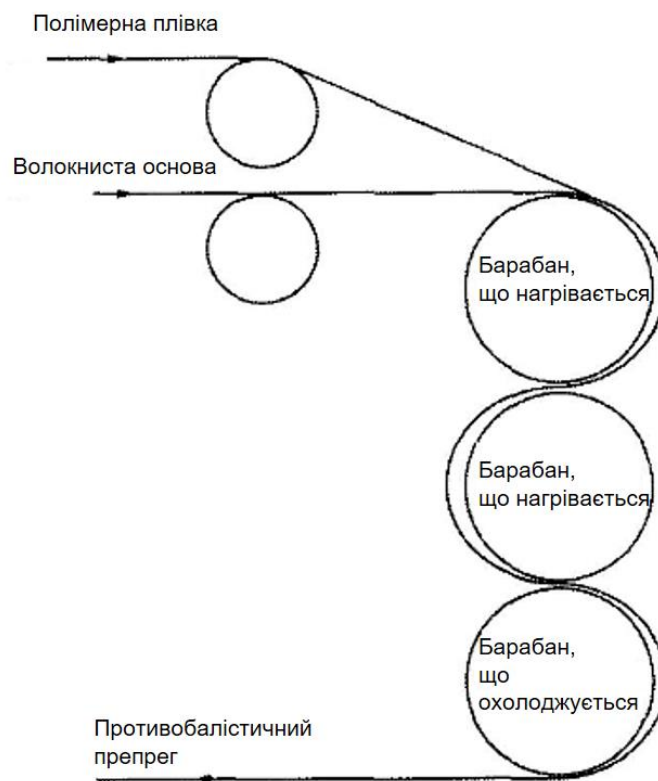


Рис. 12.6. Нанесення матриці у вигляді плівки

Препреги з плівковою матрицею мають такі переваги:

- контроль вмісту матриці з високою точністю (<1%);
- вміст матриці може бути менше 5 ваг.%;
- висока однорідність препрегів, розкид вмісту якої не перевищує 0,5%;
- відсутність летких органічних речовин і необхідності видалення надлишку води при ламінуванні;
- висока швидкість виробництва препрегів внаслідок відсутності стадій сушіння і видалення летких речовин;
- підвищений термін зберігання;

- контрольоване змочуванність волокон;
- чудові балістичні властивості.

Такі препергі використовують для формування касок і композитів, що підтримують керамічні пластини в засобах індивідуального захисту та броні транспортних засобів.

Нанесення декількох шарів матриці

Кілька шарів матриці наносять, якщо вони повинні виконувати кілька функцій, наприклад:

- шар 1 являє собою жорстку матрицю, що забезпечує високі конструкційні та балістичні властивості композиту;
- шар 2 забезпечує негорючість матеріалу;
- шар 3 забезпечує міцний зв'язок із шаром кераміки;
- шар 4 забезпечує забарвлення композиту.

При нанесенні декількох полімерних шарів перший з них не повинен розчинятися або розкладатися при накладенні другого і наступних шарів.

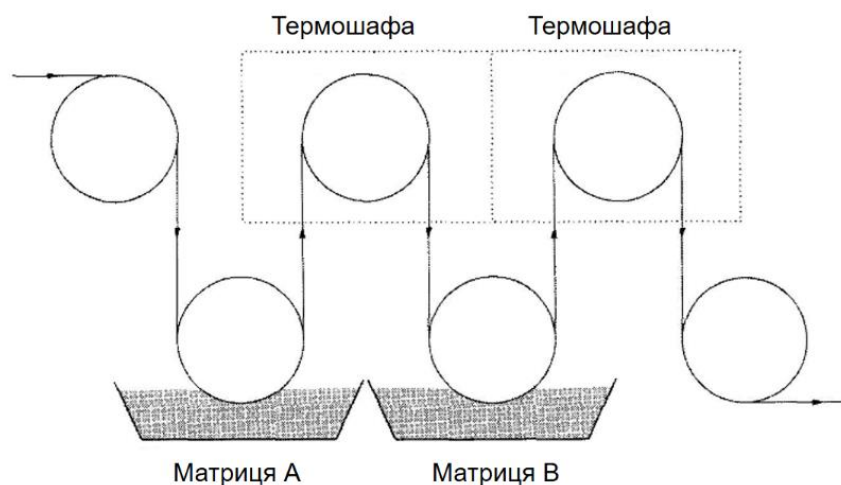


Рис. 12.7. Нанесення декількох шарів рідних полімерних матриць

Інші методи виробництва препрегів

Відзначимо, що для виробництва протибалістичних препрегів не застосовуються деякі методи, використовувані для виробництва препрегів конструкційного призначення, наприклад, нанесення розплаву або порошку, екструзія і розпорошення. У порівнянні з конструкційними матеріалами, обсяги виробництва протибалістичних препрегів невеликі, проте область їх застосування розширюється, а технологія їх виробництва постійно розвивається.

13. Якість препрегів. Випробування, зберігання, утилізація препрегів

13.1. Контроль механічного натягу препрегу

13.2. Візуальний огляд

13.3. Вага і вміст препрегу

13.4. Диференційно-скануюча калориметрія (ДСК)

13.5. Інфрачервоне випромінювання

13.6. Механічні випробування

13.7. Балістичні випробування

13.8. Зберігання препрегів

13.9. Вторинна переробка препрегів

13.10. Утилізація препрегів

13.1. Контроль механічного натягу препрегу

Якість препрегів може бути перевірено на будь-якому етапі виробництва, зберігання і підготовки матеріалу. Далі розглянемо методи контролю протибалістичних матеріалів. Є цілий ряд факторів, що впливають на ступінь однорідності розподіл матриці. Одним з них є натяг основи в процесу виготовлення препрегу.

Натягом називають силу, яка виникає в препрезі на певній стадії його виготовлення. Регулюючи силу натягу, можна подовжувати матеріал в залежності від типу матеріалу (тканого або нетканого), способу переплетіння ниток, ширини полотна, температури тощо. Зазвичай при багаторазовій обробці тканини її натяг рекомендують зберігати. Контролювати цей процес досить складно, однак обладнання працює

краще, якщо в процесі виробництва преперега натяг підтримується на постійному рівні. Знання поведінки препергу при натягу дозволяє збільшити продуктивність процесу його отримання.

Натяг тканини при виготовленні препрегів контролюється на вході і виході. Для установки сили, що розтягує, важливо знати міцність тканини і параметри механізму, що створює натяг. Натяг має бути таким, щоб не було провисаючих або перетягнутих ділянок тканини.

Швидкість руху протибалістичного препрега при просочуванні вища, ніж у препрега конструкційного призначення. Це пов'язано з більш низьким вмістом матриці і меншою кількістю технологічних стадій обробки в порівнянні з препрегами конструкційного призначення. Виробництво препрегів управляється за допомогою мікропроцесора, який приймає сигнали від двигунів і сенсорних пристроїв машини, що виробляє препреги.

13.2. Візуальний огляд

Візуальний огляд протибалістичних препрегів вельми простий. Ця процедура недорога, займає мінімум часу і зусиль, але може дати цінну інформацію про якість препрегу без проведення дорогих випробувань. При візуальному огляді препрег розгортають і пропускають через нього світло. Неозброєним оком відзначають і реєструють будь-яку зміну кольору, відсутність волокон, зміну вмісту матриці, наявність бруду тощо. Для кількісної оцінки використовують шкалу кольорів Гарднера (ASTM D1544) і показник заломлення (ASTM D542-50).

13.3. Вага і вміст препрегу

Перевірка ваги на відповідність специфікації може дати корисну інформацію про якість препрега. Від рулону відрізають кілька зразків,

зважують і порівнюють з паспортними даними. Відхилення ваги в межах 2% зазвичай вважається допустимим.

Вміст матриці

Концентрація матриці в препрезі може бути визначена шляхом її повного видалення. Для цього використовують розчинники типу ацетону, метилетилкетону, толуолу тощо. Зразки розміром 15×15 см промивають 3-4 рази свіжим розчинником, висушують, а решту матеріалу зважують, обчислюючи вміст волокон і, відповідно, матриці.

Концентрація матриці, %

$$= \frac{\text{Початкова вага зразка} - \text{Кінцева вага сухих волокон}}{\text{Початкова вага зразка}} \cdot 100\%$$

$$\text{Концентрація волокон, \%} = \frac{\text{Кінцева вага сухих волокон}}{\text{Початкова вага зразка}} \cdot 100\%$$

Якщо препреги частково затвердіють або матриця складається з суміші смол, ця методика може не працювати.

Вміст летких речовин

При виробництві протибалістичних препрегів полімерну смолу зазвичай розчиняють у великій кількості розчинника. Хоча практично весь розчинник видаляють з препрегу шляхом сушіння, одним з методів контролю є перевірка вмісту летких речовин. Для цього з рулону вирізують невеликі зразки. Їх нагрівають в термокамері з циркулюючим повітрям до температури 100-150°C. після цього зразки охолоджують до кімнатної температури, зажують і розраховують втрату ваги:

Концентрація летких речовин, %

$$= \frac{\text{Початкова вага} - \text{Вага зразка після сушки}}{\text{Початкова вага}} \cdot 100\%$$

Зазвичай випробувань три або більше зразків одного типу. Аналогічні випробування проводять, використовуючи методики ASTM D3539-76, MIL-G-83410 (USAF)MIL-R-7575.

Густина (щільність)

Щільність (питома вага) препрегу може служити показником якості партії і виробничого процесу. Для формованих деталей і препрегів, які не розчиняються в певних хімікатах, для контролю щільності використовують методики ASTM D792 (вимірювання щільності) і ASTM D1505 (градієнт щільності).

Вимірювання в'язкості

Це є звичайним методом контролю якості препрегів конструкційного призначення, в яких вміст матриці досить високий, а її в'язкість невелика. Однак, в протибалістичних препрегах вміст матриці невеликий і вона може не стікати навіть при високій температурі. В такому випадку це випробування провести не дається, особливо в разі термопластичних матриць, в'язкість яких після видалення розчинника дуже висока.

Растрова електрона мікроскопія (РЕМ)

Растровий електронний мікроскоп використовують для контролю розподілу волокон в препрезі, щільності їх упаковки, виявлення пошкодження волокон при переплетенні ниток або при виготовленні препрегу, а також для оцінки розподілу матриці в препрезі. Метод використовують і для визначення наявності бруду. Незважаючи на дуже малий розмір зразків, цей електронний мікроскоп дозволяє вивчати мікроструктуру препрегу.

13.4. Диференційно-скануюча калориметрія (ДСК)

Диференційно-скануюча калориметрія – це досить простий метод контролю якості, що вимагає дуже малої кількості препрега. Результатом експерименту ДСК є крива теплового потоку в залежності від температури або від часу (рис. 13.1).

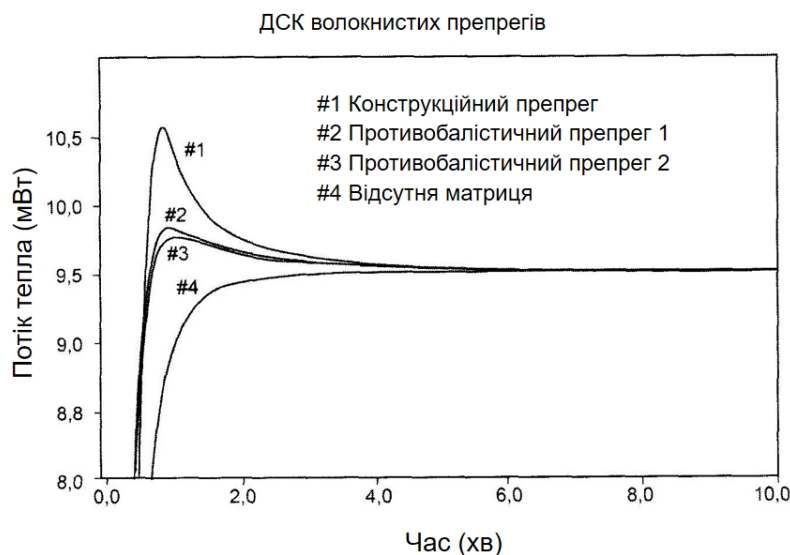


Рис. 13.1. випробування методом диференційно-скануючою калориметрією

Диференціальна скануюча калориметрія (ДСК) - це термоаналітическа методика, в якій різниця в кількості тепла, необхідного для підвищення температури зразка і еталона, вимірюється як функція температури. І зразок, і еталон підтримуються при практично однаковій температурі протягом усього експерименту. Як правило, температурна програма для аналізу ДСК розроблена таким чином, що температура держателя зразка лінійно збільшується як функція часу. Контрольний зразок повинен мати добре визначену теплоємність в діапазоні температур, які потрібно сканувати.

Методика була розроблена Е. С. Уотсоном і М. Дж. О'Нілл в 1962 р [1] і представлена як комерційний продукт на Питтсбургської конференції з

аналітичної хімії і прикладної спектроскопії в 1963 р Перший адіабатичний диференційний скануючий калориметр, який можна було використовувати в біохімії, був розроблений П. Л. Приваловим і Д. Р. Монаселідзе в 1964 році в Інституті фізики в Тбілісі, Грузія. Для опису пристроїв, що реалізують цю методику прямого вимірювання енергетики теплових ефектів і прецизійного вимірювання теплоємності і був запропонований термін ДСК.

13.5. Інфрачервоне випромінювання

Метод інфрачервоного контролю (ІК) використовує відмінності теплового потоку в присутності дефектів структури. Зразок нагрівають і спостерігають за температурою поверхні за допомогою чутливого ІК радіометра. Кожен матеріал має свій ІК спектр випромінювання (рис. 13.2).

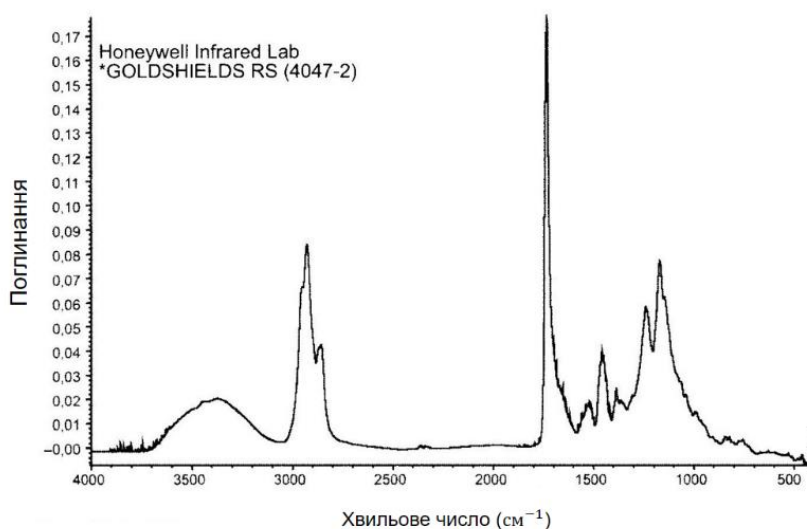


Рис. 13.2. ІК – спектр препрега

Інфрачервоні дефектоскопи використовують інфрачервоні (теплові) промені для виявлення непрозорих для видимого світла включень. Так зване інфрачервоне зображення дефекту отримують в прохідному, відбитому або власному випромінюванні досліджуваного виробу.

Дефектні ділянки у виробі змінюють тепловий потік. Потік інфрачервоного випромінювання пропускають через виріб і реєструють його розподіл теплочутливим приймачем.

13.6. Механічні випробування

Механічні випробування препрегів проводять для перевірки відповідності характеристикам, які висуваються до протибалістичних волокнистих композитів. Випробування використовують для контролю якості і розкиду властивостей різних партій препрегів.

З препрегів в умовах, рекомендованих для даної матриці, формують пластини розміром 30×30 см. З пластини вирізають зразки розміром, рекомендованим стандартом ASTM D790. Відношення довжини до товщини зразків дорівнює 40:1. Визначають міцність при згині, модуль пружності при згині, а також граничний прогин зразка. Далі випробування проводять, якщо формована броня буде використовуватися в умовах розтягування (ASTM D638) або стискання (ASTM D).

Таблиця 13.1. Властивості протибалістичних матеріалів при згині (ASTM D790)

Матеріал	Матриця	Товщина (дюймів)	Вага (фунт/фут ²)	Міцність (ksi)	Модуль пружності (ksi)
A	X	0,21	1,00	1,38	185
A	Y	0,21	1,00	0,68	49
A	Z	0,22	1,00	12,4	2060

13.7. Балістичні випробування

Гнучкі бронежилети в залежності від рівня захисту готують і випробують по методикам, описаних стандартом NIJ 0101.04, а жорстку формовану броню – відповідно до стандарту MIL-STD-662F. Гнучкі бронежилети випробовують на каліброваній підкладці пластиліну №1.

Число шарів бронепакета розміром 45×45 см підбирають так, щоб зупинити всі рекомендовані стандартом кулі зі швидкістю V_0 (початкова швидкість всіх куль). Випробовують мінімум п'ять бронепакетів. На всіх п'яти зразках не повинно бути повних пробитих при пострілі під кутом 00 і 30°, а заброньова деформація не повинна перевищити 44мм.

Жорсткі бронепластини розміром 30×30 см формують в умовах, рекомендованих постачальником сировини. Число шарів в бронепластинах залежить від рівня балістичної загрози. Для захисту від ураження бронебійними або високошвидкісними гвинтівковими кулями пластили повинні мати зовнішній керамічний шар.

13.8. Зберігання препрегів

Термореактивні матриці зазвичай хімічно активні, і тому при кімнатній температурі вони мають обмежений термін зберігання. Деякі препреги містять низькомолекулярні добавки, і тому їх потрібно зберігати обов'язково в оригінальній упаковці. Для збільшення терміну зберігання препреги зберігають в холодильнику при температурі нижче 0°C. Це відноситься і до їх зберігання між різними технологічними операціями. Перед використанням препреги розморожують в кімнатних умовах протягом декількох годин. Це запобігає утворенню конденсату.

У морозильнику рулони препрегів повинні бути чітко марковані і складені так, щоб не торкалися один одного і не деформувалися під власною вагою. Зберігання рулонів в вертикальному положенні слід уникати. Зберігання препрегів на основі термопластичних матриць не вимагає виконання настільки строгих умов. Їх можна зберігати при кімнатній температурі протягом декількох місяців без втрати властивостей. Препреги і з термореактивної, і з термопластичної

матрицею не повинні піддаватися впливу сонячного світла, високої температури і хімічно активних речовин.

13.9. Вторинна переробка препрегів

Виробники високоміцних волокон, препрегів і кінцевих виробів розглядають можливість вторинної переробки з кількох причин:

- збільшення обсягів виробництва протибалістичних матеріалів в десятки разів;
- обсяг відходів в деяких випадках може досягати 20-25%;
- з волокон, матриці і препрегів можна робити інші вироби;
- вартість сировини досить висока, і тому переробка відходів економічно вигідна;
- менше забруднення навколишнього середовища.

Один із способів вторинної переробки полягає в розрізуванні препрегів на основі арамідних волокон і фенольної смоли в виготовленні гальмівних прокладок.

13.10. Утилізація препрегів

Відходи препрегів хімічно активні, і їх потрібно знищувати після затвердіння матриці. Для цього відходи поміщають в термокамери і нагрівають так, щоб температура перевищувало температуру затвердіння матриці і сталося її повне затвердіння. Потім затверділі відходи охолоджують до кімнатної температури і перевіряють наявність не затверділих ділянок. Повністю затверділі відходи переробляють як тверді матеріали. При знищенні відходів препрегів з термопластичної матриці необхідно вживати заходів щодо запобігання можливого вимивання матриці і попадіння в питну воду.

14. Багатошарові композити (ламінати)

14.1. Основні поняття

14.2. Багатошарові НВМПЄ композити

14.3. Багатошарові органопластики на основі арамідних волокон типу gold shield

14.1. Основні поняття

У протибалістичних структурах для поглинання енергії удару зазвичай використовують багатофіламентні комплексні нитки. Високоміцні волокна повинні утворювати мережу, яка розповсюджується на всю широту і довжину протибалістичної структури. **Форма ниток не залежить від тертя між волокнами, і, як наслідок, в них відсутні внутрішньо слабкі місця, в які може бути спрямований удар.**

Значний клас протибалістичних матеріалів становлять багатошарові волокнисті композити. Оскільки ці структури не є ні тканинами, ні в'язаними виробами, їх іноді відносять до **нетканих матеріалів**. Насправді вони являють собою **типові багатошарові волокнисті композити** на основі деякої матриці.

Протибалістичні композити, які отримують укладанням односпрямованих шарів волокон, і які з'єднуються полімерною матрицею, набувають все більш широке поширення. У таких композитах зі **снарядом контактує набагато більша кількість високоміцних волокон, ніж в тканих або в'язаних матеріалах**. Матриця також бере участь в дисипації енергії, а композиційний матеріал сприяє швидкому відділенню оболонки від свинцевої серцевини і сплющуванню останньої при ударі. За цим принципом зараз працюють два матеріали – **Spectra фірми Honeywell і Dyneema UD фірма DSM**.

В шарі всі волокна укладені паралельно один одному. Потім їх склеюють матрицею для формування безперервної структури. Матриця фіксує положення волокон. Ще один такий же шар орієнтують під кутом 90° . Поздовжні і поперечні шари склеюють і отримують рулон поперечно орієнтованого композиту (рис. 14.1).

Виробництво рулонного матеріалу при цій технології запатентовано. Зазвичай цей матеріал називають Spectra, що в перекладі на українську мову означає щит. За цією технологією можна робити матеріал з усіх типів безперервних волокон, включаючи НВМПЄ, арамідні і ПБО волокна.

Поперечно орієнтований ($0/90^\circ$) композиційний матеріал характеризується тим, що в ньому нитки не переплітаються, а укладаються паралельно один одному.

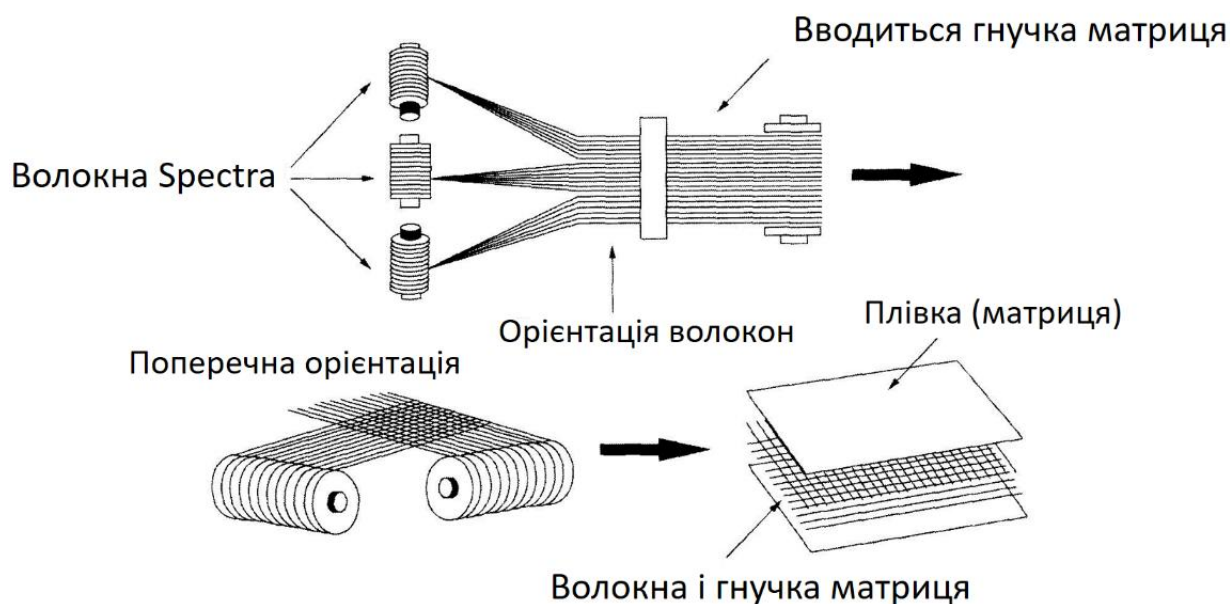


Рис. 14.1. Виробництво волокон Spectra Shield

14.2. Багатошарові НВМПЕ композити

Волокна НВМПЕ (Spectra і Dyneema) просочують різними полімерними смолами. При використанні **каучукоподібної матриці** отримують м'який композит, а при використанні **фенольної смоли** отримують більш жорсткий композит. Важливо, що волокна НВМПЕ **чутливі** до температури. Хоча вони плавляться приблизно при 140°C, композити на їх основі починають розм'якшувати вже при 50-60°C. тому композиційні матеріали на основі нових **жорсткіших смол, менш чутливих** до зміни температури дозволяє досягти прийнятного компромісу в цьому відношенні.

На сьогоднішній день багатошарові композити, які складаються з поперечно орієнтованих шарів односпрямованих волокон, **забезпечують** оптимальне співвідношення ваги і балістичних властивостей при захисті від різних видів зброї. Це **єдині матеріали, здатні зупиняти** гвинтівкові кулі 7,63 мм М80 або 7,2 мм АК-47 при щільності 17 кг/м². Безумовно, найпривабливішим властивістю багатошарових матеріалів (Spectra і Dyneema) є їх мала вага.

З іншого боку, ці матеріали не позбавлені певних недоліків, наприклад, **погіршення механічних властивостей при високих температурах**. При використанні багатошарового композиту в ролі підкладки під кераміку механічні властивості особливо важливі, так як жорсткість підкладки є визначальним чинником забезпечення високої балістичної ефективності броні.

Тканина Spectra і матеріал Spectra Shield загоряються лише при температурі 360°C. вони менш пожежонебезпечні, ніж бавовняні і поліефірні тканини, з яких шиють уніформи поліцейських. **Вогнестійку броню** роблять, обшиваючи матеріал Spectra Shield жаростійкою

тканиною. Тканина Spectra **плавиться** при температурі 150°C, причому при 70°C вона зберігає 94% початкових балістичних характеристик (в кімнатних умовах). При цій температурі броня обпікає шкіру менш ніж за секунду, так що при такій високій температурі бронематеріал експлуатуватися не може.

В результаті орієнтації границя міцності волокон Spectra збільшується настільки сильно, що стає вище арамідних волокон. Крім того, **щільність волокон Spectra настільки мала (0,97), що вони плавають**. При однаковій вазі ці волокна в десять разів міцніші за сталь.

Однонаправлені шари **Spectra Shield** роблять паралельним укладанням ниток Spectra, **склеюючи їх еластичною матрицею Kraton** (виробленої компанією Shell Chemical). Після цього два шари укладають в перпендикулярному напрямку і склеюють. **Отриманий двошаровий матеріал закривають з обох сторін сіткою до стирання плівкою і отримують тонкий, гнучкий лист Spectra Shield, який використовується для виготовлення броні**. Досить товсту жорстку броню роблять поперечним укладанням декількох шарів.

Важливою характеристикою матеріалу Spectra Shield є висока швидкість звуку – 12,3 км/с, з якої поширюється хвиля напруження, що з'явилася при ударі. В результаті цього енергія кулі встигає розподілитися на велику область броні. Протягом 1-2 мс, за які куля зупиняється бронею і підтримує матеріалом, її енергія розподіляється і поглинається по всій панелі (рис. 14.2, 14.3).

Однонаправлений композит міцний в цьому напрямку

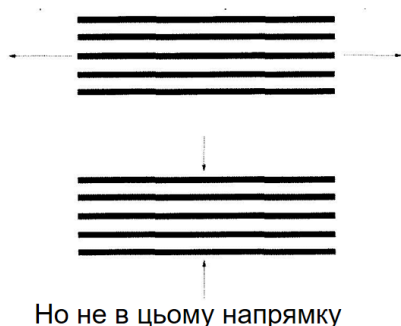


Рис. 14.2. Жорсткість односпрямованого матеріалу залежить від напрямку навантаження

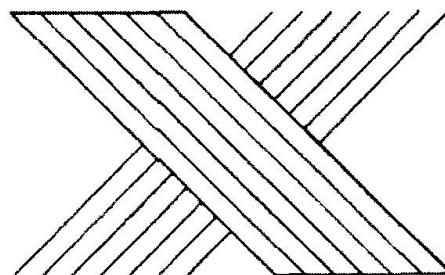


Рис. 14.3. Поперечно орієнтований шаруватий композиційний матеріал

14.3. Багатошарові органоластики на основі арамідних волокон типу gold shield

В даний час існує і багатошарові композити на основі односпрямованих шарів арамідних волокон. Однак для використання в якості підкладки для кераміки їх властивості виявилися гіршим, ніж у органоластиків на основі НВМПЕ волокон.

Слід мати на увазі, що броня з кераміки і арамідів була створена зовсім недавно, і робити певні висновки по відношенні до них поки передчасно. Дійсно, спочатку вони призначалися для м'якої броні (бронежилетів, які захищають від пістолетних куль), і лише останнім часом їх стали застосовувати в поєднанні з жорсткими матрицями для виготовлення підкладок для кераміки в засобах індивідуального захисту та для бронезахисту транспортних засобів.

MIL-L-62474B. Багатошарові органоластики на основі арамідної тканини

Специфікація була переглянута в 1984 році. Її використовують всі відділи і агентства Міністерства оборони США. Вона описує використання

багатошарового органопластика на основі арамідної тканини в композитній броні.

Класифікація

Ламінати описують наступним чином:

- Тип І. Плоскі;
- Тип ІІ. Формовані;
- Клас А. Використовуються нитки з лінійною щільністю 1500 деньє, що складаються з 100 елементарних волокон;
- Клас В. Використовуються нитки з лінійною щільністю 3000 деньє, що складаються з 1333 елементарних волокон;

Вимоги

Зразки для випробувань: перед початком масового виробництва підрядник повинен надати дослідні зразки для огляду і випробування. Усі наступні ламінати повинні відповідати цим зразкам за всіма фізичними та експлуатаційними параметрами. Будь-яка зміна технології виробництва, методу переплетіння тканини, складу полімерної матриці або конструкції ламінату вимагає нових випробувань.

Матеріали: протибалістичний матеріал не повинен мати дефектів, що несприятливо впливають на експлуатаційні характеристики і надійність продукту.

Класифіковані вироби: після успішного проходження випробувань підрядник несе відповідальність за використання тільки класифікованих матеріалів.

Арамідна тканина

- ламінати класу А. Арамідна тканина 42×42 з некрученою ниткою з лінійною щільністю 1500 деньє;

- ламінати класу В. Арамідна тканина 21×21 з некрученою ниткою з лінійною щільністю 3000 деньє.

Арамідні тканини класів А і В при максимальній вологості 5 мас.% повинні важити 551 ± 25 г/м².

Матриця: складається з каталітичної суміші з фенолформальдегідної і полівінілбутиральної смол, які каталітично затверджуються. Вага матриці становить 16-20% від повної ваги матеріалу, а вологість не повинна перевищувати 2%.

Виготовлення: ламінат повинен складатися із зазначеної кількості шарів арамідної тканини, які склеєні матрицею. Його виготовляють за один цикл формування при високій температурі і тиску.

Варіація товщини: зміна товщини не повинна перевищувати 0,38мм для ламінату типу І і 0,76 мм для ламінату типу ІІ. Ламінат має бути досить рівним, а зміна товщини не повинна перевищувати 5,00 мм/м.

Вага: поверхнева щільність ламінату повинна відповідати встановленому стандарту (0,62-0,74 кг/м²).

Процес формування ламінату

При формуванні ламінату повинні виконуватися наступні умови:

- ламінати типу І формують в пресі при тиску 1380 ± 70 кПа;
- ламінати типу ІІ формують в пресі при тиску 1380 ± 70 кПа або в автоклаві при тиску мінімум 345 кПа.

Зазначене вище тиск повинен підтримуватися на наступних стадіях процесу пресформування ламінатів типу I і II.

- при збільшенні температури пластин преса до $166\pm 6^{\circ}\text{C}$;
- при температурі пластин преса $166\pm 6^{\circ}\text{C}$ протягом часу пресування зазначеного в табл. 14.1;

Таблиця 14.1. Час формування

Кількість шарів	Час формування (хв)
1-10	30
11-20	45
21-30	60

- при охолодженні преса до 82°C . Після цього ламінат можна видаляти з преса.

Зазначений тиск повинен підтримувати на наступних стадіях автоклавного формування ламінатів **типу II**:

- при збільшенні температури автоклава до $166\pm 6^{\circ}\text{C}$;
- при формуванні пластин при температурі $166\pm 6^{\circ}\text{C}$ протягом часу, зазначеного в табл. 14.1;
- при охолодженні до 66°C , після чого ламінат можна видаляти з автоклава.

Кінцева обробка ламінатів

Ламінат можна формувати між двома шарами плівки, які потім видаляються. Обрізку і механічну обробку пластини проводять разом зовнішніми шарами, які потім видаляються. Після обрізки ламінату з використанням охолоджувальної рідини його обробляють механічно і сушать при температурі $93\pm 6^{\circ}\text{C}$. Після висушування кромки всіх вирізів і отворів ламінату його покривають епоксидною смолою. Епоксидна смола

повинна відповідати стандарту MTL-R-9300, а температура її затвердіння повинна бути не нижче 121°C.

Характеристика ламінату

Захисний поверхневий шар вручну при кімнатній температурі без застосування розчинника.

Теплостійкість: ламінати не повинні розшаровуватися після двох циклів нагрівання від -54 до +121°C.

Балістична стійкість: для визначення границі балістичної стійкості ламінату V_{50} використовують уламок калібру 0,3 (вагою 44 грама), що відповідає MIL-P-46593. Випробування двох пластин розміром 508×508 мм, що складаються з двадцяти шести шарів, описується стандартів MIL-STD-662. Середнє значення V_{50} має бути не менше 686 м/с.

Візуальний огляд: ламінат повинен задовольняти рівню I стандарту ASTM D2563. Він не повинен виявляти таких дефектів: пори, дефекти підгоряння, тріщини, поверхневі тріщини, крайові розшарування, внутрішніх розшарувань, плям від не проклеєної матрицею шарів, недостатньою просочення матрицею і зморшок просочених шарів бронепакета. Шари тканини не повинні мати крапель матриці, бути досить прямим і не мати здуття.

15. Керамічні матеріали. Види кераміки.

15.1. Керамічні вироби. Загальні характеристики

15.2. Типи кераміки

15.3. Форма виробів з кераміки

15.4. Жорсткі формовані композитні пластини з лицьовим керамічним шаром

15.5. Броня з керамічним облицюванням і гнучкою підкладкою

15.6. Каски з керамічним лицьовим шаром

15.7. Бронезахист транспортних засобів

15.1. Керамічні вироби

Розробка кераміки для захисту від балістичних загроз має довгу історію. Керамічна композитна броня спочатку призначалася для захисту від ураження кулями зі свинцевою серцевиною, а пізніше від потужних бронебійних.

Розширення використання кераміки для захисту від стрілецької зброї (аж до бронебійних гвинтівкових куль калібру 14,5) і зброї більшого калібру (починаючи з 20мм гармат) пояснюється її високим потенціалом.

Дві головні причини: балістична ефективність та низька вартість. Керамічні матеріали мають значно більш високі захисні якості, ніж металева броня той самої ваги. Крім цього, кераміка дозволяє використовувати підкладку з недорогих матеріалів, наприклад, склопластику, сталі та алюмінію, що призводить до зниження вартості броні.

Керамічні матеріали, яким можна надавати різну геометричну форму (квадратні, прямокутні, шестикутні панелі і монолітні плити, що використовуються для виготовлення індивідуальної броні), можна

поєднувати з підкладкою з композиційних матеріалів на основі високоефективних поліетиленових або арамідних волокон.

При зіткненні з керамікою снаряд руйнується, а висока міцність кераміки при стисканні дозволяє їй витримати навантаження, які виникають при ударі. У матеріалу снаряда з'являється течія, і в результаті він руйнується на дрібні фрагменти. Підкладка броні зупиняє ці уламки і знижує небезпеку отримання травми від удару.

Однак броня з керамічним лицьовим шаром має і **недоліки**, головними з яких є її недостатня вібростійкість до ударів. Крихкість кераміки долають за рахунок удосконалення виробничого процесу, поліпшення конструкції броні і підвищення характеристик волокнистого композиту, який розташований позаду.

Необхідність в захисті від балістичних ударів набуває все більшого значення. Імовірність ураження на полі бою все зростає (наприклад, внаслідок більш частого використання бронебійних куль і зниження питомої частки боєприпасів зі свинцевою серцевиною), що впливає на вибір керамічної броні. Тому кераміка продовжує відігравати важливу роль на ринку бронематеріалів.

Розберемо, яким чином вдалося подолати недоліки керамічної броні і в якій мірі вона може бути пристосована до специфічних вимог різних систем індивідуального захисту та захисту транспортних засобів. Зрозуміло, при однаковому рівні балістичної загрози кожна система захисту має свої обмеження, і тому конструкція керамічної броні повинна володіти достатньою гнучкістю і пристосовуваністю.

15.2. Типи кераміки

Сьогодні численні види керамічних матеріалів виготовляють переважно з штучної, а не з природної сировини. Це пояснюється відсутністю природних матеріалів, що володіють бажаними властивостями, і складністю виробничих процесів, враховуючи щоб властивості сировини задовольняли дуже суворими критеріями. В результаті часто виникає необхідність в добавках, наприклад, полімерних. Важливо мати на увазі, що розвиваються не тільки самі матеріали, а й технологія виробництва, конструкція броні і області її застосування.

Кінцеві властивості матеріалу залежать від різних факторів. Наприклад, від тиску формування, ступеня спікання і наявності хімічного зв'язку між частинками кераміки. Щоб забезпечити високі і стабільні балістичні характеристики, процес повинен бути контрольованим. **Процеси отримання кераміки можна розділити** на менш дорогі (металокераміка) і більш дорогі (кераміка гарячого пресування). Використання дорогої кераміки виправдано, коли головним критерієм вибору матеріалу є можливість зниження ваги в розрахунку на одиницю поверхні (наприклад, карбід бору або карбід кремнію). Окис алюмінію можна використовувати, коли головним фактором виявляється вартість матеріалу, а не його вага.

Розглянемо властивості керамічних матеріалів, які знайшли широке застосування при виготовленні **полегшеної броні**. Перераховані вище міркування вказують на деякі відмінності керамічних матеріалів. Тому за краще описати властивості кераміки в рамках застосування в якості броні, а не чисто науковий опис їх механічних властивостей, які можуть істотно відрізнятися у різних фірм - виробників.

Окис алюмінію Al_2O_3

До теперішнього часу кераміка з окису алюмінію (Al_2O_3) залишається **найбільш популярним** керамічним матеріалом, що пояснюється чудовим співвідношенням високих експлуатаційних властивостей і низькою вартістю (табл. 15.1.).

Таблиця 15.1. Властивості окису алюмінію

Середня густина	г/см ³	3,6-3,9
Вміст окису алюмінію	%	90-99
Поглинання води	%	0
Твердість по Вікерсу	МПа	1200-1500
В'язкість руйнування	МПа м ^{1/2}	3-5
Міцність при гнутті	МПа	330-380
Міцність при стиску	МПа	≥2000
Модуль пружності	ГПа	270-370

Кераміка на основі окису алюмінію має хороші балістичні властивості. Її **використовують** як для захисту від куль малого калібру (5,56 мм), так і від снарядів великих калібрів (35 - 105 мм). Для поліпшення механічних властивостей кераміки в неї вводять певні добавки (наприклад, двоокис цирконію).

Окис алюмінію є найменш крихким і найдешевшим сучасним керамічним матеріалом, що важливо для більшості видів броні. Однак вона має серйозний **недолік** - порівняно велика вага. Її випускають у вигляді виробів різноманітної форми, а **отримують** її в основному методом пресування у формі або спіканням.

Карбід і нітрид кремнію (SiC , SiN)

Ця кераміка використовується все більше, коли **необхідно** знизити вагу виробу. Середнє значення механічних властивостей цих матеріалів приведені в табл.15.2.

Існує два основні **методи отримання** карбіду кремнію. У першому зв'язок частинок SiC досягається шляхом протікання хімічних реакцій. Для цього в порівняно крупнозернистий компактуючий порошок карбіду кремнію додають вуглець і метал, який у вакуумній печі плавиться. Часто замість металу використовують кремній, який реагує з вуглецем і утворюється SiC. Другий метод полягає в спіканні порошкоподібного SiC за допомогою неоксидних добавок. Часто також використовують стандартні процеси формування кераміки, при яких температура спікання досягає 2000⁰C і вище.

Таблиця 15.2. Властивості карбіду кремнію SiC

Середня густина	г/см ³	3,1-3,3
Поглинання води	%	0
Твердість по Вікерсу	МПа	2000-2600
В'язкість руйнування	МПа м ^{1/2}	3-5
Міцність при гнутті	МПа	≥350
Міцність при стиску	МПа	≥2500
Модуль пружності	ГПа	380-450

Випускають **три основних типи нітриду кремнію SiN**: хімічно пов'язаний нітрид кремнію, нітрид кремнію гарячого пресування і спечений нітрид кремнію. Хімічно пов'язаний нітрид кремнію виготовляють шляхом проведення хімічної реакції компактуючого порошку кремнію та азоту. Нітрид кремнію гарячого пресування і спечений нітрид кремнію мають кращі фізичні властивості, що дозволяє використовувати їх у випадках, що вимагають більш високих експлуатаційних характеристик. Як і кераміку з окису алюмінію, нітрид кремнію випускають у вигляді виробів самої різної геометричної форми.

Карбід бору B₄C

Середнє значення механічних властивостей карбіду бору (B₄C) наведені в табл. 15.3.

Таблиця 15.3. Властивості карбіду бору

Середня густина	г/см ³	2,4-2,5
Вміст В ₄ С	%	90-99
Поглинання води	%	0
Твердість по Вікерсу	МПа	2800-3200
В'язкість руйнування	МПа м ^{1/2}	2,5-3
Міцність при гнутті	МПа	400-420
Модуль пружності	ГПа	450

По твердості карбід В₄С займає третє місце серед усіх відомих людству матеріалів (після алмазу і нітриду бору з кубічною структурою - кристалічною решіткою). Цей матеріал має невелику вагу, але його **недоліком** є крихкість. Крім того, В₄С надзвичайно дорогий.

15.3. Форма виробів з кераміки

Плоскі пластини

Плоскі пластини можуть мати квадратну, прямокутну або шестикутну форму. Їх розміри можуть варіюватися від квадратів розміром 20 × 20 мм аж до прямокутників довжиною 200мм і більше. За механічними властивостями пресовані пластини зазвичай досить однорідні. **Найбільш уразливими точками броні є стики пластин.**

Товсті і тонкі пластини

Довжина і ширина тонких пластин обмежені їх товщиною. Можна виготовити тонку пластину (3-4 мм), розміри якої будуть приблизно відповідати розміру бронепанелі (10 × 12 дюймів), але при цьому вона буде дуже крихкою і може розбитися при транспортуванні або експлуатації, навіть при наявності композитної підкладки.

Товсті пластини можуть досягати розмірів 100 мм і навіть 300 мм. Вони призначені для захисту від ураження снарядами великого калібру.

Велика товщина ускладнює отримання однорідних механічних властивостей пластини.

Малі, великі і монопластини

Геометрична форма і особливо площу деталей з кераміки мають вирішальний вплив на їх балістичні властивості. **Чим більше пластина, тим більше енергії вона здатна поглинути і тим менше енергії змушена розсіювати композитна підкладка.**

З іншого боку, **чим ширше керамічна пластина, тим менше її стійкість до багаторазових ударів.** В цьому випадку механічна стійкість до низькошвидкісних ударів також виявляється зниженою.

Невеликі пластини шириною 20 мм дуже добрі, коли необхідно забезпечити максимальну ступінь захисту від множинних влучень. При ударі кераміка руйнується на меншу площу, що обмежує поширення тріщини, однак в цьому випадку знижується і рівень розсіювання енергії. В результаті броня виявляється більш важкою, так як для збільшення дисипації енергії удару її доводиться оснащувати важкої підкладкою. Традиційний спосіб зниження ваги в цьому випадку полягає в установці між керамічної пластиною і підкладкою прокладок, завдання яких полягає в зниженні пробивної сили уламків снаряда.

З іншого боку, великі керамічні пластини ефективні для зупинки снарядів великих калібрів від 20 до 105 мм. Для максимальної дисипації енергії слід використовувати пластини великого розміру. Зрозуміло, зниження стійкості до множинних влучень небажано, але обмежена точність стрільби з гармат вимагає стійкості до багаторазових ударів тільки при дистанціях менше 300м.

Монопластини зазвичай використовують в системах індивідуального бронезахисту. У цьому випадку **товщина пластини мала в порівнянні з її довжиною і шириною**. Такі пластини досить крихкі, що компенсується за рахунок використання відповідної підкладки.

Правильність геометричної форми і величина допусків при виготовленні кераміки також грають важливу роль для забезпечення гарної склейки кераміки і підкладки, що дозволяє досягти найкращої балістичної стійкості.

У будь-якому випадку, ключовим фактором забезпечення однорідності габаритів і механічних властивостей кераміки залишається рівень технологічних «ноу - хау» фірми - виробника.

Кераміка особливої геометричної форми

Як зазначалося вище, кераміка може мати різну форму - від квадратних і шестикутних пластин (плоских або вигнутих) до кулястої, циліндричної і т.п. Це може бути пов'язано як з вагою, балістичними або механічними властивостями виробу, так і з міркуваннями маркетингу. Керамічна деталь повинна мати певні властивості, і особливі форми допомагають вирішувати різні проблеми, наприклад, **захист від множинних влучень, створення броні складної тривимірної форми або досягнення високої ударної стійкості**.

Куляста форма (у вигляді шару)

Пластини і куляста форма поглинають енергію удару по-різному. При одній і тій же товщині куляста форма теоретично дозволяє знизити вагу броні на 50% в порівнянні з пластиною. На практиці, навіть якщо керамічні шарики сильніше змінюють напрямок польоту кулі, для того щоб компенсувати відсутність кераміки між ними, їх діаметр повинен

бути збільшений приблизно на 30%. Деякі розробники пропонують укладати шарики в кілька шарів (зазвичай не більше двох). Однак реально досягти зниження ваги і вартості броні за рахунок використання таких систем так і не вдалося.

Циліндрична форма

Вертикально розташовані циліндри поведуться аналогічно шарикам, оскільки між ними є зазор (простір), який не може брати участь в дисипації енергії. Однак циліндри **мають** більшу міцність на стиск, а в деяких випадках і більшу балістичну ефективність.

Елементи, які мають кулясту та циліндричну форма невеликі за розмірами. Їх загальний **недолік** полягає в наявності слабких місць між ними. До теперішнього часу найкращим способом усунення цього недоліку є поліпшення конструкції підкладки (наприклад, завдяки використанню волокон).

Пластини складної геометричної форми

Монопластини складної геометричної форми можуть мати різний розмір. Використовують і пластини невеликого розміру (50 × 50 мм), і поодинокі нагрудні вставки розміром 250 × 300 мм.

Керамічні пластини формують під тиском або просто під дією власної сили ваги. Для забезпечення заданих габаритів і однорідної механічної структури під час спікання важливо контролювати внутрішні напруження і усадку порошку.

Монопластини складної кривизни є **найпопулярнішим** видом індивідуальної броні, оскільки їх виготовлення не вимагає дорогого устаткування, а при правильному виборі і хорошого склеювання з підкладкою вони дозволяють отримати броню найменшої ваги. Їх

головним недоліком залишається крихкість, що значно скорочує термін експлуатації.

Деякі виробники випускають також керамічні вставки великої товщини, які кріплять на підкладку, що складається лише з кількох шарів тканини. Так вони домагаються зниження вартості броні, яка, однак, виявляється надмірно крихкою і теоретично підлягає заміні після одноразового використання. За оцінками армії деяких країн, **50% їх індивідуальних бронесистем підлягають заміні після однократного використання або навіть просто після зберігання на складі.**

15.4. Жорсткі формовані композитні пластини з лицьовим керамічним шаром

Зазвичай керамічне облицювання складається або з одиночної пластини, або з безлічі з'єднаних один з одним невеликих пластин, що утворюють плоску або вигнуту поверхню.

Слід зазначити, що розмір керамічних елементів впливає на характер руйнування як самої кераміки, і снаряда. **Чим більше керамічна пластина, тим більше енергії вона поглинає і, отже, тим менше енергії припадає поглинати підкладці.**

Чим більше енергії поглинає кераміка, тим більше вона пошкоджується і тим більше площа області розтріскування. Тому використання кераміки з запасом товщини дозволяє зменшити товщину підкладки, але при цьому зменшується її здатність витримувати багаторазові балістичні удари. Що ще важливіше, броня стає занадто крихкою і може не забезпечити захисту.

Внаслідок цього структури, що складаються з великого числа пластин (невеликих квадратів, шестикутників і прямокутників), більш

ефективно захищають від множинних влучень, оскільки поширення тріщини обмежена розміром керамічних елементів. **Однак невеликі керамічні пластини поглинають менше енергії.** Крім того, невеликі пластини під навантаженням можуть зрушуватися, що призводить до підвищення ударних характеристик.

Розмір пластин залежить від характеру балістичної загрози. Чим потужніший удар, тим більше повинна бути керамічна пластина. З іншого боку, зменшення поглинання енергії керамікою може бути компенсовано за рахунок збільшення товщини підкладки, що поглинає іншу енергію удару. Це призводить до підвищення загальної ваги броні в розрахунку на одиницю площі. Слід зауважити, що якість підкладки є найважливішим параметром, який повинен знаходитися під строгим контролем.

Таким чином, застосування невеликих керамічних пластин призводить до:

- підвищення захищеності від випадкового низькошвидкісного удару в процесі експлуатації броні;
- підвищення ступеня захисту від множинних балістичних влучень;
- збільшення товщини підкладки;
- збільшення ваги системи.

Як уже зазначалося, ідеального бронематеріала не існує. Будь-який матеріал, керамічний або волокнистий, має свої недоліки, які доводиться долати за рахунок **використання інших матеріалів:**

- В₄С (карбід бору) - найлегша кераміки, проте вона також і сама тендітна і дорога;

- поліетиленові волокна - найлегші, але вони мають низьку термостійкість і високу швидкість повзучості;

- арамідні волокна дозволяють домогтися компромісу між вагою і вартістю, але не забезпечують захист від високошвидкісних куль зі свинцевою серцевиною;

- керамічні монопластини володіють найвищим енергопоглинанням, але занадто крихкі;

- керамічні кульки забезпечують найвищу ступінь захисту від множинних балістичних влучень і випадкових низькошвидкісних ударів, але призводять до зростання ваги броні.

Загальні властивості кераміки і композитів на основі НВМПЕ і арамідних волокон

Основна перевага броні з кераміки і композитної підкладки в порівнянні з бронею зі сталі полягає в її значно меншій вазі (зазвичай в 2-3 рази). Можливість зниження ваги є найважливішим фактором при виборі матеріалу броні, навіть якщо взяти до уваги крихкість кераміки і, отже, гірші захисні властивості.

Підкладка з полегшених композиційних матеріалів

Підкладка є другим за значимістю елементом, який дозволяє досягти оптимальних властивостей броні. Зазвичай в якості матеріалу підкладки в полегшених бронесистемах використовують скло - і органопластики, що пояснюється їх легкістю, чудовими механічними властивостями і легкістю обробки, що дозволяє надати їм майже будь-яку форму. Діапазон їх вартості досить широкий. Склопластик є дешевим, а органопластик на основі високоміцних поліетиленових НВМПЕ волокон - найдорожчим (приблизно в десять разів дорожче склопластику).

Проте, вибір матеріалу підкладки в більшій мірі залежить від потужності снаряда. Дійсно, броня на основі кераміки та підкладки з волокнистого композиту, **призначені для захисту від куль калібром 5,56 або 7,62 мм, і не може захистити від ураження важкими снарядами калібру 20-30мм.**

Засоби індивідуального бронезахисту особового складу

Кераміка знаходить широке застосування в засобах індивідуального захисту особового складу, оскільки вона дозволяє добитися не тільки значного зниження витрат (в порівнянні з системами, що складаються з НВМПЕ), але і забезпечує захист від ураження бронебійних куль невеликого калібру. Це обумовлено тим, що керамічний шар здатний зруйнувати сталеву серцевину кулі, що не під силу одному лише органопластику.

Однак застосування кераміки в індивідуальній броні має серйозний **недолік**, а саме: крихкість і, як наслідок, низьку здатність витримувати множинні балістичні удари. Виробники ведуть велику роботу по підвищенню ударостійкості кераміки і її здатності забезпечувати захист від множинних влучень. Це завдання вони вирішують шляхом вибору оптимальної підкладки та забезпечення її зв'язку з керамікою.

15.5. Броня з керамічним облицюванням і гнучкою підкладкою

Протягом останніх років робота зі створення гнучких видів броні велася повсюдно. У цій області існує кілька розробок, які або не були сертифіковані, або залишилися недоступними для широкого кола користувачів. В даний час єдиним комерційно виробленим виробом є **Ceraflex**. Броня торгової марки Ceraflex створена на основі існуючих протибалістичних матеріалів, причому вона має гнучкий зв'язок кераміки з підкладкою. Це дозволяє досягти найкращого співвідношення між

вагою, рівнем захисту, стійкістю до множинних влучень, а також собівартістю. Керамічне облицювання роблять з безлічі керамічних пластин, що лежать на гнучкій прокладці, під якою розташовується підкладка з арамідних, поліетиленових або скляних волокон, але може бути і металева структура зі сталі або алюмінію.

Гнучку броню випробували на відповідність різним стандартам, в тому числі і стандарту NIJ 0101.04 («балістична стійкість індивідуальної броні для захисту особового складу»). Поліпшення властивостей волокон і кераміки має прокласти шлях до нових розробок і подальшого підвищення ефективності гнучкої броні. Що стосується використання гнучкої броні для захисту транспортних засобів, то поки воно не викликає великого інтересу, оскільки завдання полягає не тільки в поглинанні кінетичної енергії снаряда, але і в зниженні ступеня деформації при вибуху.

15.6. Каски з керамічним лицьовим шаром

Каска повинна не тільки захищати від балістичної загрози (зазвичай від уламків), але і мати достатню міцність, щоб витримувати випадкові удари при виконанні повсякденних бойових завдань. Деякі виробники розробили монолітні вигнуті корпуси, що прикривають передню і бічні поверхні каски. У більшості випадків кераміку підтримує корпус каски з арамідної тканини. Слід знову підкреслити, **що монопластина здатна зупинити снаряд тільки в разі, якщо вона не була пошкоджена до цього** (наприклад, при виконанні попереднього бойового завдання).

Подолати зазначений недолік і поліпшити експлуатаційні характеристики дозволяє гнучкий керамічний захист, виготовлена з безлічі невеликих керамічних пластин. Відзначимо, що установка додаткової кераміки на каску, що важить до 1 кг, призводить до

збільшення ваги більш ніж удвічі, що прийнятно тільки при виконанні короткострокових бойових завдань, пов'язаних з підвищеними балістичним погрозами.

Використання матеріалу Shield, що складається з поліетиленових волокон і жорсткої матриці, є найкращим способом отримання ваги каски на прийнятному рівні при одночасному підвищенні рівня захисту від ураження гвинтівковими кулями. Каски цього типу вже запущені у виробництво, хоча і в дуже обмежених кількостях.

Наслідки використання таких касок досліджувалися декількома лікарями, проте конкретних висновків про ступінь захисту голови від травм даними касками поки не було зроблено. Вважають, що найкраще рішення полягає в досягненні найбільшою мірою захисту при обмеженні ваги каски певним рівнем. Це особливо стосується касок округлої форми, оскільки удар під деяким кутом вимагає значно меншого поглинання кінетичної енергії.

15.7. Бронезахист транспортних засобів

Більшість транспортних засобів в Збройних Силах США вже обладнано бронею з керамічним облицюванням, починаючи від легких повнопривідних автомобілів 4 × 4, вантажівок, бронетранспортерів і закінчуючи бойовими машинами піхоти. Захист, що забезпечується бронею, в більшій мірі залежить від властивостей снаряда і його кінетичної енергії.

Наземні транспортні засоби

Різноманітні балістичні загрози докладно описані в стандарті Stanag 4569 (Методи оцінки рівнів захисту бойових броньованих машин легкої категорії від ураження боеприпасами кінетичної дії й осколками

осколково-фугасних снарядів польової артилерії). Зазвичай найбільшу загрозу для бойових машин піхоти і бронетранспортерів представляють бронебійні снаряди калібру 20-30 мм. У танках керамічна броня використовується рідше, і вона не завжди необхідна. Механічні властивості потужних снарядів (швидкістю 1300 м/с) обумовлені наявністю тонких зміцнюючих стрижнів, виготовлених з важких сплавів вольфраму або аналогічних металів. Заряд гранатомета (класу РПГ7) являє собою снаряд з високошвидкісним кумулятивним струменем міді (швидкістю 4-7 км/с).

Броня з керамічним облицюванням ефективна для захистів від першої з названих загроз, але не від кумулятивних снарядів, для захисту від яких необхідний багатошаровий матеріал.

На сьогоднішній день в цьому випадку використовують великі і товсті керамічні плити з окису алюмінію Al_2O_3 товщиною від 20 до 90 мм в залежності від кута попадання снарядів, в комбінації з композитами або металами (алюміній/титан/сталь). Такі системи конкурують з металевою бронею, оснащеної проміжними шарами. У розрахунку на одиницю поверхні вони важче більш ніж удвічі. Чим вище кінетична енергія, тим менше ефективність такої системи в розрахунку на одиницю ваги в порівнянні з шаруватою металевою бронею, оснащеної проміжним шаром. Високошвидкісний снаряд викликає потужну ударну хвилю, яка може відбитися і пошкодити ділянки зв'язку з керамікою. Це веде до зниження ефективності при множинних влучань, і тому для її збереження необхідна спеціальна конструкція броні, що забезпечує жорстку фіксацію керамічних плит в початковому положенні.

Найважливішою вимогою до бронезахиту транспортних засобів є висока стійкість до низькошвидкісного удару. Безпека броні забезпечує

поверхнева обробка кераміки, зазвичай за допомогою її інкапсуляції в гуму або метал.

Літаки і гелікоптери

У цій області пріоритетом є **зниження ваги**. Для захисту від всіх куль зі свинцевою серцевиною найкращим матеріалом залишається НВМПЕ матеріал типу Shield, що володіє найменшою вагою при забезпеченні необхідної балістичного захисту.

Для захисту від бронебійних куль калібру 5,56 і 7,62 мм застосовують кераміку з невеликою питомою вагою. Найкращий комплекс властивостей забезпечує **використання SiC і особливо B₄C**, незважаючи на їх більш високу вартість. В цьому випадку броня може забезпечити захист від ураження бронебійними кулями аж до калібрів 12,7/14,5. Коли великі дистанції стрільби захист від множинних влучень не є пріоритетним завданням. Однак **вібростійкість і ударна стійкість броні** (для днища літальних апаратів) дуже важливі при експлуатації апарату. Оскільки вібрація передається через точки кріплення бронепанелей, тому надійне кріплення дуже важливе. Забезпечення розміщення вантажу і ходьби по керамічним панелям, не знижуючи їх балістичні властивості, є досить складним завданням. Для зменшення деформації керамічних деталей під навантаженням перспективними можуть виявитися тонкі і жорсткі матеріали, наприклад, легкі метали або вуглепластики, які відіграють роль зовнішньої захисної оболонки в багатошаровій структурі.

До броні пред'являють вимоги можливості легкого демонтажу при виконанні небойових завдань, внаслідок чого спосіб кріплення броні не повинен бути надмірно складним. Крім того, слід взяти до уваги складність внесення змін до конструкції літаків і гелікоптерів, оскільки ні

один отвір в корпусі (для кріплення болтів) не може бути просвердлений без згоди фірми - виробника.

Корабельна броня

У цій сфері пріоритетним завданням є зниження ваги. Для захисту від свинцевої кулі найкращим матеріалом залишається НВМПЕ Shield, який формується при високому тиску, оскільки він не тільки легкий, але і вологостійкий (на відміну від чутливих до вологи арамідних волокон).

Для захисту від більш серйозних балістичних загроз (бронебійних куль і снарядів) хороше співвідношення експлуатаційних характеристик і собівартості досягається при використанні **кераміки з окису алюмінію**. При цьому може бути забезпечений захист від ураження бронебійними кулями аж до калібрів 12,7/14,5. Як і в разі авіаційної броні, захист від множинних влучень на кораблях не грає великої ролі. Корпус є важливою частиною його броні. Зазвичай корпус виготовляють зі склопластику або алюмінію, жорсткість яких може сприяти міцному кріпленню бронеплит, а в окремих випадках служити і одним з шарів багат шарових сандвіча структур.

Важливе значення має стійкість корабля при русі з високою крейсерською швидкістю, і тому **вібрація броні повинна бути виключена**. Вся ця робота повинна проводитися під контролем фірми - кораблебудівника. Очевидно, що кераміка може сильно вплинути на остійність корабля і, отже, на безпеку екіпажу.

16. Прозорі бронематеріали

16.1. Прозорі бронематеріали. Загальна характеристика

16.2. Зміцнене скло

16.3. Балістична стійкість багат шарових прозорих перешкод

16.1. Прозорі бронематеріали. Загальна характеристика

Прозора броня, яка захищає від куль та уламків, використовується для виготовлення захисних вікон автомобілів, літаків та вертольотів, банків та офісів. У ЗІБ прозора броня застосовується для виготовлення забрав для шоломів та оглядових вікон броньованих щитів.

Крім стійкості від куль прозора броня повинна мати необхідний рівень прозорості.

Для виготовлення прозорої броні найбільш широко використовуються **неорганічне скло** (надалі - скло) та **прозорі полімери**, які називають **органічним склом**. Високі захисні властивості мають високотверді **прозорі керамічні матеріали**: сапфір – монокристалічний оксид алюмінію Al_2O_3 , полікристалічний оксидонітрид алюмінію $Al_{23}O_{27}N_5$, магній алюмінієвий шпінель $MgAl_2O_4$. Широкому застосуванню цих матеріалів у ЗІБ перешкоджає їхня висока вартість.

Скло – макроскопічна однорідна аморфна речовина, що отримана при затвердінні сплаву склоутворюючих оксидів: SiO_2 , Al_2O_3 , B_2O_3 , P_2O_5 та ін. Для **зниження** температури плавлення до склоутворюючих оксидів **додають** оксиди лужних металів виду Me_2O та MeO (наприклад, Na_2O , K_2O). Залежно від складу скло **поділяють** на силікатні, алюмосилікатні, боросилікатні, алюмоборосилікатні і т.д. Щільність звичайного скла змінюється в діапазоні 2,2...3 г/см³; лужне силікатне скло (віконні) – 2,5 г/см³, боросилікатне скло (легше і міцніше) – 2,2 г/см³.

Силікатне скло має дуже складну полімерно – кристалічну структуру (рис. 16.1.): основу утворює просторова сітка з однорідних ланок – поліедрів, а кристаліти SiO_2 є частиною цієї сітки. У такій структурі **не можна** виділити напрямки ковзання, тому скло є крихкими, твердими та жорстким матеріалом.

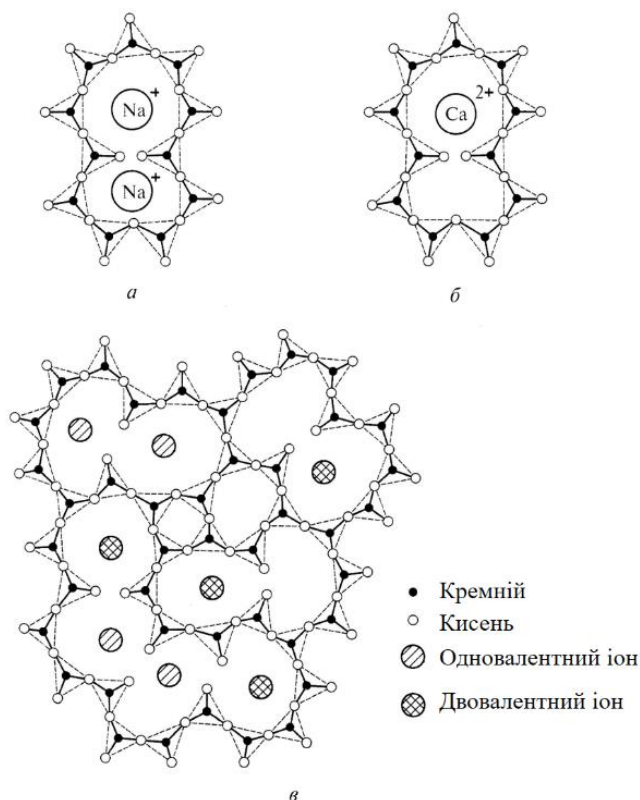


Рис. 16.1. Схематичне уявлення полімерно-кристалічної структури скла: а – силікатно – натрієве скло; б – силікатно – кальциєве скло; в – структура скла, що містить як одно-, так і двовалентні модифікуючі іони.

При деформації до моменту руйнування скло можна вважати **пружним матеріалом** згідно закону Гука. Теоретична міцність скла досягає 10 ГПа, але фактично міцність на розрив у 100 – 1000 разів нижча. Відповідно до **теорії Гріффітса**, така значна відмінність між теоретичною і фактичною міцністю скла обумовлюється наявністю **мікротріщин**, що утворюються як усередині, так і на поверхні зразка. При розтягуванні зразка скла на краях мікротріщини виникають великі перенапруження (ефект концентрації напружень), які викликають поширення тріщини.

Для скла, як і кераміки, характерні малі значення коефіцієнта тріщиностійкості K_{1c} .

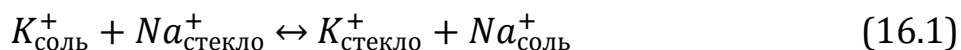
Встановлено, що **кількість мікротріщин**, що утворюються при охолодженні, обробці та експлуатації скла, може змінюватися від кількох одиниць до кількох тисяч на 1 см^2 поверхні. Відповідно до цього **міцність** силікатного скла на розрив змінюється приблизно від 6 ГПа до 5 МПа (приблизно в 1000 разів). Нижня границя відповідає звичайному склу з дефектним поверхневим шаром, верхня границя визначена при випробуваннях у вакуумі скляних зразків, отриманих з добре гомогенізованої скломаси та оброблених плавиковою кислотою для видалення дефектного поверхневого шару. **Найбільшу міцність має малолужне скло та кварцове скло, найменшу – лужне скло. Вода негативно впливає на міцність скла.**

Міцність при стисканні у крихких матеріалів значно перевищує міцність на розтяг (приблизно в 10 разів). Це пов'язано з тим, що стискаючі зусилля, на відміну від розтягуючих, можуть передаватися через існуючі зусилля, на відміну від розтягуючих, можуть передаватися через існуючі тріщини, не призводячи до концентрації напружень. Модуль пружності для різного скла змінюється в межах 45...85 ГПа (для віконного скла – 68 ГПа), мікротвердість – 4...7 ГПа.

16.2. Зміцнене скло

Для виготовлення прозорої броні, як правило, використовують **зміцнене скло**. Зміцнення скла здійснюють стисненням поверхневих шарів скла при хіміко – термічній обробці та поверхневому загартуванні або розчиненням поверхневого дефектного шару.

При хіміко – термічній обробці натрія силікатного скла у ванні з розплавленою сіллю K_2SO_4 відбувається реакція іонного обміну:



в результаті якої в поверхневому шарі іон Na^{+} заміщається іоном K^{+} (калій). Оскільки розмір іона K^{+} на 30% перевищує розмір іона Na^{+} , **утворюється** поверхня стиснутого шару. Хоча **товщина** цього шару мала (долі міліметра), він перешкоджає поширенню тріщини до тих пір, поки зовнішні напруження, що розтягують, не перевищать попередньо створені напруження стискання. Міцність скла при **хіміко – термічній обробці** збільшується у кілька разів.

При **поверхневому загартуванні** здійснюється нагрівання скла вище температури склування з наступним швидким охолодженням повітрям або олією. При цьому в поверхневому шарі виникають стискаючі напруження, а у внутрішніх шарах - розтягуючі. **Міцність скла** підвищується у 2-4 рази. Загартування **ефективне** для скляних листів з товщиною, більшою за 2,5мм. При руйнуванні загартованого листа утворюються уламки без гострих кромки.

Видалити зовнішній дефектний шар скла можна **травленням** у розчині плавикової кислоти. Міцність скла при цьому **зростає** приблизно 10 разів. Однак проблема полягає в тому, що **важко зберегти** скло в бездефектному стані, оскільки легке торкання його поверхні (не кажучи вже про удар кулі) знижує його міцність на 1-2 порядки. Для збереження міцності скла **необхідні** захисні шари із прозорих **полімерних плівок**.

При ударі по пластині, закріпленою або опертою по контуру, виникають **два типи напружень**: звичайні згинальні напруження і локальні напруження в ділянці впливу (при пружному ударі їх називають напруженням Герца). За відсутності проникнення ударника руйнування виникає на тильній поверхні пружнокрихкої пластини, яка внаслідок прогину розтягується. Розглянуті вище способи зміцнення скла найбільш

ефективні для збільшення його міцності при динамічному згині в області пружних деформацій.

При високошвидкісному балістичному ударі, що супроводжується використанням ударника в пластину, одним поверхневим зміцненням не обійтись. Оскільки скло є високотвердим пружнокрихким матеріалом, то закономірності його пробивання такі ж, як у кераміки. **Після початкової стадії взаємодії ударника з перешкодою попереду проникаючого тіла утворюється хвиля руйнування, що і є сіткою тріщини. Щоб зупинити поширення фронту хвилі руйнування, слід використовувати багат шарові прозорі перешкоди, які містять поверхні розділу, що перешкоджають розповсюдженню тріщини.** Попереду вершини тріщини рухається зона розтягування. При підході до поверхні розділу з невисокою міцністю на розтяг тріщина не може передатись у наступний шар перешкоди і буде зупинена.

Одна з найвідоміших багат шарових прозорих перешкод – триплекс. **Триплекс** є багат шаровою перешкодою, в якій скляні та полімерні шари склеєні прозорим полімерним клеєм (рис. 16.2.).

В якості **клею** використовують полівінілбутираль, акрил, поліуретановий клей та ін. Утворюється після полімеризації клею плівка є бар'єром для тріщини, що поширюються. **Роль лицьового шару** скла полягає, по-перше, у локалізації високого піку тиску, що формується на початковому ударно-хвильовій стадії взаємодії кулі з перешкодою, по-друге, у руйнуванні засобу ураження, перетворенні зосередженого впливу на розподілене на більшій площі та поглинанні частини кінетичної енергії засоби ураження. Тому лицьові шари доцільно виготовляти зі зміцненого скла або навіть прозорих керамік. Для запобігання проникненню вторинних уламків в зону, що захищається, тильний шар багат шарового

броньованого скла виготовляється з прозорого пластичного полімеру - полікарбонату - або покривається захисною прозорою полімерною плівкою.

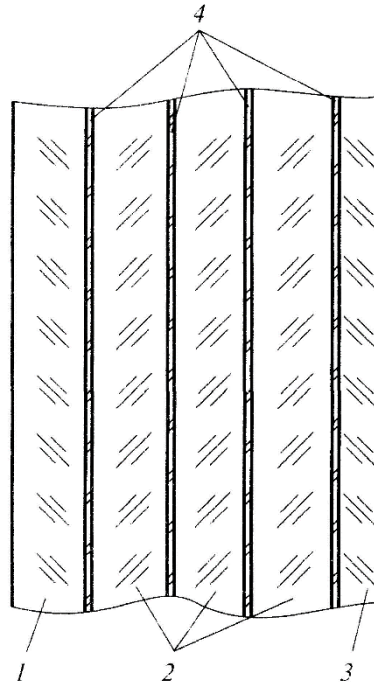


Рис. 16.2. Схема багатошарової прозорої броні: 1 - високотвердий лицьовий шар; 2 – шари скла; 3 – шар полікарбонату; 4 – прозорий клей.

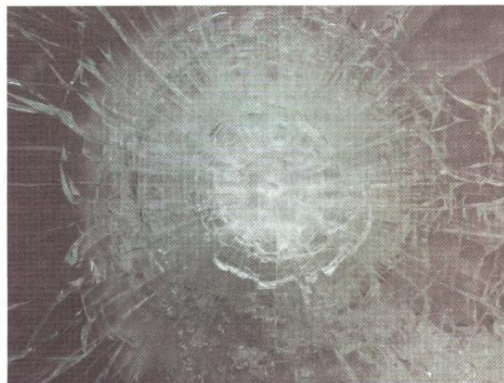


Рис. 16.3. Тришарова прозора перешкода після дії кулі пістолета ПМ (стан лицьової поверхні)

Органічне скло є полімерним матеріалом з аморфною структурою, що забезпечує високу прозорість. У багатошарових захисних перешкодах використовуються найчастіше полікарбонат (ПКБ) та поліметилметакрилат (ПММА).

Полікарбонат – термопластичний полімер на основі дифенілпропану, більш відомий як **дифлон** або **лексан**. Він володіє щільністю $\rho = 1,12 \text{ г/см}^3$, міцністю на розтягування $\sigma_p = 60 \dots 70 \text{ МПа}$, міцністю на стиск $\sigma_c = 80 \dots 90 \text{ МПа}$, відносним подовженням при розриві $\delta = 50 \dots 100\%$. Поліметилметакрилат характеризується високою прозорістю та має більш високу міцність. Його недоліком є низька ударна в'язкість. Якщо ПКБ ударна в'язкість досягає 1000 кДж/м^2 , то ПММА вона дорівнює 17 кДж/м^2 , а відносне подовження при розриві $\delta = 2 \dots 3\%$. Для порівняння деякі властивості скла та прозорих полімерів наведено в табл. 16.1.

Таблиця 16.1. Деякі властивості скла та прозорих полімерів

Властивості	Скло		Органічне скло		
	Віконне	Боросилікатне	Поліуретан	ПКБ	ПММА
Густина, г/см^3	2,5	2,2	1,26	1,12	1,19
Границя міцності при розтязі, МПа	90	95	69	60...70	70
Границя міцності при стиску, МПа	1000	1000	72	80...90	100...106
Модуль зсуву G, МПа	33,3	25,8	8,0	8,76	--
Світлопропускання, %	87	89	80	86	92

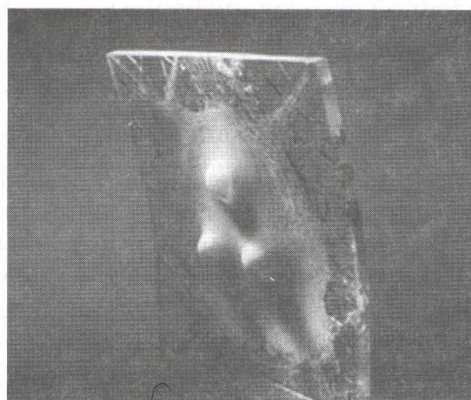
Органічне скло має приблизно в 2 рази меншу щільність порівняно з мінеральним склом. Внаслідок невисокої твердості та малої міцності переваг по кулестійкості органічне скло в порівнянні зі склом практично не мають, тому що для забезпечення захисту з їх допомогою від типових засобів ураження необхідні великі товщини перешкод, що вкрай незручно. Тому їх використовують у багатошаровій прозорій броні як проміжні (ПММА) або тильні (ПКБ) шари. При правильно підібраній товщині лицьового скляного шару тильний полікарбонатний шар пробивається, але утворюється характерна тильна випучина. Таким

чином, шар ПКБ відіграє роль енергоємної підкладки, що поглинає при своєму деформуванні залишкову кінетичну енергію.

Завдання пошуку нових прозорих броньових матеріалів та структур завжди актуальне. У цьому класі матеріалів найперспективнішим є **прозора полікристалічна кераміка**, зокрема кераміка на базі оксинітриду алюмінію – загальноприйнята аббревіатура AlON. Цей матеріал має унікальне поєднання властивостей, необхідних для застосування в засобах бронезахисту і, крім того, не вимагає для свого виробництва застосування надвитратних технологій. Отримувати прозорі вироби складної форми з нього можна, використовуючи традиційні для технології кераміки **процеси формування та спікання**. За кордоном до розробки броньового захисту AlON проявляється активний інтерес, особливо фірмами, що працюють на оборону.



а)



б)

Рис. 16.4. Непробитий полікарбонатний шар (а) та тильні випучини на багат шаровій прозорій перешкоді після дії кулі пістолета ТТ (б)

Кераміка AlON має бронезахисні властивості, на 10% краще, ніж у шпінелі, і на 20% кращі, ніж у сапфіру. Що стосується **кварцової кераміки**, то дослідні пластини AlON за характеристиками бронезахисту перевершують пластини з кварцового скла на 250%. В області прозорості

кераміки захисного призначення AlON становить реальну альтернативу іншій високоміцній прозорій кераміці на базі Al_2O_3 -сапфіру (табл. 16.2).

Таблиця 16.2. Деякі механічні властивості скла та кераміки

Властивості	Матеріал			
	AlON	Плавлений кварц	Сапфір	Шпінель
Властивості, г/см ³	3,69	2,21	3,97	3,59
Модуль Юнга, МПа	334	70	344	260
Міцність при гнутті, МПа	380	48	742	184
Ударна в'язкість МПа*м ^{1/2}	2,4	-	-	1,7
Твердість по Кноппу	17,7	4,5	19,6	14,9

Перевершуючи AlON за міцністю, сапфір значно поступається йому за іншою, особливо важливою для ефективності бронезахисту характеристиці - **тріщиностійкості**. Крім того, на застосування останнього як матеріал для бронестійкості пластин накладено досить сильніше обмеження як в економічному, так і в технологічному аспекті, які обумовлені використанням у виробництві сапфіру складної технології вирощування, що застосовується для отримання монокристалів. Крім дорожнечі та малої продуктивності технології вирощування цей процес **не дозволяє** отримувати вироби складної форми і, як наслідок, тягне за собою необхідність застосування у виробництві недешевої та непродуктивної алмазної механічної обробки.

На відміну від сапфіру, оксинітрид алюмінію одержують традиційними методами порошкової технології – **реакційним спіканням** під тиском при 1750...1800°C. Як вихідні порошки застосовують не синтезовані порошки оксинітрида алюмінію, а суміш оксиду алюмінію, нітриду алюмінію з добавкою порошкового вуглецю. При цьому процес синтезу під тиском для повного завершення і забезпечення прозорості матеріалу вимагає чималої тривалості (6...16 год). Все вище перераховане з очевидною ясністю призводить до висновку про перспективність

застосування в даній технології попередньо синтезованих порошків оксинітриду алюмінію з оптимальними характеристиками.

Вперше з'єднання AlON було синтезовано та вивчено в Японії на початку 1950-х років. З'єднання отримано шляхом високотемпературної ($>1800^{\circ}\text{C}$) твердофазної взаємодії між компонентами Al_2O_3 і AlN в атмосфері азоту. Основною негативною рисою цього процесу є використання дуже високих температур та, отже, високі витрати на обладнання та технологію. У 1997 р. було запропоновано більш дешевий метод одержання порошків AlON – карботермальний. У цьому процесі до зазначеної вище суміші компонентів реакції додавали вуглець для активації з'єднання Al_2O_3 при нижчій температурі. Застосуванням цього процесу вдалося трохи знизити (до 1700°C) температуру синтезу. Цей метод в даний час є базовим для промислового одержання порошків AlON.

Останнім часом розвиваються нові технологічні підходи, засновані на альтернативних методах синтезу, наприклад рідкофазний синтез AlON з розчинних азотовмісних сполук. Суть методу полягає в отриманні прекурсора у вигляді аморфного гелю, що містить атоми алюмінію, кисню та азоту в пропорції, що виключає утворення α - форми Al_2O_3 при його подальшому випалюванні в азотовмісному середовищі. Для цього у вихідному водному розчині проводять змішання киснево- і азотовмісних сполук у необхідності пропорції. Реалізація такої технологічної схеми дозволяє знизити температуру синтезу AlON з 1700°C до $1200 \dots 1300^{\circ}\text{C}$.

Прозора кераміка зі шпінелі має деяку перевагу перед AlON внаслідок більшої доступності вихідних порошків та меншої температури гарячого ізостатичного пресування, в процесі якого відбувається спікання. Однак необхідність алмазного полірування кінцевого виробу зрівнює його в ціні з прозорою керамікою AlON.

16.3. Балістична стійкість багатошарових прозорих перешкод

Основне завдання, що виникає при розробці багатошарової прозорої броні, полягає в **мінімізації маси** за збереження заданого рівня кулестійкості за рахунок оптимального поєднання товщин важких скляних і легких полімерних шарів.

Двошарове броньоване скло, що використовуються в забралах броньованих шоломів, при товщині 15...20 мм і поверхні 18...23 кг/м² забезпечують захист від куль за 1-м класом (ГОСТ Р 50744-95), а також від уламків, що летять зі швидкістю до 700м/с.

Для захисту по 2-му класу використовують, як правило, тришарове броньоване скло, сумарна товщина якого спільно з прошарками клею та тильною протиуламковою плівкою становить 20...24 мм. Таке ж скло, як правило, встановлюють у VIP – автомобілях.

Для захисту від автоматних і гвинтівкових куль, використовується броньоване скло з 4...8 шарами скла та стильним шаром або з полікарбонату, або з полімерної плівки, яка затримує уламки. Залежно від якості використовуваного скла кількість шарів і сумарна товщина броньованого пакета змінюються в межах: 3-4 - й класи захисту - 4 ... 5 шарів, 28 ... 40 мм; 5-й клас захисту - 5 ... 6 шарів, 36 ... 60 мм; 6-й клас захисту - 7 ... 8 шарів, 55 ... 90мм.

Значно більш високих результатів вдалося досягти коли в якості внутрішнього шару тришарової прозорої перешкоди використовувалося **силікатне скло** товщиною 10мм з видаленим в розчині плавикової кислоти зовнішнім дефектним шаром. Тильний шар перешкоди складався з полікарбонату (лексану) завтовшки 4мм. Для захисту від гвинтівкових куль і циліндричноконічних ударників із низьковуглецевих пластичних сталей масою до 9,5 г, що мають швидкість 700...720 м/с, в якості

лицьового шару достатній 3-міліметровий шар звичайного скла. Лицьовий шар у разі приймає початкову ударно – хвильову стадію взаємодії ударника з перешкодою – локалізує високий ударно – хвильовий пік тиску і пов'язані з ним руйнування, а шар клею оберігає наступний шар зміцненого скла від передачі тріщини. Оскільки **твердість зміцненого хімічною обробкою скла (HV=6,4 ГПа) перевершує твердість куль та ударників із низьковуглецевих сталей (HV=1...2 ГПа)**, проникнення в нього не відбувається доти, доки скло не втратить міцність внаслідок формування зони руйнування.

При дії куль з ТУС, таких як Б-32, лицьовий шар перешкоди повинен мати твердість, що істотно перевищує твердість матеріалу ударника (HV до 8 ГПа), а гюгонієвська границя пружності повинна перевершувати ударно - хвильовий тиск у перешкоді, що виникає на початковій стадії. Тільки в цьому випадку вдається забезпечити жорсткість перешкоди, достатню для руйнування термозміцнених сердечників високошвидкісних куль без проникнення в перешкоду. В якості високотвердого лицьового шару **використовувалися** пластини сапфіру, товщиною 4-6мм (одношарові) і 2 × 4 мм (двошарові). Куля Б-32 калібру 7,62мм при швидкості 836 м/с не пробиває багатошарову прозору перешкоду, що складається з пластини сапфіру товщиною 6мм або 3мм (звичайного)+10мм (зміцненого) скла та 4-міліметрового шару полікарбонату. Використання в лицьовому шарі двох 4-міліметрових пластин сапфіру забезпечує стійкість до дії кулі Б-32 при швидкості 855м/с. Таким чином, введення лицьового шару із сапфіру та використання зміцненого скла дозволяє більш ніж у 3 рази зменшити товщину та масу багатошарової прозорої броні, що забезпечує захист за ба класом.

В експериментах з дослідження стійкості багатошарових прозорих перешкод замість дорогого сапфіру було використано непрозору високощільну дрібнозернисту кераміку Al_2O_3 . Як засіб ураження застосовувалися бронебійні кулі калібру 7,62 мм із сталевим сердечником. Швидкість зіткнення становила 850 м/с. Досліджувані перешкоди з поверхневою щільністю 48...59 кг/м² з розмірами 100x100 мм або 150x150 мм складалися з лицьового керамічного шару товщиною 1...8 мм, одного або двох шарів скла сумарною товщиною 5...20 мм і тильного шару з полікарбонату 4мм. Шари між собою не склеювалися, а підтискалися один до одного двома сталевими рамками та стягувалися болтами. В результаті проведення експериментів було **встановлено**:

1) наявність 2-міліметрового шару кераміки істотно збільшує балістичну ефективність перешкоди в порівнянні з багатошаровими прозорими перешкодами зі скла і полікарбонату, що зупиняють кулю при поверхневій щільності 135 кг/м² (боросилікатне скло) і 163 кг/м² (натрісилікатне скло);

2) балістична стійкість перешкоди суттєво зростає зі збільшенням товщини керамічного шару до 4мм, при подальшому її збільшенні до 8 мм приріст балістичної стійкості невеликий;

3) повністю запобігти проникненню через прозору перешкоду з розмірами 150×150 мм вдається при товщині керамічного шару більше 4мм, і сумарної поверхневої щільності перешкоди 56...59 кг/м².

Балістична стійкість багатошарової прозорої перешкоди з твердим лицьовим шаром залежить не тільки від його твердості, але і від жорсткості наступних шарів, поперечних розмірів перешкоди, довжини сердечника та інших параметрів.

17. Металева броня

17.1. Сталева броня

17.2. Механіка процесу пробивання металевого броньованого елемента

17.3. Визначення заброньової швидкості

17.4. Металева броня на основі сплавів алюмінію та титану

17.1. Сталева броня

Найкращі зразки текстильної та органопластикової броні дозволяють забезпечити захист за другим класом ГОСТ Р 50744-95 при поверхневій щільності захисної структури 6...8 кг/м². Для захисту від засобів ураження, що володіють більшою кінетичною енергією (автоматні та гвинтівкові кулі), можна використовувати металеві або комбіновані захисні структури, що включають металеві, композиційні або керамічні броньовані елементи.

Металева броня як клас включає броньові сталі, високоміцні алюмінієві і титанові сплави. Найбільше широко використовується сталева броня. З її допомогою можна забезпечити захист до **5-го класу** при товщині броньованого елемента 5,0...6,5 мм, що відповідає поверхневій щільності 39...51 кг/м². Великі товщини сталевих броньованих елементів в індивідуальному броньованому захисті **неприпустимі** через їхню надмірно велику вагу.

Броньована сталь є середньовуглецевою, середньолегованою сталлю мартенситного класу. Високі характеристики міцності броньових сталей для ЗІБ досягаються в результаті термообробки, що включає в себе загартування на мартенсит і низький відпуск. Для того щоб отримати уявлення про властивості та структуру броньових сталей, коротко

розглянемо їх склад і основи перетворення, що відбуваються при термообробці.

Як відомо, основою сталі є сплав заліза Fe з вуглецем C. Залізо має дві поліморфні модифікації α і γ . Модифікація Fe_α має об'ємно-центровану кубічну (ОЦК) структуру і існує у двох інтервалах значень температури: до 911°C та $1392\ldots1539^\circ\text{C}$. Модифікація має гранецентровану кубічну (ГЦК) решітку і існує в інтервалі значень температури $911 \ldots 1392^\circ\text{C}$. ГЦК-решітка компактніша, ніж ОЦК-решітка. У зв'язку з цим при фазовому переході $\alpha \rightarrow \gamma$ об'єм заліза зменшується приблизно на 1%. У складі сталі залізо та вуглець присутні у вигляді розчину та хімічної сполуки, що являють собою такі фази: ферит, аустеніт, цементит.

Ферит (Φ , α) - твердий розчин проникнення C в Fe_α , має ОЦК - решітку. Розчинність вуглецю в ОЦК-решітці дуже низька: у низькотемпературному фериті – 0,02%, у високотемпературному – 0,14. Значна частина атомів вуглецю змушена розміщуватися на дефектах решітки - вакансіях та дислокаціях. Ферит, крім вуглецю, розчиняє й інші елементи. Азот утворює твердий розчин проникнення, а метали, якими легують сталі, утворюють тверді розчини заміщення. **Ферит** - м'яка пластична фаза, має наступні механічні властивості: $\sigma_B = 300 \text{ МПа}$, $\delta = 40\%$, $\psi = 70\%$, HB 80 ... 100.

Аустеніт (A, γ) – твердий розчин проникнення C в Fe_γ , має ГЦК – решітку. Розчинність вуглецю в ГЦК-решітці є достатньо великою і досягає 2,14%. Аустеніт пластичний, але міцніший, ніж ферит. Твердість аустеніту становить HB 160 ... 200.

Цементит (Ц) - хімічна сполука заліза з вуглецем Fe_3C , містить 6,67% вуглецю, має складну ромбічну структуру із щільною упаковкою атомів. За нормальних умов цементит дуже твердий (HB 800) і тендітний. За високих температур цементит нестійкий і розкладається на аустеніт і графіт.

Крім заліза та вуглецю сталі містять легуючі елементи, а також постійні та випадкові домішки, які впливають на її властивості. Постійні домішки сталі розділяють на корисні (Mn, Si) і шкідливі (S, P, O₂, N₂, H₂). При виробництві броньових сталей за допомогою переплавних процесів, наприклад електрошлакового або електродугового переплаву, намагаються мінімізувати вміст шкідливих домішок.

Діаграма стану Fe - C має двоякий **характер**: 1) метастабільна діаграма Fe - Fe_3C ; 2) стабільна діаграма Fe - C. Для аналізу стану сталей важливими є обидві діаграми.

Якщо аустеніт швидко переохолодити, то внаслідок перетворення Fe_γ в Fe_α утворюється пересичення твердий розчин вуглецю в Fe_α - мартенсит. Перетворення є бездифузійним (швидким), вуглець із розчину не виділяється. Мартенсит має особливу пластинчасту структуру, його твердість дуже висока і досягає HRC 65. Термообробка сталі на структурі мартенсит називається загартуванням. Після загартування на мартенсит сталь стає крихкою.

Мартенсит є нерівноважною структурою - при нагріванні (відпуску) дифузійна рухливість атомів вуглецю зростає і мартенсит починає перебудовуватись у суміш Ф+Ц. Завдання відпуску мартенситу у тому, щоб наблизити мартенсит до рівноважної структури. Чим вище температура відпуску $T_{\text{від}}$, тим ближча структура сталі до рівноважної, сталь м'якша, її крихкість менше. Розрізняють низьку відпустку $T_{\text{від}} < 350\ldots 380^\circ\text{C}$, в

результаті якої отримують рівноважну суміш Ф+Ц – тростить відпуску, і високий відпуск $T_{від} = 400...650^{\circ}\text{C}$ для якого характерне укрупнення (коагуляція) частинок цементиту. Структура, що виходить в результаті високого відпуску, називають **сорбітом відпуску**. Для сорбіту відпуску характерна досить **висока ударна в'язкість**.

Крім термообробки зміцнення сталей здійснюється шляхом їх раціонального легування та за допомогою **термомеханічної обробки (ТМО)** – поєднанням термообробки з деформаційним зміцненням.

Механізми легування сталей досить складні і ґрунтуються на тому, що легуючі елементи змінюють температури поліморфних перетворень заліза, впливають на розчинність вуглецю в аустеніт і його вміст в мартенситі.

При введенні до складу сталей таких легуючих елементів, як Mn (манган) і Ni (нікель) ГЦК - решітка аустеніту стає стійкою при кімнатній температурі. Відповідні сталі називають аустенітними сталями. Ці сталі характеризуються не тільки високими значеннями характеристик міцності, але і мають досить високу ударну в'язкість і здатність до деформаційного зміцнення. При введенні в якості легуючих карбідоутворюючих елементів Cr, Mo, W, V збільшення границі текучості і міцності, і твердості сталей відбувається за рахунок збільшення концентрації вуглецю в мартенситі. **Броньовані сталі** здебільшого відносяться до низьколегованих сталей із вмістом легуючих елементів Cr-Ni-Mo-(V) або Cr-Si-Ni-Mo-(V) менше 5%.

Таблиця 17.1. Характеристика основних марок броньових сталей

Марка сталі	Спосіб виплавки	Номинальна система	Твердість HB/(HRC)	Границя міцності, МПа	Границя текучості, МПа	Відносне подовження, %	Відносне звуження, %	Ударна в'язкість, $\alpha_k \cdot 10^2$, МДж/м ²
1	Мартен, ЕДП	0,26C – 1,4 – Mn – 1,4Si – 0,2Mo	388...477	1550	-	-	-	70
77Ш	ЕШП+ТМО	0,35C – 1,4Si – 1,1Cr – 2,4Ni – 0,3Mo	477...522	1900	1600...1700	10...12	4050	80
88Ш	ЕШП+ТМО	0,4C – 0,4Si – 1,1Cr – 2,4Ni – 0,3Mo	495...555	2000	-	-	-	70
КВК-37	ЕДП+ВІП або ВДП	0,37 – 0,8Mn – 2,0Cr – 1,0Ni – 0,5Mo	447...555	2000	-	-	-	-
КВК-42	ЕДП+ВІП або ВДП	0,42 – 0,8Mn – 2,0Cr – 1,0Ni – 0,5Mo	495...578	2100	-	-	-	-
44	ЕДП, ЕШП	45ХНМФА	560...610/ (51...52)	2050...2100	1550...1700	8...10	30...40	50...60
44С	ЕДП, ЕШП	-	(55...57)	2250...2350	2000...2100	-	30	-
46	ЕДП, ЕШП	0,46C – 1,0Cr – 1,5Ni – 0,25Mo – 0,14V	(54...56)	2150...2250	-	-	-	-
56	ЕДП, ЕШП	0,50C – 3Cr – 1,7Ni – 1,95Mo – 0,30V	(57...58)	2250...2350	-	-	-	-
СПС-43	ЕДП	0,43C – 1,65Si – 1,2Cr – 1,3Ni – 1,45Mo	444...522	2050	-	-	-	-
96	ЕДП	0,48C – 1,6Cr – 1,0Ni – 0,5Mo – 0,25V	(52...54)	2100...2150	-	-	-	-
Ц85	ЕДП	0,42C – 1,5Si – 1,1Cr – 1,2Ni – 1,45Mo	485...522	2050	-	-	-	-
42	ЕДП, КК	0,42C – 1,35Si – 1,5Cr – 1,6Ni – 0,4Mo	485...522	2050	-	-	-	-
Ф110	ЕДП	0,46C – 1,3Si – 1,5Cr – 1,6Ni – 0,3Mo	(53...54)	2100	190	-	-	-
MARS 300 (Франція)	ЕДП + позапічне вакуумування і рафінування	0,50C – 0,8Si – 4,0Ni – 0,4Mo	578...655/(56...60)	2180	-	-	-	-
AR-MOX600S (Швеція)	ЕДП + позапічне вакуумування і рафінування	0,45C – 0,8Mn – 0,8Cr – 2,5Ni – 0,65Mo – 0,002B	570...640/(56...60)	-	-	-	-	-
ХН-206 (Німеччина)	ЕДП, позапічне вакуумування	35Х2Н2,5МФ	450...500	1700	-	-	-	-
ХН-113 (Німеччина)	ЕДП, позапічне вакуумування	42ХГМ1Ф	480...530	1900	-	-	-	-
4340 США	-	40ХН2МФ	477...514	1900	-	-	-	-

ЕДП – електродуговий переплав; ЕШП – електрошлаковий переплав; ТМО – термомеханічна обробка; ВІП – вакуумно-індукційний переплав; КК – кисневий конвертор

При деформуванні сталей (прокатка, штампування, кування тощо) відбувається подрібнення мікроструктури, збільшується щільність дислокацій – структура стає більш однорідною. Дрібнозернистий матеріал має більш високу міцність внаслідок більшої площі границь між зернами, які є природним бар'єром для руху дислокацій. Зв'язок між границею текучості та характерним розміром зерен виражається рівнянням Холла-Петча:

$$\sigma_T = \sigma_{T0} + k / \sqrt{\delta} \quad (17.1)$$

де σ_{T0} - характеристична границя течії матеріалу в обпаленому стані; k - емпірична постійна; δ - розмір зерна.

Залежність границі текучості на зсув від щільності дислокацій описується відомим співвідношенням теорії дислокацій

$$\tau_T = \tau_{T0} + \alpha G b \sqrt{N}, \quad (17.2)$$

де τ_{T0} – границя текучості матеріалу на зсув у відпаленому стані; $\alpha \approx 0,5$ - коефіцієнт, що визначається властивостями металу та типом дислокаційної структури; G - модуль зсуву; b - вектор Бюргерса; N - щільність дислокацій.

Таким чином, для збільшення міцності сталей слід прагнути до дрібнозернистої структури, насиченої дислокаціями.

У ЗІБ застосовуються броньові сталі високої твердості з легуючими елементами Cr, Ni, Mo, V, Si. Складність створення таких сталей обумовлена необхідністю поєднання екстремальних високих значень твердості та міцності, що забезпечують опір проникненню кулі, та достатнього рівня пластичності та в'язкості для запобігання крихкому руйнуванню сталевих броньованих елементів. **Як високотверді крихкі,**

так і в'язкі пластичні сталі, що мають невисоку твердість, характеризуються низькою протикульовою стійкістю.

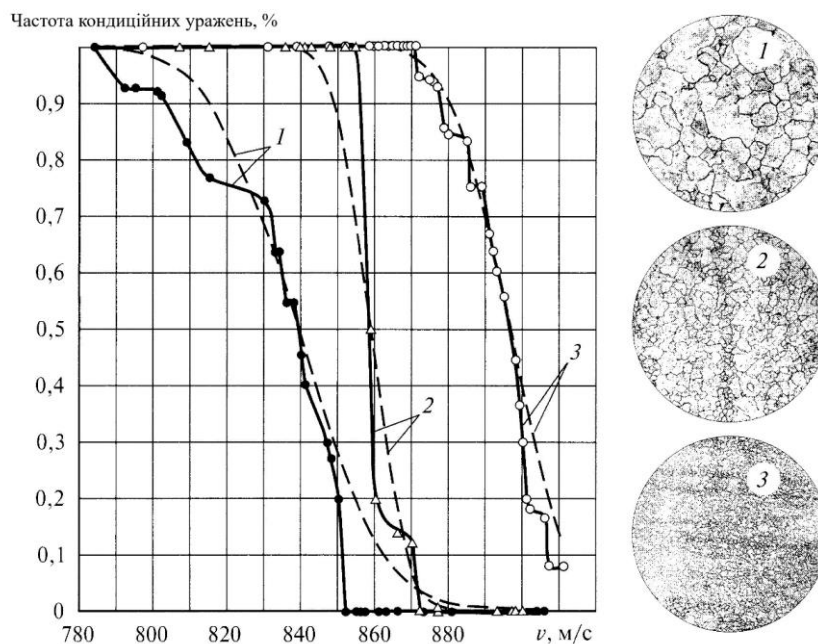


Рис. 17.1. Залежність протикульової стійкості бронежилета зі сталі 46 (товщина 4,7 мм) при стрільбі кулею 7Н6 з ТУС калібру 5,45 мм від структури сталі: 1 - загартована, низький відпустк, бал зерна - 8...9; 2 - високотемпературна термомеханічна обробка; бал зерна - 10...11; 3 - термомеханічна обробка в інтервалі перлітного перетворення, бал зерна - 13...14; пунктирна лінія - розрахункова залежність; суцільна - експериментальна

Основними броньовими сталями є середньолеговані сталі марок 44, Ц-85, СПС-43, 96. З нових розробок слід відзначити сталі 56, 44С і Ф-110. Міцність цих броньових сталей знаходиться в границі 1750...2300 МПа, твердість 50...58 HRC, відносне подовження 8...12%. Номінальна система легування, спосіб отримання та механічні властивості деяких високотвердих броньових сталей, що випускаються промисловістю, наведені в табл. 5.1. Порівняння механічних характеристик броньових сталей з характеристиками середньовуглецевих сталей показує, що

міцність броньових сталей визначається головним чином вмістом вуглецю.

Броньовані елементи зі сталі 44 товщиною 5,5 мм, що застосовуються в ЗІБ, забезпечують захист при обстрілі в упор звичайними кулями АКМ, АК-74 і СВД. Для захисту від куль з термозміцненою серцевиною з твердістю, більшою за 60 HRC, потрібно збільшення товщини броньованих елементів, що захищає, на 15...20%.

Збільшити кулестійкість броньової сталі можна було б шляхом збільшення її твердості. Однак при твердості перешкоди з гомогенної вуглецевої броньової сталі більше 55 HRC вона стає крихкою і при обстрілі навіть звичайними сталевими кулями уражається на кшталт пролому або розколу. Щоб уникнути цього, необхідно зберегти пластичність сталі на рівні $\psi = 30\%$. Розроблена збалансована за вмістом вуглецю та основних легуючих елементів сталь 44С, яка після електрошлакового переплаву, прокатки та термообробки має твердість 55...57 HRC, міцність $\sigma_B = 2250...2350 \text{ МПа}$, $\sigma_{0,2} = 2000...2100 \text{ МПа}$, відносне звуження $\psi = 30\%$. Як показали випробування, балістичні характеристики цієї сталі знаходяться на рівні найкращих закордонних гомогенних броньових сталей марок MARS-300 (Франція), ARMOR-600 (Швеція), 4340 TOD (США). Броньовані елементи зі сталі 44 С завтовшки 6,5...6, мм у структурі бронежилета 6Б23 забезпечують захист від куль 7Н22 та 7Н24 з термозміцненими та твердосплавними сердечниками калібру 5,45 мм.

Вплив твердості сталеві броні на товщину броньованих елементів, що забезпечують захист від куль основної стрілецької зброї, показано на рис. 17.2. У таблиці 17.2 наведено характеристики деяких таких сталей.

Одним із можливих шляхів підвищення кулестійкості є створення **біметалічної броні** із зовнішнім високотвердим шаром 55...60 HRC і

тильним в'язким шаром. Таку броню можна отримати, наприклад, зварюванням, пакетною прокаткою або іншими способами.

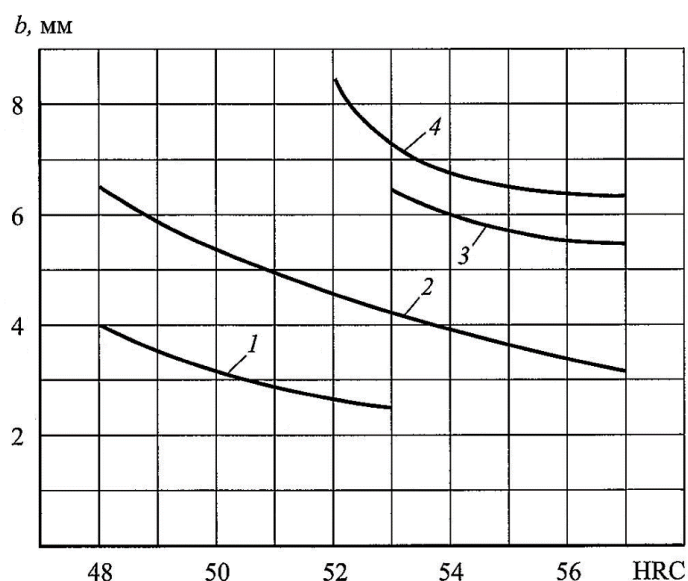


Рис. 17.2. Вплив твердості (HRC) на захисну товщину сталевих бронепластин при випробуванні різними засобами ураження: 1 – пістолет ТТ, куля Пст ($v_0 = 415...445 м/с$); 2 – автомат АК-17, куля ПС ($v_0 = 710...725 м/с$); 3 – автомат АК-74, куля 7Н10 ($v_0 = 910 \pm 10 м/с$); 4 – автомат АК-47, куля ПС с ТУС:

$$v_0 = 710...725 м/с$$

Таблиця 17.2. Характеристики зарубіжних гетерогенних броньових протикульових сталей

Марка сталі (лицьова/тильна)	Номінальна система легування (лицьова/тильна)	Твердість HRC (лицьова/тильна)	Границя міцності, МПа (лицьова/тильна)	Особливості технології виробництва
H-11/HP-4-0,3 (США)	40X5M2Ф/30XH9K5 M1Ф	58/48	2400/1900	Пакетна прокатка, співвідношення шарів від 40/60 до 60/40
H-11/D6AC (США)	40X5M2Ф/45XHM1 Ф	60/52	2450/1950	Пакетна прокатка, співвідношення шарів від 40/60 до 60/40
D-11/SDPX-27	45XHM2Ф/30XH3M 2Ф	59/53	2400/2000	Пакетна прокатка, співвідношення шарів від 40/60 до 60/40
MARS DD (Франція)	50CX5M1, 20Ф0,45/35X2H4M	59/45	2100/1450	Пакетна прокатка, співвідношення шарів від 40/60 до 60/40
VZ 43 PZ (Італія)	65XB2/26Г2С2М	58...64/ 48...54	-	Пакетна прокатка
19735/2П (Чехія)	60XB2Ф/26Г2С2М	58/45	-	Зварювання вибухом, співвідношення шарів 40/60

17.2. Механіка процесу пробивання металевого броньованого елемента

Механіка процесу пробивання металевої перешкоди істотно **залежить** від співвідношення її товщини b та діаметра кулі d чи сердечника. При співвідношенні $b/d < 1$, характерному для броньованих елементів ЗІБ, перешкода вважається тонкою, а сам процес пробивання - багатофакторний, що важко піддається теоретичному аналізу.

Взаємодія кулі або її сердечника **починається** з ударно-хвильової стадії, яка характеризується наявністю ударних хвиль і хвиль розрідження як у перешкоді, так і в осередку. Оскільки сердечник кулі має, як правило, головну форму зрізаного конуса, то тривалість початкової стадії мала і ударні хвилі, що виникають, швидко загасають. Зазвичай у завданнях кінцевої балістики ударно-хвильову стадію не розглядають.

Наступна стадія - **стадія проникнення сердечника** у перешкоду. Залежно від співвідношення характеристик міцності матеріалів сердечника кулі і перешкоди і швидкості взаємодії **розрізняють** проникнення деформованих і недеформованих тіл. Проникнення сталевих неукріплених сердечників супроводжується інтенсивним динамічним деформуванням як сердечника так і перешкоди. При проникненні термозміцнених сердечників вони аж до руйнування зазнають відносно малі деформації, що дає підставу вважати їх недеформованими. У цьому випадку контактний тиск на границі розділу сердечник - перешкода може бути наближено визначено за допомогою співвідношення:

$$p_k = H_d + k\rho_{np}v_n^2, \quad (17.3)$$

де H_d – динамічна твердість матеріалу перешкоди; k - коефіцієнт форми головної частини проникаючого сердечника, $k = 0,5$ для напівсферичної головної частини, $k = \sin^2 \alpha / 2$ - для конічної головної частини з кутом при вершині α ; ρ_{np} - щільність матеріалу перешкоди; v_n - швидкість кулі.

Сердечник кулі при проникненні не деформується і не руйнується, якщо динамічна границя текучості (границя міцності) матеріалу сердечника $\sigma_{T,д.с}$ перевищує контактний тиск $\sigma_{T,д.с} \geq p_k$. Їх цієї нерівності і виразу (17.3) слід співвідношення для критичної швидкості кулі $v_{n,кр}$, при перевищенні якої сердечник не можна вважати таким, що не деформується:

$$v_{n,кр} = \sqrt{\frac{\sigma_{T,д.с} - H_d}{k\rho_{np}}}, \quad (17.4)$$

Типи пробивання перешкод як деформованими, і не деформованим сердечниками куль наведено на рис. 17.3. Зупинимось докладніше на якісному аналізі пробивання перешкод недеформованими ударниками.

Розрізняють **три типи пробивання перешкод ударниками**, що не деформуються: вибивання пробки з перешкоди (рис. 17.3, а, 1); пластичне розширення отвору з переважно радіальною течією матеріалу перешкоди (рис. 17.3, а, 2); пластичного деформування перешкоди з утворенням тильної випучени і подальшим її руйнуванням за типом зрізання пробки (для сердечників з плоским торцем) або утворення пелюсткової пробоїни або пластичного відгинання закраїн (для загострених сердечників) (рис. 17.3, а, 3).

Насправді ці типи пробивання перешкод часто поєднуються, наприклад: перед зрізанням пробки перешкода може деформуватися з

утворенням тильної випучини. Вибиванню пробки, як правило, передуює проникнення сердечника кулі в перешкоду на певну глибину.

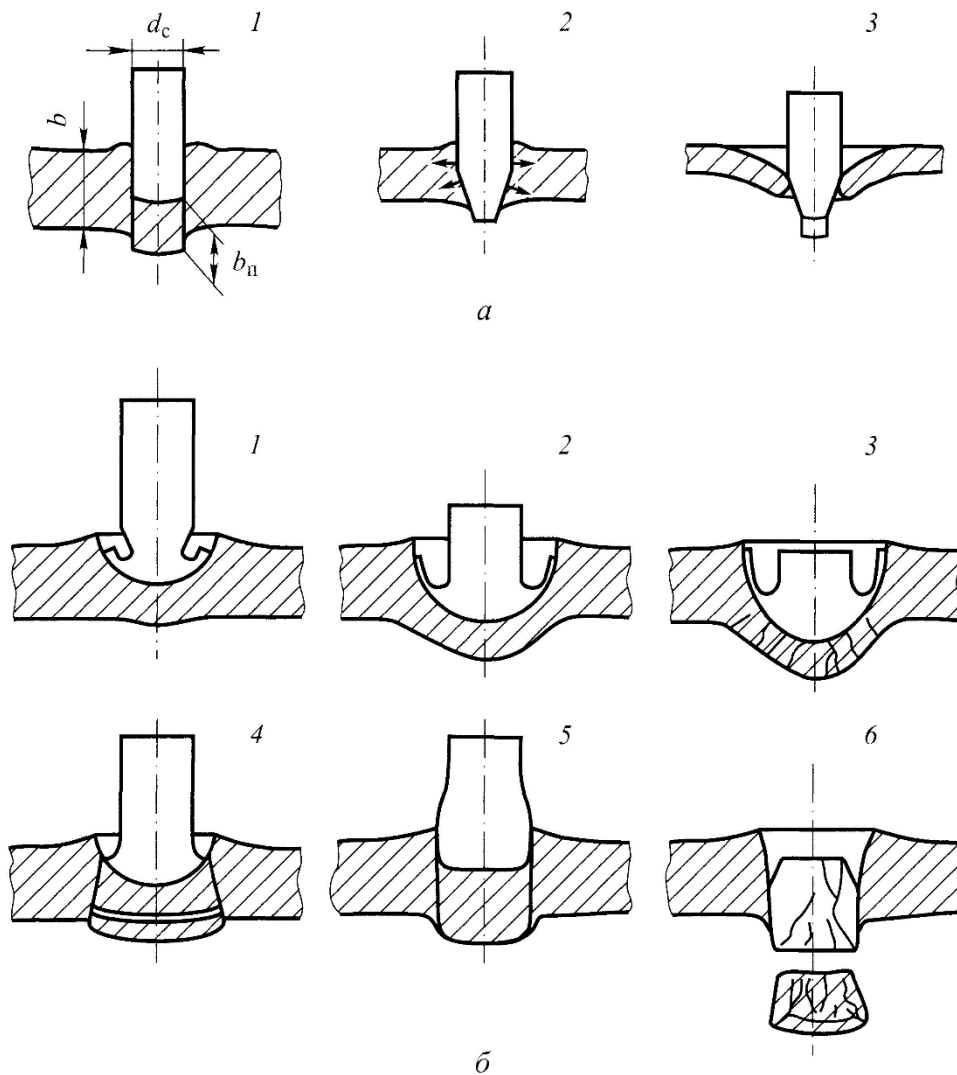


Рис. 17.3. Механіка пробивання тонких перешкод: а - пробивання перешкоди ударником, що не деформується: 1 - вибивання пробки; 2 - пластичне розширення отвору у перешкоді; 3 - пластичне деформування перешкоди з утворенням випучини; б - пробивання перешкоди ударниками, що деформуються: 1 - впровадження в лицьовий шар перешкоди; 2 - спрацювання ударника та утворення випущені на тильній стороні перешкоди; 3 - утворення тріщини в випучині; 4 - відкол у випучені та формування пробки; 5 - вибивання пробки; 6 - руйнування пробки та ударника.

Розглянемо складові процесу пробивання металевої перешкоди, завершальною стадією якого є вибивання пробки. Нехай сердечник має плоский торець. Початкова стадія взаємодії сердечника з перешкодою супроводжується його впровадженням у перешкоду на кшталт видавлювання пуансону в пластичний напівпростір (рис. 17.4).

Відомо, що для початку вдавлювання пуансону в твердопластичний матеріал з границею текучості $\sigma_{ТД.ПР}$ середній тиск на контактній границі p_k має перевищувати $p_k \approx 2,6\sigma_{ТД.ПР}$, де $\sigma_{ТД.ПР}$ - динамічна границя течії матеріалу перешкоди. У міру застосування пуансона тиск на границі контакту зростає до значення $p_k \approx 4\sigma_{ТД.ПР}$. У випадку силу опору вдавлювання пуансона F_1 можна представити у вигляді

$$F_1 = K_1 \sigma_{ТД.ПР} \frac{\pi d_c^2}{4}, \quad (17.5)$$

де K_1 - коефіцієнт, що враховує збільшення границі текучості матеріалу перешкоди при її деформуванні в обмежених умовах; d_c - діаметр сердечника.

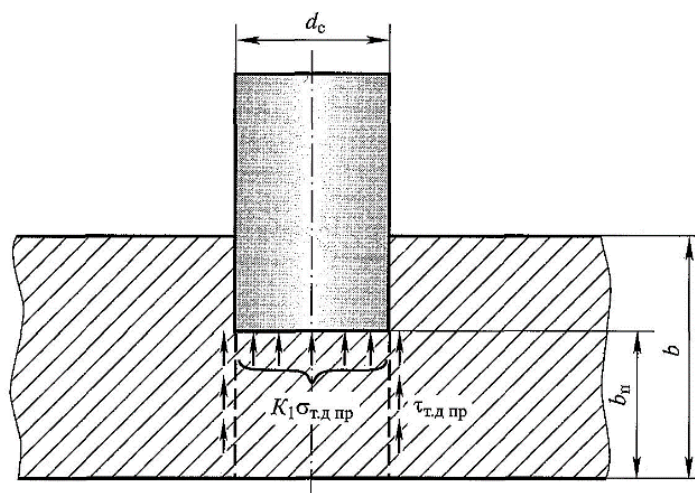


Рис. 17.4. Схема поділу процесу пробивання перешкоди на стадію проникнення ударника у перешкоду та стадію зрізання пробки

Опір F_2 зрізанню пробки висотою b_n і діаметром, рівним діаметру сердечника, є добуток границі текучості матеріалу перешкоди на зсув $\tau_{Т.Д.ПР}$ на площу бічної поверхні пробки:

$$F_2 = \tau_{Т.Д.ПР} \pi d_c b_n, \quad (17.6)$$

В умовах плоского деформування $\tau_{Т.Д.ПР} = \frac{\sigma_{Т.Д.ПР}}{\sqrt{3}} \approx 0,58 \sigma_{Т.Д.ПР}$. Зрізання пробки розпочнеться на момент досягнення рівності сил F_1 і F_2 . Прирівнявши (17.5) і (17.6), отримаємо співвідношення визначення висоти пробки b_n :

$$b_n = \frac{\sqrt{3} K_1 d_c}{4}. \quad (17.7)$$

Оскільки розглядається пробивання тонких перешкод, то приймають, що $K_1 = 2,7$. Для такого значення K_1 висоти пробки b_n дорівнюватиме $b_n = 1,17 d_c$. Таким чином, проникнення сердечника в перешкоду буде передувати зрізання пробки за умови, що товщина b перешкоди перевищує $1,17 d_c$.

Пластичному деформуванню перешкоди з утворенням тильної випучини передує перехід матеріалу перешкоди в околиці ударного впливу на пластичний стан. Зусилля F_3 , необхідне для переведення матеріалу в круговій області перешкоди в пластичний стан, може бути обчислено як граничне навантаження для кругової пластини, защемленої по контуру. Відповідно,

$$F_3 = \pi \sigma_{Т.Д.ПР} b^2. \quad (17.8)$$

Пластичний вигин перешкоди передуватиме зрізання пробки при виконанні нерівності $F_3 < F_2$. Ця нерівність виконується при $b < 0,58 d_c$.

Отже, при пробиванні перешкоди ударником, що не деформується, в залежності від співвідношення товщини перешкоди b і діаметра ударника d_c реалізуються наступні механізми:

1. при $b > 1,17d_c$ зрізання пробки передує проникнення ударника в перешкоду на глибину $(b - 1,17d_c)$;

2. При $0,58d_c \leq b \leq 1,17d_c$ пробивання перешкоди здійснюється за механізмом зрізання пробки;

3. При $b < 0,58d_c$ пробивання перешкоди передує утворення тильної випученості з подальшим вибиванням або проколом з утворенням пелюсток.

Робота A_1 проникнення сердечника на висоту $(b - b_n)$ буде

$$A_1 = 2,7\pi d_c^2 \sigma_{T.Д.ПР} (b - 1,17d_c). \quad (17.9)$$

Робота зрізання пробки A_2 може бути обчислена шляхом інтегрування сили F_2 по висоті пробки:

$$A_2 = \frac{\pi b_n^2 \sigma_{T.Д.ПР} d_c}{2\sqrt{3}}. \quad (17.10)$$

Якщо прирівняти кінетичну енергію сердечника роботі зрізання пробки, можна отримати залежність для розрахунку граничної швидкості пробиття перешкоди за механізмом зрізання пробки - формулу Нобля:

$$v_{n.c.n.} = \sqrt{\frac{\pi \sigma_{T.Д.ПР}}{\sqrt{3}}} \sqrt{\frac{d_c}{m_c} b}. \quad (17.11)$$

При утворенні випучіни матеріал перешкоди пластично розтягується і згинається. Для тонких пластин робота формування випучені A_3 може бути оцінена за допомогою співвідношення

$$A_3 = \pi \sigma_{T.Д.ПР} b w \left(\frac{4}{3} w + b \right), \quad (17.12)$$

де w - максимальний прогин перешкоди,

$$A_3 = \frac{\pi}{8} \sigma_{T.Д.ПР} d_c b (d_c + 2\pi b). \quad (17.13)$$

Визначення роботи відгинання закраїн або пелюсток виконано В. Гольдсмітом.

При пробиванні та перешкоди за механізмом пластичного розширення отвору (рис. 17.3, а, 2) робота формування отвору A_4 може бути визначена як добуток границі течії матеріалу перешкоди на витіснений об'єм:

$$A_4 = K_2 \sigma_{T.Д.ПР} \frac{\pi d_c^2 b}{4}, \quad (17.14)$$

де $K_2 \approx 2$ - коефіцієнт, що враховує тип напружено-деформованого стану матеріалу перешкоди.

Сумарна робота пробивання перешкоди залежить від складових механізмів пробивання і може бути обчислена як сума відповідних цим механізмів робіт (17.9-17.14). Прирівнявши цю суму до кінетичної енергії сердечника, можна визначити граничну швидкість пробиття.

У табл. 17.3. наведено усереднені значення граничних швидкостей не пробиття сталевих броньованих пластин із сталі 44 різними засобами ураження.

Для грубих оцінок швидкостей наскрізного пробивання можна використовувати формулу Жакоб-де-Марра:

$$v_c = 0,04K \frac{d_c^{0,75} b^{0,7}}{m_c^{0,5}}, \quad (17.15)$$

де $K = 3300$ для куль зі сталевими зміцненими сердечниками та $K = 3000$ для куль зі сталевими тремозміцненими сердечниками; d_c - в мм; b - в мм; m_c - в г; v_c - в м/с.

У іноземній літературі визначення граничних швидкостей наскрізного пробиття перешкод подовженими ударниками часто використовують формулу Ламберта:

$$v_c = K_L \left(\frac{l}{d_c}\right)^{0,15} \sqrt{\frac{f(z)d_c^3}{m_c}}, \quad (17.16)$$

де K_L - постійна, характеризує властивості матеріалу перешкоди; l - довжина ударника, см; $z = b/d_c$, $f(z) = z + e^{-z} - 1$; m_c - в г; d_c - в см.

Задовільний опис експериментальних даних табл. 17.3 досягається при $K_L = 5000...5500$. Необхідно відзначити, що формула Ламберта добре описує експериментальні дані при $z > 1,5$ і поширення її на більш тонкі перешкоди вимагає експериментального підтвердження.

Експериментальні дані у табл. 17.3 для бронебійної кулі ПС-43 з ТУС АКМ добре описуються модифікованою формулою Жакоб-де-Марра із зменшеним до 0,5 показником ступеня при товщині перешкоди b :

$$v_c = 141 \frac{d_c^{0,75} b^{0,7}}{m_c^{0,5}}, \quad (17.17)$$

де d_c - в мм; b - в мм; m_c - в г; v_c - в м/с.

У цю формулу слід підставляти наступні характеристики сердечника кулі ПСА-43 мм: $d_c = 5,85$ мм, $m_c = 3,56$ г.

Пробивання перешкод ударниками, що деформуються, відбувається, як правило, або за «кратерним» механізмом (рис. 17.3, б, 1-3), що супроводжується спрацюванням ударника, або за механізмом вибивання пробки (рис. 17.3, б, 4-6) ударником, що деформується. До видів роботи, що були розглянуті вище, при пробиванні перешкоди ударником, що не деформується, слід додати роботу деформування самого ударника.

Таблиця 17.3. Експериментальні значення граничних швидкостей не пробиття броньованих пластин із сталі 44

Засіб ураження	Швидкість кулі, м/с	Товщина перешкоди, мм
ПС-43 (АКМ), ЛПС (СВД), 7Н6 с ТУС (АК - 74)	500	2,65
	600	3,3
	700	4
	800	4,9
	900	6
ПС-43 ТУС (АКМ)	600	4,65
	650	5,25
	700	6,2
	735	7
	550	2
Куля М193 зі свинцевим сердечником до гвинтівки М16А1	600	2,1
	700	2,4
	800	3,25
	850	4
	900	5,15
	950	7

Для обчислення граничної швидкості пробивання сталевих перешкод сталевими компактними ударниками неправильної форми (уламками) рекомендується використовувати залежність

$$v_{n.c.n} = \frac{155b\Phi}{m^{1/3}}, \quad (17.18)$$

де $\Phi = \langle S \rangle / V^{2/3}$ – параметр форми ударника; $\langle S \rangle$ – середнє значення міделя ударника; V – об'єм ударника. Для циліндричного ударника з

відношенням висоти до діаметра, що дорівнює одиниці, $\Phi=1,38$, для сферичного ударника $\Phi=1,209$.

17.3. Визначення заброньової швидкості

При розробці комбінованої захисної структури, що складається із сталевих броньованих пластин та текстильного броньованого пакету, можливі два підходи. **При першому підході** товщина броньованих пластини вибирається з умови її не пробиття засобами ураження, на які вона розрахована. **Другий підхід** полягає в тому, що допускається пробивання сталевих броньованих пластин за механізмом вибивання пробки, а залишки сердечника, що пройшли за броньовану пластину, і вибита пробка затримуються текстильним бронепакетом (рис. 17.5). Такий підхід дозволяє зменшити товщину сталевих пластин на 0,5...1,0 мм, що помітно знижує вагу комбінованої захисної структури. Для того щоб мати можливість судити вплив залишків сердечника та вибитої пробки за допомогою текстильного бронепакету, необхідно знати їхню швидкість після пробивання сталевих броньованих пластин.

Оцінку заброньової швидкості залишків сердечників та вибитої пробки можна виконати за допомогою законів збереження імпульсу та енергії для непружного зіткнення ударника з перешкодою відповідно до схеми, наведеної на рис. 17.6. Заброньова швидкість визначимо методом послідовного наближення. Введемо наступні позначення: v_0 - початкова швидкість ударника, v - запобіжна швидкість ударника і пробки, які рухаються спільно, $v_{n.c.n}$ - гранична швидкість наскрізного пробиття, m_0 - маса ударника, m - маса пробки.

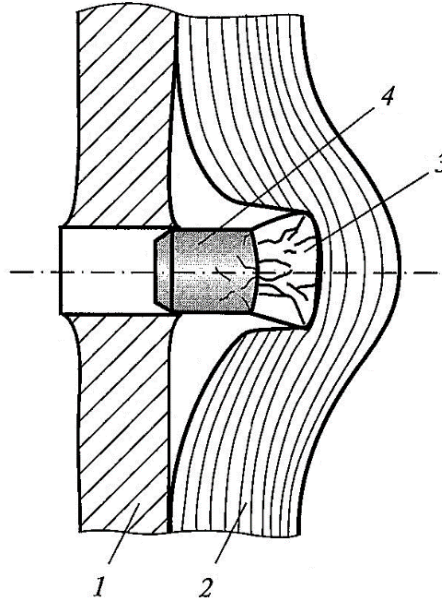


Рис. 17.5. Схема зіткнення з пробиттям броньованої пластини та утриманням залишків сердечника та вибитої пробки текстильним бронепакетом: 1 – сталева бронепластина; 2 – текстильний бронепакет; 3 - вибита та зруйнована пробка; 4 - залишки сердечника

Спочатку розглянемо не пружне зіткнення ударника з пробкою, коли після пробиття ударник і пробка рухаються разом:

$$\begin{aligned} m_0 v_0 &= (m_0 + m)v, \\ \frac{m_0 v_0^2}{2} &= \frac{(m_0 + m)v^2}{2} + \Delta W, \end{aligned} \quad (17.18)$$

де ΔW - втрати енергії при зіткненні.

З (17.18) слідують співвідношення

$$\begin{aligned} v &= \frac{m_0}{m_0 + m} v_0, \\ \Delta W &= \frac{m_0 v_0^2}{2} \left(\frac{m}{m_0 + m} \right). \end{aligned} \quad (17.19)$$

Однак процес зіткнення з пробкою, що вибивається, не є вільним, частина кінетичної енергії ударника витрачається на роботу вибивання

пробки з перешкоди. Визначимо цю роботу W . Тоді баланс енергій можна записати як

$$\frac{m_0 v_0^2}{2} = \frac{(m_0 + m) v^2}{2} + \Delta W + W \quad (17.20)$$

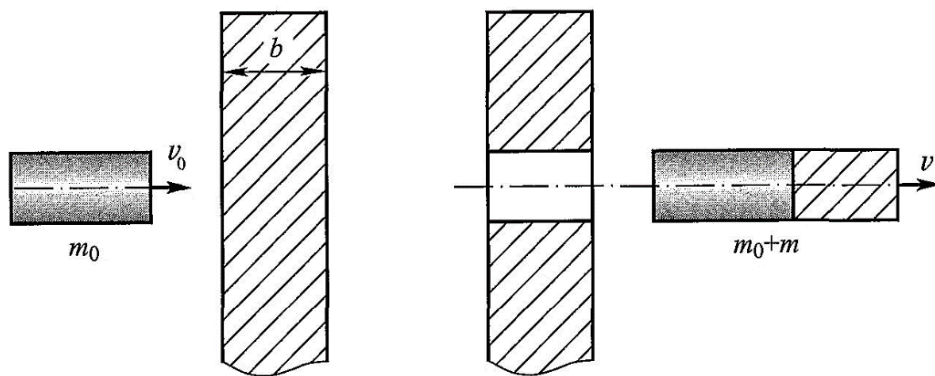


Рис. 17.6. Схема зіткнення ударника з перешкодою з вибиванням пробки

При $v_0 = v_{п.с.п.}$ заброньова швидкість $v = 0$. Припустимо, що втрата енергії ΔW на пластичне деформування та нагрівання ударника та пробки залишилася такою ж, як і при вільному зіткненні ударника з пробкою. Тоді для $W_{п.с.п.}$ при $v_0 = v_{п.с.п.}$ не важко отримати вираз

$$W_{п.с.п.} = \frac{m_0 v_{п.с.п.}^2}{2} \left(\frac{m}{m_0 + m} \right). \quad (17.21)$$

Тепер, якщо припустити, що $W = W_{п.с.п.}$ незалежно від швидкості зіткнення, можна отримати вираз для заброньової швидкості:

$$v = \frac{m_0}{m_0 + m} \sqrt{v_0^2 - v_{п.с.п.}^2}, \quad (17.22)$$

Відносну величину залишкової кінетичної енергії $W = W_{ост.}$ ударника та пробки можна визначити за допомогою співвідношення

$$\frac{W_{ост.}}{W_0} = \frac{(m_0 + m) v^2}{m_0 v_0^2} = \left(\frac{m_0}{m_0 + m} \right) \sqrt{1 - \left(\frac{v_{п.с.п.}}{v_0} \right)^2}. \quad (17.23)$$

Особливо ефективно захищена здатність сталевих броньованих пластини проявляється при невеликому перевищенні швидкості ударника v_0 над $v_{п.с.п.}$. Зменшення заброньової кінетичної енергії дозволяє утримати текстильним бронепакетом та залишки ударника.

З використанням формули (17.22) проведено розрахунок залежності заброньової швидкості, кінетичної енергії та питомої кінетичної енергії вибитої пробки та залишків сердечника при взаємодії кулі Пс-43 з ТУС (5-й клас) від товщини сталевих бронепластини. Отримані результати наведено на рис. 17.7. За питомою кінетичною енергією заброньова дія при товщині бронепластини $b=4$ мм еквівалентна дії кулі пістолета ТТ, а при товщині бронепластини $b=5,7$ мм - кулі пістолета ПМ. У першому випадку для захисту від пробки та залишків сердечника необхідна текстильна броня 2-го класу, а в другому – 1-го класу.

Виходячи з модульного принципу конструювання захисних структур сучасних протикульових загальновійськових бронежилетів, основна текстильна броня повинна забезпечувати захист від впливу осколків (30 шарів ТСВМ-ДЖ), а додаткова металева броня - забезпечувати захист по 5-му класу. Для цього застосовують бронепластини завтовшки 6,5 мм. Такі комбіновані захисні структури фактично не використовують тому, що призводить до обтяження бронежилетів.

На закінчення даного розділу наведемо узагальнення розглянутого вище підходу до визначення заброньової швидкості:

$$v = \begin{cases} 0 \rightarrow 0 \leq v_0 \leq v_{п.с.п.} \\ \alpha(v_0^p - v_{п.с.п.}^p)^{1/p} \rightarrow v_0 > v_{п.с.п.} \end{cases}, \quad (17.24)$$

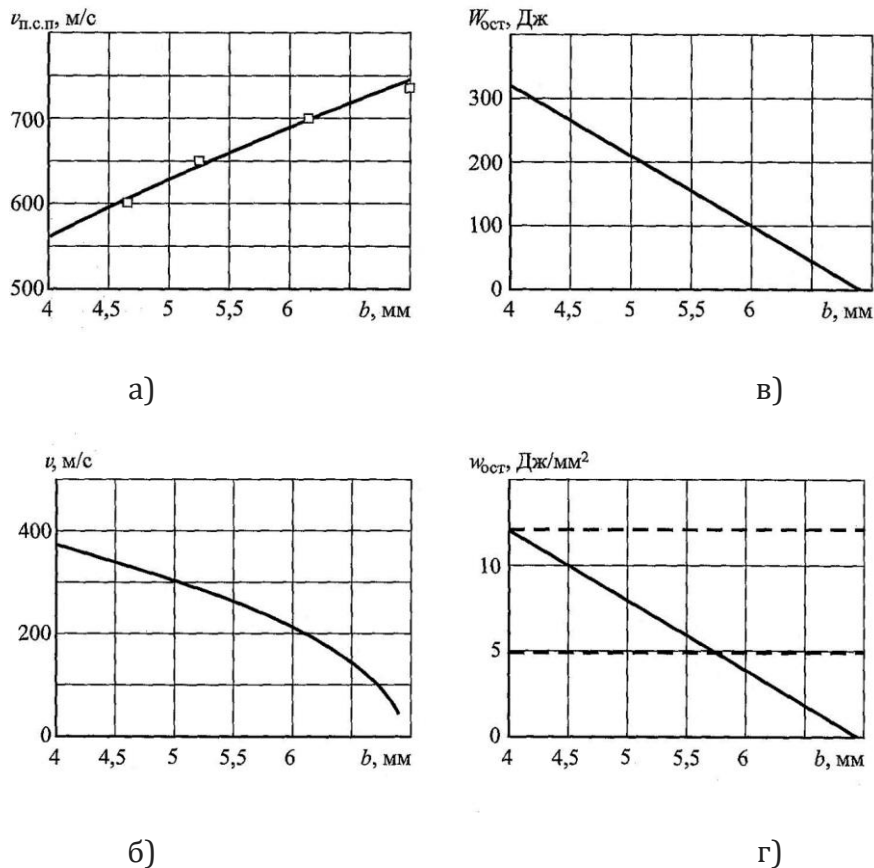


Рис.17.7. Залежність від товщини сталевій пластини граничної швидкості пробивання (а), заброньової швидкості (б), кінетичної енергії (в) та питомої кінетичної енергії (г) вибитої пробки та залишків сердечника при влучанні кулі ПС-43 з ТКС АКМ: - дані експериментів; - - розрахунок (пунктирними лініями показані рівні питомої кінетичної енергії, що відповідають кулям пістолетів ТТ та ПМ)

17.4. Металева броня на основі сплавів алюмінію та титану

При збільшенні товщини протикульової металевої броні понад $b/d \geq 1,5 \dots 2,0$ виключаються найменш енергоємні механізми пробивання броні, пов'язані з тильним відколом, згинанням і розтягуванням броні в ділянці кулі, утворення радіальної тріщини і подальшому руйнуванню за типом пролomu. Гранична швидкість наскрізного пробиття зростає не тільки через збільшення товщини перешкоди, але і внаслідок більш енергоємних механізмів її пробиття. Однак через вагові обмеження ЗІБ збільшення товщини сталевій броні понад 6,0...6,5 мм не представляється можливим.

При використанні замість сталевих броні високоміцних сплавів титану та алюмінію в рівній масі **товщина титанової броні збільшується в середньому у 1,7 рази, а алюмінієвої – у 2,8 рази**, що дозволяє сподіватися на збільшення протиккульової стійкості відповідних захисних структур. Оскільки відомі випадки застосування в ЗІБ високоміцних сплавів титану та алюмінію, коротко розглянемо їх основні властивості.

Титан та титанові сплави

Титан має дві поліморфні модифікації: низькотемпературна α -модифікація має ГЦУ-решітку і стійка до температури 882°C, при вищій температурі стійка β -модифікація, що має ОЦК-решітку. Наявність поліморфізму створює передумови для покращення властивостей титанових сплавів за допомогою легування та термообробки. За своєю кристалічною будовою титанові сплави діляться на однофазні з α -структурою, двофазні з $(\alpha + \beta)$ -структурою та однофазні з β -структурою.

Титанові сплави з α -структурою **BT5, BT5-1** містять 5% алюмінію, що є α -стабілізатором, а також 2,5% олова. Ці сплави мають середній рівень міцності, не піддаються термообробці і мають дуже високу корозійну стійкість.

Двофазні титанові сплави з $(\alpha + \beta)$ -структурою **BT6, BT8, BT14, BT16** та інші містять у певній пропорції α - і β -стабілізатори: алюміній, ванадій, молібден, хром, залізо тощо. Ці сплави мають гарне поєднання технологічних і механічних властивостей - вони зміцнюються при термообробці до $\sigma_B = 1,5...1,8$ ГПа. Титанові сплави характеризуються відносно низьким модулем пружності 112 ГПа.

Про балістичну стійкість тонких пластин з титанового сплаву Ti-6Al-4V (330HB , $\sigma_B = 895\text{ МПа}$) при дії бронебійних куль зі сталевим і свинцевим сердечниками можна судити за залежностями 50% швидкості пробиття від товщини пластин, наведеним на рис. 17.8.

Однофазні β -сплави не мають широкого промислового застосування, так як для отримання стійкої β -структури сплави повинні бути леговані великою кількістю β -стабілізаторів, таких як V, Mo, Nb, Ta - дорогих і дефіцитних матеріалів, до того ж значно підвищують щільність сплавів. В даний час застосовуються так звані псевдо-сплави типу VT15, що містять до 20% V, Mo, Cr.

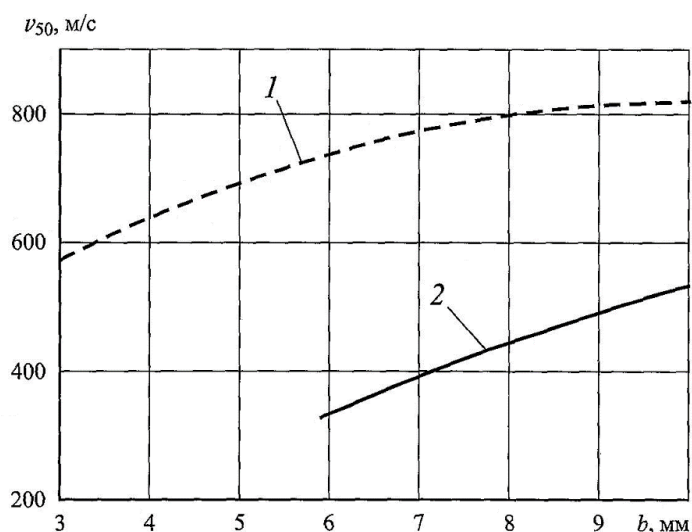


Рис. 17.8. Залежності 50%-ої швидкості пробиття титанових пластин від їх товщини: 1 - куля М193 зі свинцевим сердечником, калібр 5,56 мм; 2 - бронебійна куля AP M2 зі сталевим сердечником, калібр 7,62 мм

У ЗІБ застосовуються титанові сплави з $(\alpha + \beta)$ - структурою (BT14, BT23 тощо) та однофазні псевдо - β - сплави (ТС6). Так само, як і для сталевих брови, велику роль у покращенні механічних властивостей титанової броні грає **подрібнення мікроструктури**.

Необхідно відзначити, що через низьку теплопровідність титанові сплави при інтенсивному динамічному навантаженні мають схильність до локалізації зсувних пластичних деформацій, тобто утворенню смуг адіабатичного зсуву. Тому домінуючим механізмом пробивання титанової броньованої пластини є зріз та вибивання пробки.

Систематичне використання титанових сплавів для виготовлення броньованих елементів засобів індивідуального броньованого захисту почалося ще в 1970-х рр., в 1980-х рр. була розроблена серія бронежилетів 6Б5, в яких використовували титанову броню з ВТ14 у протиуламкових бронежилетах (товщина пластин 1,25 мм) та з ВТ23 у протикульних бронежилетах (товщина пластин 6,5 мм). У сучасних загальновійськових протикульних бронежилетах товщина титанової броні збільшена до 9,5 мм. При цьому текстильний бронепакет складається з 70 шарів тканини ТСВМ-ДЖ. Поряд із розробкою титанової броні для бронежилетів розроблено серію комбінованих броньованих шоломів з цільного натянутого титану масою до 2,1 кг, які забезпечують захист за 2-м класом.

Алюмінієва броня

Алюміній має ГЦК-решітку і в чистому вигляді характеризується низькою міцністю і малою твердістю, тому як самостійний броньовий матеріал не використовується. Але сплави алюмінію з магнієм, цинком, міддю та деякими іншими металами мають вже досить високі механічні характеристики, що забезпечують прийнятний рівень протикульової стійкості. Високоміцні алюмінієві сплави В95, В93, В96Ц1 мають границю міцності 600 ... 700 МПа, твердістю НВ 145 ... 160 і модулем пружності 72 ГПа. **З алюмінієвої броні АБТ-101 та АБТ-102 виготовляють корпуси бойових машин піхоти та десанту.**

У протикульних ЗІБ до недавнього часу алюмінієва броня знаходила обмежене застосування. Відомі зразки бронежилетів, в яких алюмінієві сплави використовують як антитравматичні вставки або для захисту від холодної зброї. Проте в даний час алюмінієва броня починає все ширше застосовуватися і в бронежилетах, і в шоломах, і в інших ЗІБ. Цей матеріал дає помітний виграш за масою порівняно з рівностійкою сталеву броню під час використання їх у захисних структурах 2-го класу захисту за ГОСТ Р-50744-95. Бронежилети з алюмінієвими броньованими елементами (Тантал-2) та броньовані шоломи з алюмінієвою основою «Рись» та «Урал» прийняті на озброєння МВС РФ.

Порівняльні дані щодо поверхневої щільності броньованого захисту з різних матеріалів від пістолетних куль наведені в табл. 17.4. Як випливає з аналізу цих даних, при обстрілі пістолетними кулями за нормаллю до поверхні броньованого елемента високоміцні титанові та алюмінієві сплави переваг перед текстильною броню не мають. За вартістю листовий прокат із алюмінієвих сплавів у 5 разів, а титанових у 25 разів перевищує вартість листового прокату з броньованої сталі. Титанова броня помітно легша при однаковій стійкості алюмінієвої та сталевій броні.

У табл. 17.5 за даними огляду наведено результати порівняльних оцінок протикульної стійкості гомогенних і складових броньових перешкод при обстрілі бронебійною кулею НАТО калібру 7,62 мм. У таблиці показник масової ефективності E_M дорівнює відношенню поверхневої щільності стандартної гомогенної сталевій броні до поверхневої щільності броньової перешкоди, що обговорюється. З табл. 17.5 видно, що поєднання керамічних плиток з алюмінієвою броню може бути більш ефективним за вагою, ніж їх поєднання зі сталеву броню високої твердості (HHS).

Таблиця 17.4. Поверхнева щільність броньованого захисту з різних матеріалів від пістолетних куль

Засіб ураження	Матеріал бронезахисту	Поверхнева щільність, кг/м ²
ПСТ, 9 мм, ПМ, 1-й клас захисту, $v = 315...320 м/с$	Поліетиленова панель з UD-66	2,1
	Ткань СВМ	2,3
	Титанова броня	9,0
	Алюмінієва броня	11,2
	Сталева броня	17,2
ПСТ, 7,62 мм, ТТ, 2-й клас захисту, $v = 415...445 м/с$	Поліетиленова панель з UD-66	6,6
	Ткань СВМ	9,2
	Титанова броня	13,5
ПСТ, 7,62 мм, ТТ, 2-й клас захисту, $v = 415...445 м/с$	Алюмінієва броня	16,8
	Сталева броня	17,4
	Комбінована структура: сталевая броня + тканина	13,0

Таблиця 17.5. Товщина та структура броньової перешкоди, необхідні для захисту від 7,62 мм бронебійних куль (патрон 7,62 x 51 мм AP)

Склад броньової перешкоди	Товщина, мм	Поверхнева густина, кг/м ²	Масова ефективність, E_M
Катана гомогенна сталевая броня, (RHA) (380 HB)	14,5	114	1
Сталева броня високої твердості (HNS) (500 HB)	12,5	98	1,16
Надвисокоміцна сталь	8,5	65	1,75
Гетерогенна сталевая броня (DHA) (лицьовий шар – 600 HB)	8	64	1,78
Алюмінієвий сплав марки 5083	48	128	0,89
7020	45	125	0,91
7039	38	106	1,08
2519	36	100	1,14
Титановий сплав Ti - 6Al - 4V	20	89	1,28
Композитний матеріал, армований волокнами	57	107	1,07
Сталь високої твердості (HNS) + алюмінієвий сплав 7039	20	91	1,25
Кераміка (Al_2O_3)			
сталь HNS	12	68	1,68
алюмінієвий сплав 5083	17	52	2,19
армований волокном пластик	18	49	2,33

Контрольні питання

1. Що таке полімерна композитна броня, балістичні органоластики та технології їх виготовлення?
2. Чим відрізняється броньовий органопластик від використовуваного, наприклад, в ракетно-космічній техніці?
3. Як балістична стійкість органопластикової броні залежить від вмісту сполучного компонента?
4. Дайте загальну характеристику високоміцних та високомодульних полімерних матеріалів текстильної броні?
5. Якою є технологія отримання та властивості арамідних волокон та ниток?
6. Яка технологія отримання та властивості волокон надвисокомолекулярного поліетилену?
7. Які найпоширеніші текстильні броньовані матеріали вам відомі, дайте їхню порівняльну характеристику.
8. Які нові високоміцні та надвисокомолекулярні полімерні матеріали ви знаєте?
9. Метрологія та міцність волокнистих матеріалів.
10. Назвіть типи переплетінь ниток у балістичних тканинах та дайте їхню порівняльну характеристику.
11. Чи залежить балістична стійкість текстильних броньованих пакетів від типу переплетіння ниток та їх рухливості у шарах тканини?
12. Чому більшість балістичних тканин для бронежилетів мають саржеве переплетіння?

13. Чим відрізняється броньова сталь від звичайної конструкційної сталі?

14. Як твердість та міцність броньової сталі впливають на її стійкість до пробиття?

15. Які основні марки броньової сталі вам відомі?

16. Механіка пробивання металевих броньованих елементів.

17. Як розраховуються граничні швидкості пробивання металевих броньованих елементів?

18. Титанова броня, склад, марки матеріалів та їх властивості. Застосування титанової броні.

19. Алюмінієва броня, склад, марки матеріалів та їх властивості. Застосування алюмінієвої броні.

20. Які керамічні броньовані матеріали ви знаєте? Які їхні властивості?

21. Які прозорі броньовані матеріали ви знаєте? Які властивості?

22. Охарактеризуйте взаємозв'язок мікроструктури скла і його міцності та опишіть способи його зміцнення.

23. Які прозорі полімери вам відомі та як їх застосовують у броньованому захисті?

24. Чим забезпечується балістична стійкість багатошарової прозорої перешкоди «триплекс»? Роль тильного полімерного шару.

25. Які є перспективні матеріали прозорої броні? Якою є балістична стійкість багатошарового прозорого захисту з високотвердим лицьовим шаром?

Тема 3. Формоутворення протибалістичних виробів

«Боротьба - ось у чому полягає таємниця світобудови.

Боротьба - це закон та шлях до прогресу»

Д. Лондон

18. Технологія виготовлення виробів з легких протибалістичних композитів

18.1. Технологія виробництва композиційних матеріалів

18.2. Процеси адгезії

18.3. Ручна викладка

18.1. Технологія виробництва композиційних матеріалів

Весь потенціал легких протибалістичних композитів можна використовувати лише при використанні належних технологічних методів та інструментів. Вибір технології виробництва залежить від безлічі факторів, наприклад:

- 1) розмір деталі;
- 2) кількість вироблених одиниць;
- 3) вибору і наявності протибалістичного матеріалу;
- 4) концентрація матриці;
- 5) вартість сировини;
- 6) вартість праці;
- 7) наявності потрібного обладнання;
- 8) характеристик виробу:
 - рівня балістичного захисту;
 - допустимої ваги;
 - структурних вимог і ударних характеристик;
 - інших умов;
- 9) температури експлуатації;

- 10) вплив хімічних речовин при експлуатації;
- 11) вологості;
- 12) впливу паливно - мастильних речовин;
- 13) інших умов.

Типи прес - форми

В отриманні протибалістичних композитів важливу роль відіграють прес - форми. Якість, вартість привабливість деталей з композиційних матеріалів залежать від якості прес - форм, за допомогою яких їх отримали. Прес - форми ділять на три основні типи:

- 1. Невеликі прес - форми низького тиску;
- 2. Великі прес - форми високого тиску;
- 3. Великі прес - форми низького тиску.

Невеликі прес - форми

Невеликі прес - форми використовують для виготовлення прототипів протибалістичних деталей. Такі форми можна робити з наступних матеріалів:

- деревини;
- неармованих полімерів;
- склопластику;
- кераміки;
- сталевих пластин з гальванічним покриттям;
- металеві (відпуск).

Великі прес - форми низького тиску

Великі прес - форми низького тиску використовують для отримання композиту в автоклаві. Їх зазвичай роблять з порівняно тонких сталевих пластин, композитів, кераміки і м'яких металів типу алюмінію. Такі прес-форми використовують для виготовлення складної форми. При виготовленні прес - форм з твердої сталі вони виявляються занадто дорогими і важкими. З їх допомогою роблять пластини, що підтримують лицьовий шар бронекераміки або металу. Відзначимо, що матеріали, сформовані при низькому тиску, менш тверді і структурно стабільні, ніж отримані при високому тиску.

Через свій спеціалізований характер виготовлення прес-форми і інструментів для створення легкої броні перетворилося в окрему галузь індустрії. Прес - форми розробляють за допомогою комп'ютера, який може використовуватися і при їх виточування.

Нагрівання і охолодження прес – форм (обладнання)

Висока температура потрібна при виготовленні деталей з металів, полімерів, композитів і багатьох інших матеріалів. Гідравлічний прес можна нагрівати за допомогою плоских пластин, всередині яких знаходиться електронагрівач, або за допомогою циркулюючого масла або гарячої пари, що пропускається через прес-форму. Гарячий пар використовують, якщо на заводі вже застосовують пар для обробки інших матеріалів. Однак набагато частіше форми нагрівають маслом.

У багатьох випадках потрібне охолодження композитів. Охолодження прес - форми під тиском гарантує отримання високоякісної поверхні і хороші балістичні характеристики деталі. Прес - форму охолоджують, пропускаючи через неї водопровідну воду.

Виймання деталі

Прес - форми покривають герметиками і антиадгезивами, що забезпечують швидке вилучення деталі і високу якість поверхні. Крім того, використання антиадгезивів звільняє від необхідності часто чистити і ремонтувати прес - форми.

Антиадгезив може мати вигляд твердої, рідинної або аерозольної речовини, що містить силанові або силіканові групи. Вибір антиадгезиву базується на якості, надійності, технічних характеристиках і вартості. Дорогий діючий антиадгезив в кінцевому рахунку може бути економічно більш дешевого антиадгезиву, який пошкоджує деталь і саму форму.

18.2. Процеси адгезії

Утворення адгезійного зв'язку здійснюється шляхом склеювання двох різних або однакових матеріалів. Термопластичний або термореактивний полімерний адгезив можна використовувати для склеювання двох композитних ламінатів, не металу і композиту, метал і композит, а також кераміку і композит. Є безліч можливих комбінацій матеріалів, які можна склеювати для отримання броні, і велика кількість відповідних адгезивів.

Адгезиви, які використовують для склеювання протибалістичних композитів, можуть бути **поділені на такі типи**:

1. **Клеї на основі розчинника**. У них можуть використовуватися різні розчинники (зокрема, вода) і полімери типу епоксидної або поліефірної смоли, поліуретану і т.п. Вони забезпечують високий рівень склеювання, мають невелику в'язкість і їх легко використовувати. Основними **недоліками** таких клеїв є не надто великий термін зберігання і забруднення навколишнього середовища.

2. **Рідкі клеї.** Рідкі адгезиви можуть складатися з одного або двох компонентів. Основою клею може бути епоксидна смола, поліуретан, каучук або силікон. Вони мають більш високу в'язкість, ніж адгезиви на основі розчинника. Тому ці клеї не течуть і їх можна наносити на вертикальні поверхні. Після нанесення на поверхню їх, потрібно порівняно швидке затвердіння, в результаті чого забезпечується жорстке або гнучке склеювання.

3. **Клеї, що плавляться при нагріванні.** Абсолютно тверді адгезиви можуть плавиться при нагріванні. Клеї, які плавляться і не мають розчинника, легко зберігати і транспортувати. Крім того, вони забезпечують чистоту. Основою клею може бути поліетилен, насичений полієфір, поліаамід, а також суміш полімерів і наповнювачів.

4. **Сухі полімерні плівки.** В даний час є кілька видів таких адгезивів, включаючи ті, які плавляться при нагріванні. Вони випускаються у формі листів або безперервних плівок. У них не використовується розчинник, вони мають великий термін зберігання, чисті, мають високу ефективність і однорідні по товщині. Основою адгезиву може бути епоксидна або фенольна смола, поліамід або каучук.

5. **Контактні адгезиви.** Часто використовують липкі адгезиви, недоліком яких є невелика міцність. Зазвичай їх наносять шляхом розпилення аерозолю і з прикладанням невеликого контактного тиску до склеюваних деталей. Основою адгезиву часто є каучук або поліолефін.

Вибір клею

Ефективність адгезійного з'єднання залежить від типу матеріалів, що склеюються, типу адгезиву і методу склеювання. Тут неможливо охопити всі деталі технології склеювання. Вибір адгезиву визначається наступними факторами:

- типом матеріалів, що склеюються;
- станом поверхні матеріалів;
- необхідної міцності склеювання;
- призначення деталей, що склеюються;
- максимальної і мінімальної температурою експлуатації виробу;
- станом навколишнього середовища при експлуатації;
- місцем розташування адгезиву між деталями;
- іншими факторами, що обмежують тип адгезиву.

Підготовка матеріалу до формування

Матеріали протибалістичного призначення розрізають на шматки певного розміру, іноді за допомогою трафарету. При цьому потрібно проявляти обережність, оскільки утворення складок і перекривання шарів тканини при укладанні в прес - форму небажано. Їх можна частково уникнути при викладенні вирізаних шматків тканини.

Розрізання

При розрізуванні арамідної тканини або з орієнтованого поліетилену можуть з'явитися деякі проблеми, типові для більшості тканин, і проблеми, характерні тільки для арамідних волокон. Якщо тканина не є симетричною (наприклад, 24 на 24), вигин ниток основи і утка різний, і при розрізанні потрібно враховувати напрямок орієнтації основи. Напрямок основи в цьому випадку потрібно враховувати і при викладенні шарів тканини.

Підготовка прес - форми

На поверхню прес форми спочатку накладають антиадгезивну плівку, що дозволяє легко виймати виготовлену деталь. Форма не повинна мати дефектів, що впливають на якість отриманої деталі або заважають її вийманню.

Противалістичні структури

Ефективність противалістичної деталі залежить від наступних факторів:

1. **Конструкції**. Використання кращих матеріалів (волокна і матриці) і оптимальна схема укладання дозволяє знизити вагу і вартість броні.

2. **Технології**. Потрібно використовувати найбільш оптимальний метод виготовлення деталі. Технологічні методи типу вакуумного формоутворення, пресування або формування в автоклаві використовують в комбінації з відповідними методами збирання - вологою викладкою, викладкою препрегів (на основі термореактивних або термопластичних матриць), а також викладенням сухої тканини і плівкової матриці.

3. **Контролю** виробничого процесу, що забезпечує характеристики виробу. Без певних характеристик не можна гарантувати необхідний рівень захисту виробу. Недостатній контроль виробничого процесу може привести до потенційно летальних наслідків в польових умовах. З цієї причини краще використовувати препреги або плівкові матриці.

Вибір технологічного метода виробництва виробу з композитного матеріалу:

- ручна викладка (волога ручна викладка);

- формування вакуумом;
- затвердіння в автоклаві;
- пресування.

18.3. Ручна викладка

Шари матеріалу викладають на прес - форму. Рис. 18.1 ілюструє процес викладки арамідної тканини на прес - форму. Ця операція є однією з найбільш важливих, так як розташування шарів робить вирішальний вплив на експлуатаційні характеристики виробу. Процес викладки матеріалу на прес - форму, взагалі кажучи, практично не залежить від типу використовуваної матриці. Різниця полягає в тому, що при використанні рідкої матриці її потрібно наносити на кожен шар тканини.

На рис.18.2-18.5. ілюструють викладку великої деталі (в даному випадку, перекриття для підлоги літака) з використанням термопластичної полімерної матриці. Для плавлення матриці використовують джерело тепла.

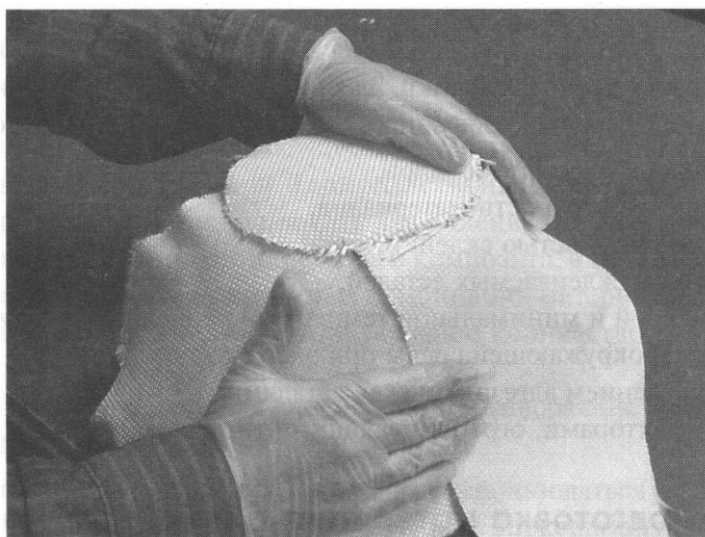


Рис. 18.1. Викладення тканини на прес - форму каски



Рис. 18.2. Накладання шару на форму

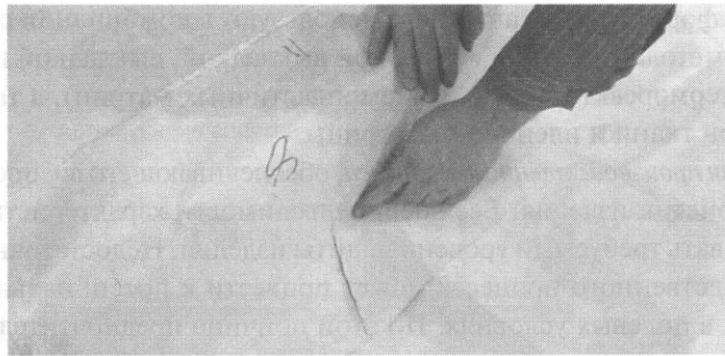


Рис. 18.3. Розміщення деталі, що перекриває розріз тканини



Рис. 18.4. Кути розгладжують для уникнення утворення складок і пустот

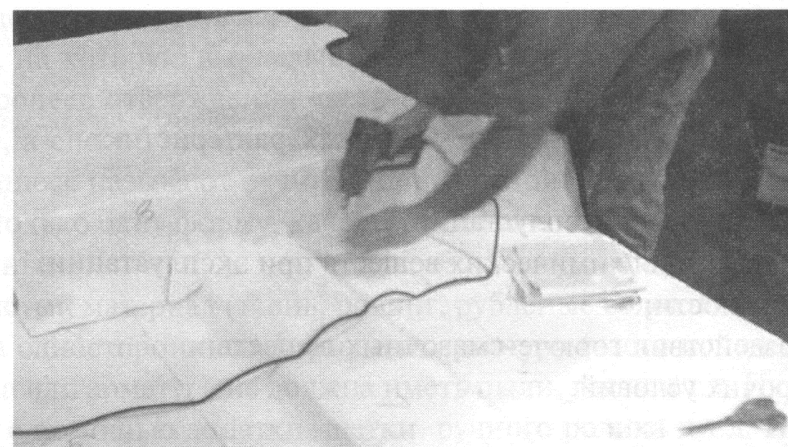


Рис. 18.5. Кінцеве складання шляхом локального прогрівання

19. Методи виготовлення виробів з композиційних матеріалів

19.1. Ручна викладка

19.2. Формування в мішку

19.3. Пресформування

19.4. Порівняння формування в автоклаві і пресі

19.5. Вплив тиску формування

19.1. Ручна викладка

Розглянемо типові **технологічні методи** виробництва композитів - ручна викладка, формоутворення в мішку (RTM) і затвердіння в автоклаві.

При виробництві виробів з волокнистих композиційних матеріалів часто використовують процес **ручної викладки**. Вироби з композиційних матеріалів часто роблять методом ручної викладки (або вологою ручною викладкою) шарів тканини, особливо якщо **кількість вироблених деталей не надто велика**. Цей процес застосовують для виробництва деталей складної форми, коли виготовлення прес - форми може бути проблемою. Так як ручна викладка є найпростішим технологічним методом, на її прикладі зручно ілюструвати загальні принципи виготовлення композиту. Іншими словами, принципи, які застосовуються при ручному викладенні, в тій чи іншій мірі застосовні і до всіх інших методів (рис. 19.1.).

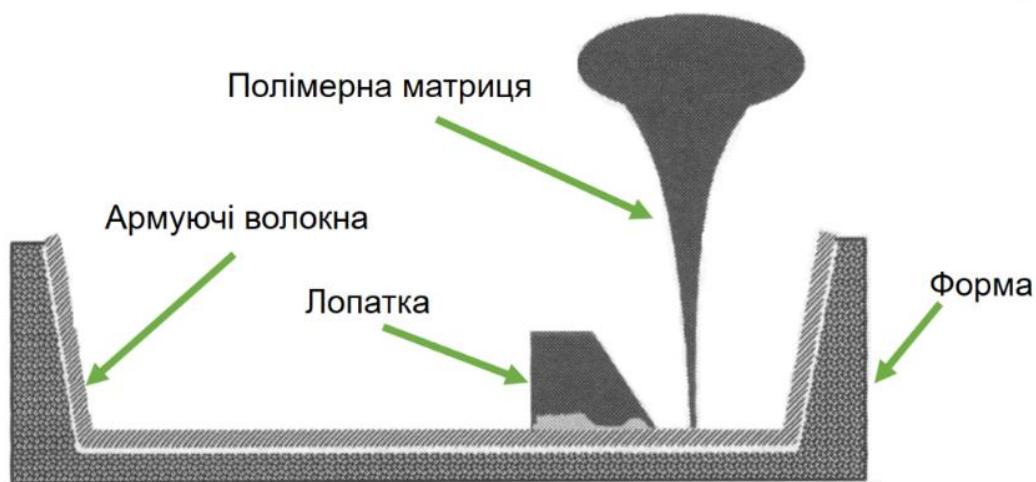


Рис. 19.1. Процес ручної викладки

У цьому процесі (рис. 19.1) використовується «відкрита» форма, тобто є не дві, а лише одна форма, на яку викладаються шари волокон і матриці. Деталь роблять вручну. Процес затвердіння часто (але не завжди) проводять **при кімнатній температурі**, а спосіб затвердіння визначається типом використовуваної матриці. Цей процес називають ручної, або вологою, викладкою. Так як процес використовує тільки одну форму, якість поверхні деталі, що отримуємо може бути різним.

Волокнистий матеріал (тканину, ровинг, рубані волокна і т.д.) вручну викладають на односторонню форму або арматуру (часто використовують сітку або піну). Форма або арматура не повинна мати пилу, бруду, тощо. На волокна наносять матрицю за допомогою лопатки, щітки, ручного ролика, тощо. Іноді матрицю просто ллють на волокна і розподіляють за допомогою лопатки. Крім того, волокна можна занурити у ванну з рідкою матрицею, а потім викласти на форму. Так можна укласти велику кількість шарів, і після затвердіння матриці можна витягти деталь з форми. Залежно від типу матриці суха деталь затвердіває повністю або частково. Суху деталь можна переносити для повного затвердіння або для звільнення з форми з метою викладення наступного виробу (рис. 19.2.).

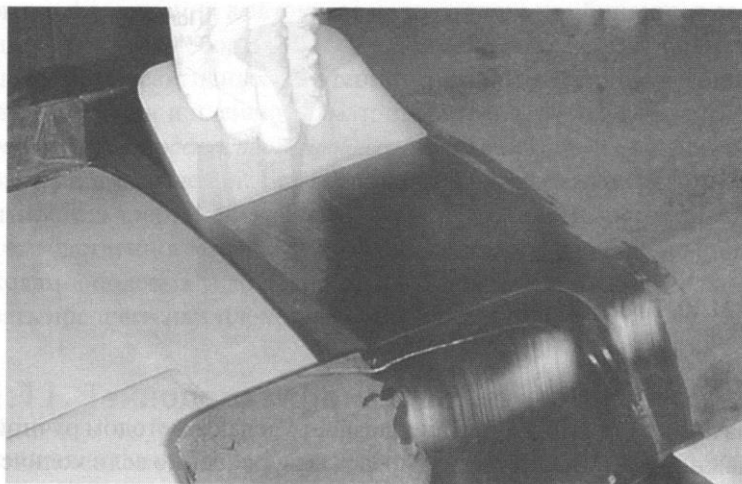


Рис. 19.2. Нанесення епоксидної матриці на вуглецеві волокна

В якості матриці в композитах протибалистичного призначення, як правило, використовують епоксидну композицію, що складається з двох складових - епоксидної смоли і каталізатора реакції зшивання, який часто називають **затверджувачем**. Затвердіння це каталітична хімічна реакція поперечного зшивання низкомолекулярного діепоксиду з діаміном, в результаті чого утворюється жорсткий полімер. Затвердіння смоли дає дуже міцну епоксидну матрицю, яка поєднує сусідні волокна. Її недоліком є **зайва крихкість**.

Волога викладка є найпростішим технологічним методом створення композиту, і це безперечно є перевагою, коли виробництво лімітується складністю виготовлення і ціною технологічного обладнання. У композитах протибалистичного призначення небажане зайве просочення тканини матрицею, і здатність рідких смол проникати через тканину, що може бути недоліком.

При нанесенні матриці в методі ручної викладки її вміст може бути надто великим, перевищуючи вагу тканини, що небажано, оскільки міцність композиту оптимальна при більш низькому вмісті матриці. Ідея вирішення цієї проблеми полягає в просочуванні текстильних волокон рідкою смолою до укладання шарів. Цей процес називають отриманням

препреги. Він полягає в попередньому нанесенні на волокна смоли і її частковому затвердіння. Це дозволяє рівномірно розподілити матрицю по об'єму волокна і уникнути появи областей з волокнами, які не склеювалися або надлишком матриці, що оптимізує її розподіл в композиті.

19.2. Формування в мішку

Розглянуте вологе укладання шарів тканини часто виявляється досить хорошим технологічним методом, але умови роботи броні вимагає кращої інтеграції матриці і тканини, що можливо лише при прикладанні тиску. Формування в мішку ізолює структуру затверджувача від кисню повітря (рис. 19.3).

Отримані цим методом композити **мають** більш високу питому міцність (відношення міцності до ваги). Якщо вміст матриці надмірно високий, міцність композиту невисока. З іншого боку, якщо вміст матриці занадто малий, міцність матеріалу також знижується, оскільки одні лише волокна не забезпечують необхідних характеристик матеріалу. Тиск забезпечує кращу просочення волокон.

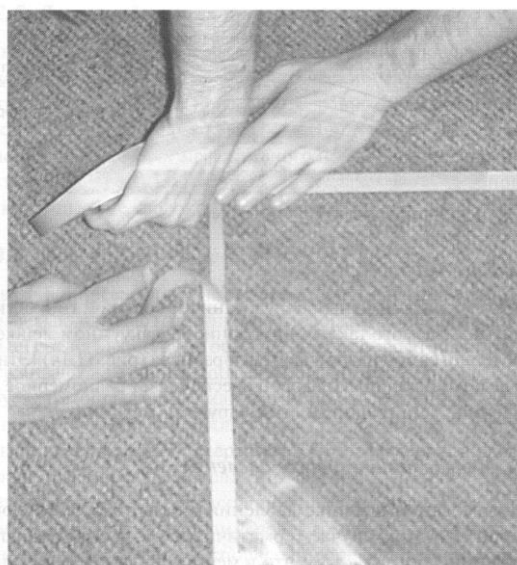


Рис. 19.3. Нанесення герметизуючої плівки при формуванні в мішку

Формування в вакуумному мішку

При пресуванні в вакуумному мішку для з'єднання шарів композиту використовують **атмосферний тиск**. При цьому з композиту видаляється практично все повітря і гази, що виділяються при затвердінні матриці (рис. 19.4.).

Атмосферний тиск становить приблизно 0,1 МПа, що відповідає тиску, який створюється вантажем вагою 10т на площі 1 м². В повітрі атмосферний тиск діє однаково на всі поверхні деталі. Якщо ж одна з поверхонь панелі знаходиться у вакуумі, а на іншу поверхню діє атмосферний тиск, то створюється стискаюча сила величиною 10 т/м², що забезпечує дуже хороше з'єднання волокон і матриці.

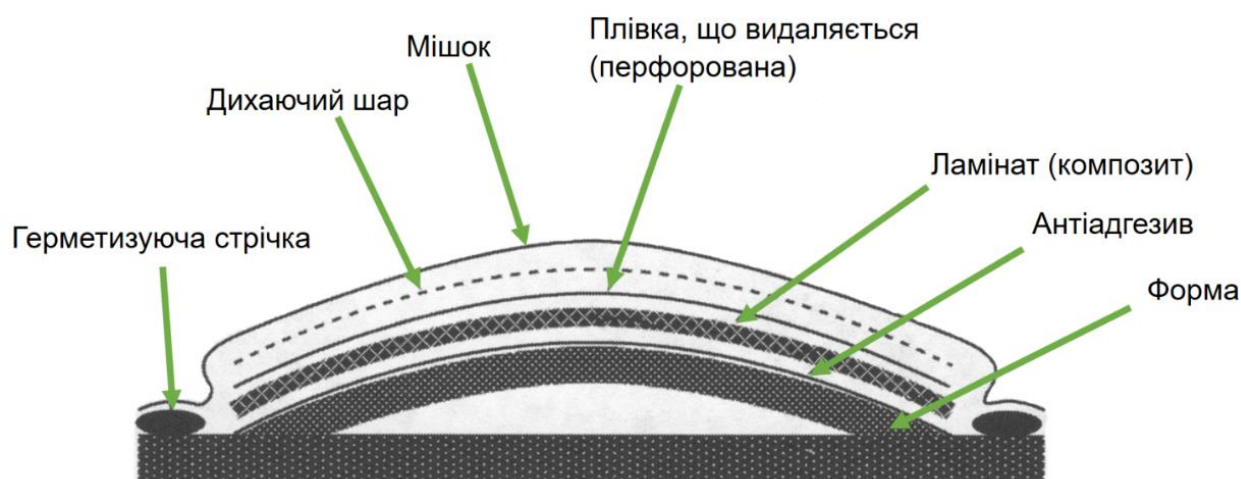


Рис. 19.4. Формування в вакуумному мішку

Через відносно низьку ціну обладнання та гнучкості методу **вакуумного формоутворення** (званого також формуванням у вакуумному мішку) їм можна виготовляти деталі різної форми і розміру. Цим способом дуже зручно робити каски, оскільки він забезпечує рівномірний тиск на поверхню форми, чого важко досягти іншими методами.

Формування в мішку під тиском

Технологія формування в мішку під тиском дуже схожа на формування в вакуумному мішку. В цьому випадку герметичний мішок заповнюють повітрям. Їх головна відмінність полягає в тому, що в мішку **величину тиску можна змінювати** від нульового до приблизно 15 атм, що в 15 разів вище, ніж при використанні вакуумного мішка. Таким чином, **вакуумний мішок дозволяє створити тиск 10 Н/см^2 , а газовий мішок - до 150 Н/см^2 .**

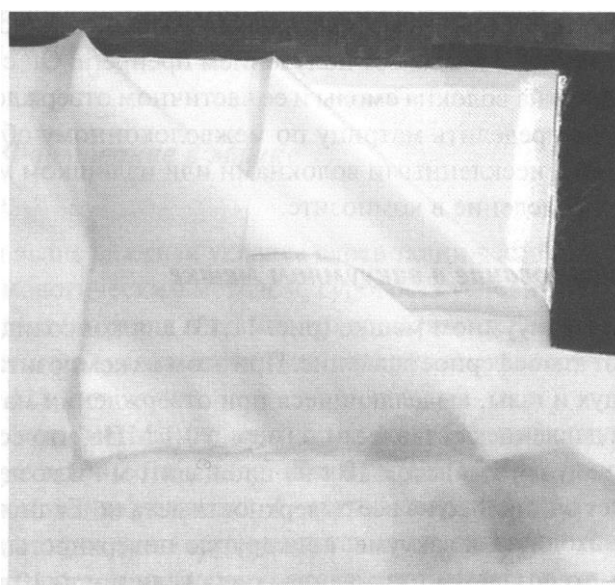


Рис. 19.5. Шари матеріалу поміщаються у вакуумний мішок

19.3. Пресформування

При формуванні в пресі, пакету з композиційного матеріалу і матриці надають відповідну форму прикладаючи зовнішній тиск і підвищуючи температуру. Тиск підтримують до затвердіння матриці. При цьому методі формування часто **використовує** термопластичні або частково затверділі термореактивні матриці. При прикладанні зусилля тільки до однієї поверхні тиск збільшується і на іншій поверхні. Пресформування **дозволяє створювати** досить великі вироби складної форми.

Цим методом **можна робити** високоміцні композити на основі термопластичних або термореактивних полімерів і армуючих волокон у вигляді односпрямованих ламінатів, тканин або тканин з рубаних волокон. **Перевагою** пресформування є можливість робити великі деталі складної форми.

Основною перевагою методу формування в пресі є можливість точного відтворення форми і характеристик деталей завдяки контролю всіх стадій процесу. Охолодження деталі можна прискорити шляхом охолодження форми. Як правило, деталь можна витягати з прес-форми тільки після затвердіння матриці і охолодження до температури навколишнього середовища.

Форма складається з двох частин, як показано на рис. 19.6, та ілюструє метод виготовлення невеликої деталі, в даному випадку зігнутої нагрудної пластини з арамідної тканини.

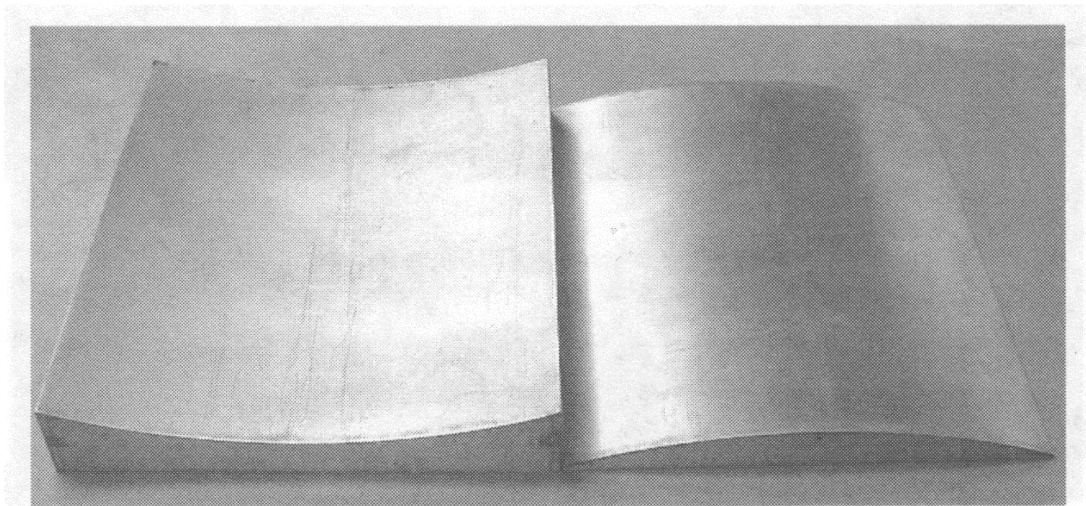


Рис. 19.6. Дві відповідні частини прес - форми

На нижню частину прес – форми вкладають шар «дихаючої» тканини, шар перфорованої плівки, яка пропускає надлишки смоли, і шари арамідної тканини.

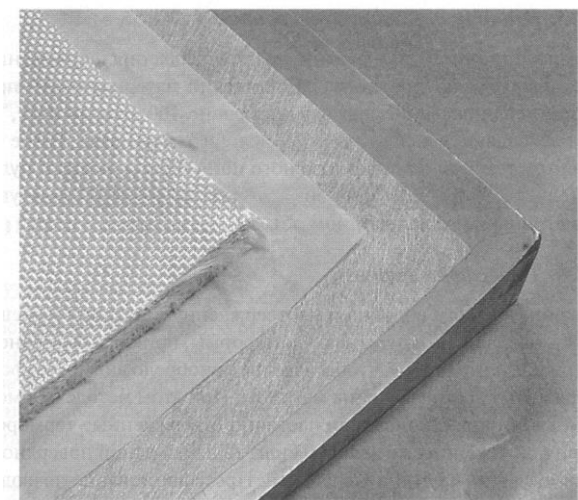


Рис. 19.7. Збирання деталі на нижній увігнутій частини прес - форми

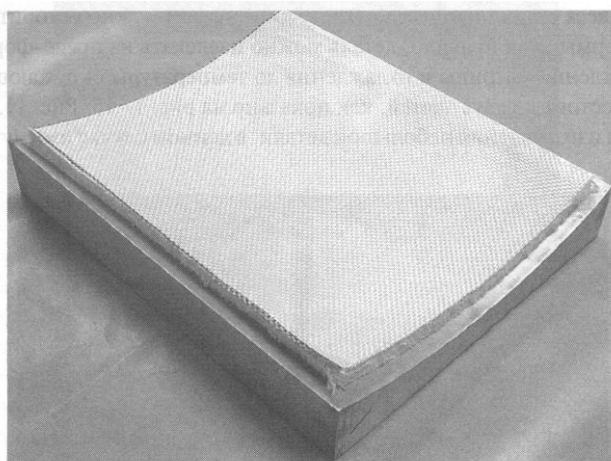


Рис. 19.8. Деталь, зібрана на нижній увігнутій частині прес-форми

Матеріал набуває вигляду прес - форми ще до прикладання тиску. Після цього накладають верхню частину прес - форми і поміщають зібрану систему в прес для з'єднання матеріалу відповідно до параметрів виробництва, передбаченими для даної пари тканини/матриця.

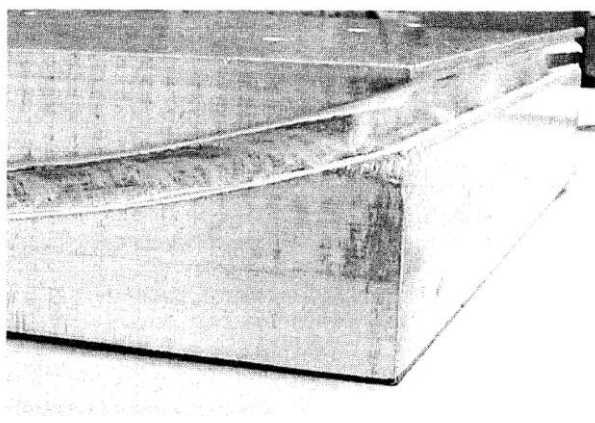


Рис. 19.9. Виготовлення композиту за допомогою двох зігнутих частин прес - форми

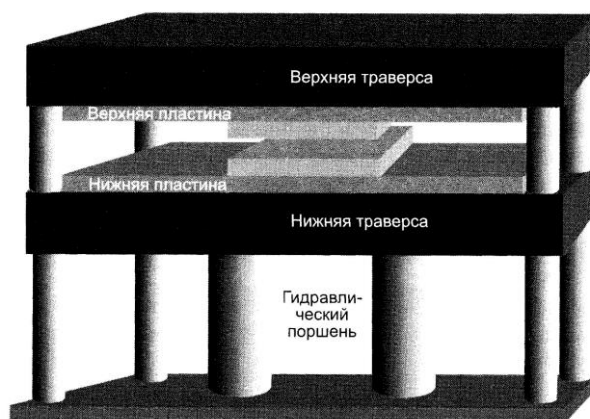


Рис. 19.10. Гідравлічний прес для формування композитів

Цей процес **вимагає** точного контролю температури і тиску, відсутність якого може призвести до фатального погіршення властивостей виробу. Як зазначалося вище при обговоренні методу

вологої викладки, майже завжди важливо уникнути заповнення матрицею областей між нитками в тканини.

При пресформуванні, як впливає з назви методу, використовують прес. Типовий прес показаний на рис.19.10. Тиск створюється одним або декількома гідравлічними поршнями.

Верхня і нижня пластини нагрівають маслом, водою або парою, що прискорює перебіг матриці під тиском. Пластини можуть охолоджуватися рідиною, що протікає через ті ж трубки, що і при нагріванні.

19.4. Порівняння формування в автоклаві і пресі

Формування в автоклаві і в пресі високого тиску - це стандартні технологічні методи отримання композитів протибалістичного призначення. Доступно як нове, так і вже використане недороге обладнання для обох типів формувань. Управління та вартість обслуговування цього обладнання також невисоке. У табл. 19.1. наведено порівняння головних особливостей цього обладнання.

19.5. Вплив тиску формування

Властивості композиційного матеріалу залежать від тиску формування. Наприклад, в деяких випадках протибалістичний матеріал має прекрасні характеристики, якщо тиск пресування дорівнює 100 фунтів/фут², але його характеристики погіршуються, якщо тиск збільшити в три рази. Таку поведінку можна пояснити тим, що для ефективного поглинання енергії кулі необхідно значний зсув волокон, яке зменшується при збільшенні кількості матриці в об'ємі волокна.

Таблиця 19.1. Виробництво композитів протибалістичного призначення в автоклаві і пресі високого тиску

Параметри	Автоклав (низький тиск)	Прес
Тиск	Низьке, 10-20 атм	Високе, 100-250 атм
Об'єм виробництва	Високий	Високий
Вартість виробу	Низька	Висока
Якість поверхні	Добра з боку форми	Добра з обох боків форми
Структурна жорсткість	Добра	Чудова
Інструменти і кріплення	Так	Ні
Додаткові шари при формуванні	У разі керамічного шару відсутні	Так
Балістичний захист від уламків	Добрий	Добрий
Балістичний захист від пістолетних куль	Добрий	Добрий
Балістичний захист від гвинтівкових куль	Добрий	Чудовий
З керамічним шаром	Чудова	Чудова
Заброньова деформація	Добра	Чудова

Таблиця 19.2. Вплив тиску формування на балістичну границю V₅₀

Тиск формоутворення (psi)	V ₅₀ (фут/с) для кулі M80
500	2230
1500	2360

Балістичні характеристики композиційних матеріалів, особливістю яких є знижений вміст матриці, залежать від типу волокна, матриці і умов формування. Більш високий рівень балістичного захисту вимагає кращих захисних характеристик композиту. Прикладом впливу тиску вимагає кращих захисних характеристик композиту. Прикладом впливу тиску може служити жорстка формована панель на основі матеріалу Spectra Shield Plus, властивості якої наведені в табл.19.2.

20. Формування протибалістичних виробів. Каски. Поліцейські щити.

20.1. Формування касок

20.2. Технологія виробництва

20.3. Переносні поліцейські щити

20.1. Формування касок

Каски мають складну геометричну форму, проте в якості вихідних матеріалів використовують лише у вигляді тонких плоских плівок або рулонів тканини. Із - за складної геометричної форми підготовка і розрізання листів грають важливу роль. Якщо **заготовки** мають круглу форму, буде багато відходів. Якщо ж використовувати заготовки іншої геометричної форми, критичним стає розміщення кожного листа в потрібному місці для отримання однакової товщини каски і забезпечення високих балістичних характеристик. Виробники касок витрачають багато часу і зусиль на оптимізацію форми заготовок.

Розміри касок: каска повинна мати один із наступних розмірів – дуже мала, мала, середня та велика.

Корпус каски

Матеріал: згідно специфікації MIL-DTL-44050B корпус каски роблять з арамідної тканини, покритої шаром матриці, що складається з 50% фенолформальдегідної та 50% полівінілової смол. Для забезпечення захисного зеленого кольору каски матриця має бути забарвлена. Вага матриці становить 15-18% від повної ваги корпусу каски.

Виготовлення корпусу: із покритої шаром матриці арамідної тканини вирізують пелюсткові або комбіновані пелюсткові та прямокутні

заготовки. Заготовки накладають один на одного так, щоб проміжки між двома будь-якими суміжними шарами не перевищували половини дюйма. Загальна кількість пелюсткових та прямокутних шарів тканини у будь-якій точці корпусу каски має бути **не менше 19**.

Формування корпусу каски: корпус каски отримують за допомогою двох пресформ при високій температурі та тиску за один цикл затвердіння матриці. Повторно корпус формувати не можна. За наявності розшарування та бульбашок корпус повинен бракуватися.

Оздоблення каски: сформований корпус свердлять, після чого до очищеного та відшліфованого нижнього ребра приклеюють гумову кромку. Після висихання клею всі каверни та тріщини на зовнішній поверхні корпусу заповнюють епоксидною смолою, поверхню очищають, шліфують та готують для фарбування. Потім поверхню забарвлюють спочатку ґрунтовою, а потім чистовою фарбою, в яку вводять добавки, що створюють текстуровану поверхню. Нарешті, встановлюють систему підвіски та підборідний ремінь.

Вага: максимальна вага каски із системою підвіски та підборідним ремнем обмежена такими значеннями (табл. 20.1.).

Таблиця 20.1. Вага каски в залежності від розміру

Розмір	Вага (унцій, 1унція≈0,03 кг)
Дуже малий	50
Малий	51
Середній	53
Великий	57

20.2. Технологія виробництва

Процес виготовлення каски ускладнений непростю геометричною формою. Найбільш **відповідальними** областями каски є бічні стінки. Так як каски роблять з плоских шарів тканини, надання їм форми людської

голови вимагає великої кількості розрізів, згортань і перекривання кожного шару.

Заготовку з протибалістичної тканини розрізають. Заготовки для виготовлення касок називають **пелюстковими**. Їх форма забезпечує необхідне перекривання пелюстків, що забезпечує захист лобової і скроневої частини голови (рис. 20.1).

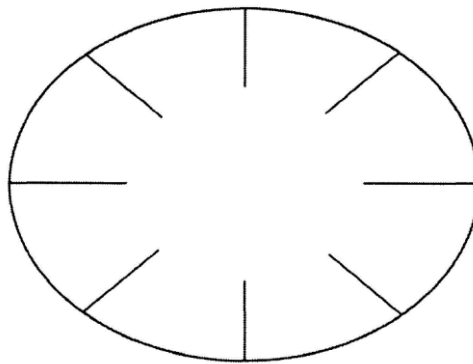


Рис. 20.1. Пелюсткова заготовка

Щоб уникнути зайвої товщини каски в її верхній частині, в деяких заготовках роблять овальні вирізи (рис. 20.2.). Це зменшує вагу виробу і дозволяє отримати однакову товщину каски.

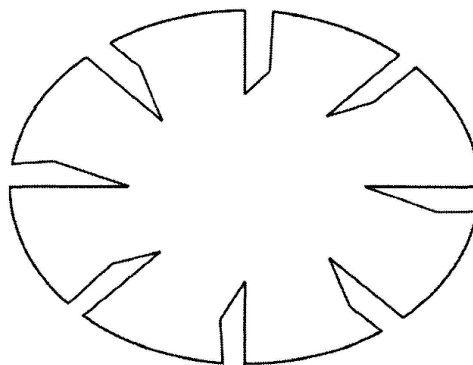


Рис. 20.2. Листові заготовки, що застосовують для перекриття

Як правило, броня є шаруватий матеріал. Заготовки повинні перекриватися, а при наявності в них вирізу або отворів їх потрібно правильно орієнтувати, так, щоб отвір був закритий вставкою. Три

заготовки накладаються одна на одну, що показані на рис. 20.3. Це доводиться робити неодноразово.

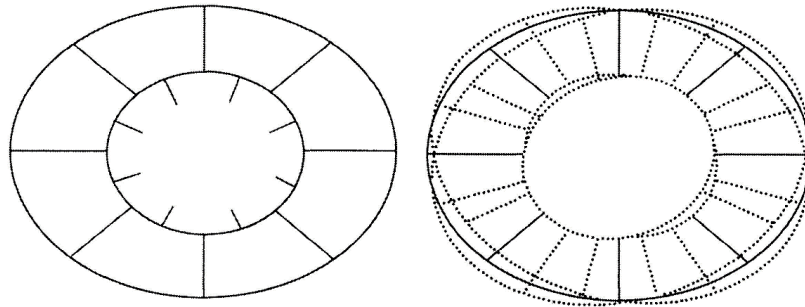


Рис. 20.3. Заготовка корпусу каски та накладення декількох заготовок

На рис. 20.4. показаний корпус каски, зроблений цим методом. Щоб зробити товщину ще більш однорідною, верх каски може бути посилений за допомогою додаткових заготовок, які укладають між пелюстковими шарами.

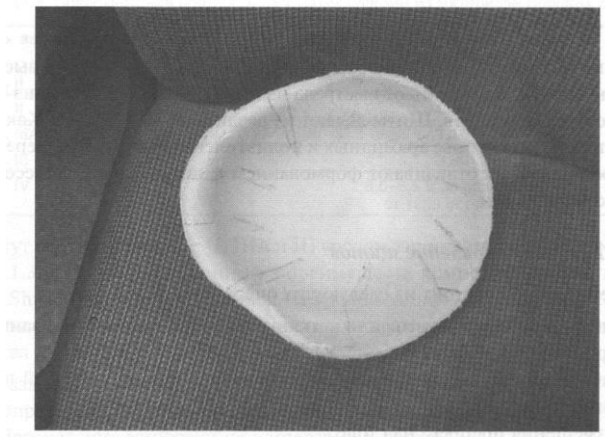


Рис. 20.4. Корпус каски після формування

Після укладання шарів на прес - форму заготовку пресують, охолоджують і обрізають для надання кінцевого виду (рис. 20.5-20.6.).

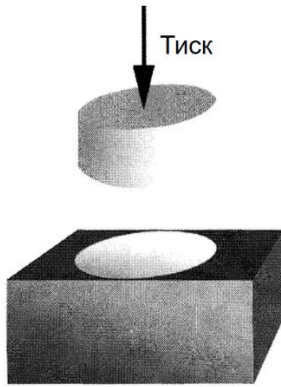


Рис. 20.5. Пресування каски

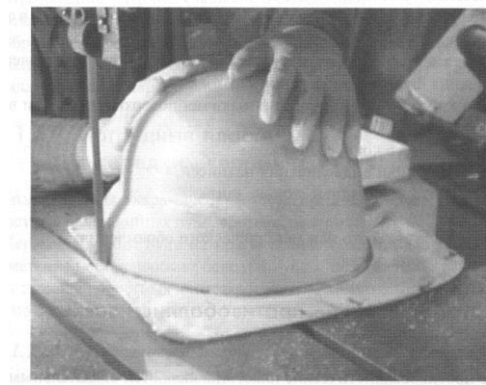


Рис. 20.6. Обрізка кромки каски

20.3. Переносні поліцейські щити

Переносні щити використовуються поліцією, щоб заспокоювати масові заворушення. Щити повинні захищати від пострілу з пістолета, а деякі з них - і від гвинтівочних пострілів. Щити роблять з різних матеріалів. Як правило, це матеріали на основі арамідних і поліетиленових волокон. Переносні поліцейські щити **виготовляють** формуванням в автоклаві або пресуванням при високому тиску.

Виготовлення щитів складається з наступних операцій:

- 1) Вибору тканини, препрегів або нетканих поперечно орієнтованих матеріалів;
- 2) Вибору оптимальної ширини матеріалу, виходячи з необхідної ширини щита;
- 3) Розміщення препрегу на столі;
- 4) Вибору кількості шарів препрега виходячи з необхідного рівня захисту;
- 5) Перенесення заготовки на нагріту форму або в автоклав;

6) Закривання форми і прикладання тиску всередині його. При формуванні в автоклаві шари укладають на форму, що знаходиться всередині нього;

7) Затвердіння матриці (включаючи охолодження, якщо воно застосовується);

8) Відкривання форми і вилучення заготовки;

9) Обрізування кромки щита і перевірки наявності поверхневих або внутрішніх дефектів;

10) Вирізання вікна в корпусі щита;

11) Приклеювання або видавлювання написів;

12) Установка ручки на задній стороні щита;

13) Фарбування;

14) Встановлення каучукового або металевого обрамлення;

15) Установка броньованого скла.

Недоліком розглянутих технологій виготовлення органопластикових панелей або касок є труднощі контролю ступеня просочення шарів тканини, що може призводити до неприйняттого розкиду балістичних властивостей виробів.

#додаткові_факти

1. Шолом як індивідуальний засіб захисту проти вогнепальної зброї

Розглянемо шолом українського виробництва «Шолом балістичний «TOR»»



Рис. 20.7 Тривимірна модель шолому балістичного «TOR»

Шолом балістичний TOR призначений для індивідуального захисту військовослужбовців і правоохоронців від травм і поранень, для розміщення спеціального обладнання.

Забезпечує захист голови при падіннях, ударах, від впливу вибухової хвилі, дрібних осколків, рикошетів, потраплянні пістолетних куль і куль іншої легкої стрілецької зброї на вильоті.

Матеріали бронекуполу шолому (96% арамідна тканина Kevlar і 4% склонаповнений PS) забезпечують експлуатацію виробу у всіх кліматичних умовах, з урахуванням впливу атмосферних опадів.

Таблиця 20.2. Порівняння характеристик шоломів «TOR», ACH/MICH 2000 (США) та «Каска-М1»

Модель шолому	TOR (Україна)	ACH/MICH 2000 (США)	Каска-М1 (Україна)
Клас захисту України (ДСТУ1 - 004=97)	1-А	1-А	1-А
Клас захисту NIJ США (STANAG 2902 NATO)	IIIА	IIIА	IIIА
Площа захисту	13,1дм ²	13,1дм ²	12-14дм ²
Матеріал	96% арамідна тканина (кевлар), 4% склонаповнений PPS	арамідна тканина (кевлар)	Формований параарамід в комбінації з НВМПЕ
Маса, кг	1,6±0,1	1,75	1,5±0,3
Розмір шолому	Єдиний збільшений	XL	Великий
Розмір можливого регулювання по голові, мм	560-620	560-620	560-620
Внутрішня висота, мм	160	160	172±2
Внутрішня довжина, мм	270	270	258±2
Внутрішня ширина, мм	270	270	229±2
Система підвішування	4-х точкова, регульована	4-х точкова, регульована	4-х точкова, регульована
Система амортизації всередині шолому	7 подушок демпферів (регульоване положення)	7 подушок демпферів (регульоване положення)	демпферуючі подушки відсутні
Переднє кріплення ПНБ (приладів нічного бачення)	Так (додаткова опція)	Так (додаткова опція)	Так (додаткова опція)
Бокове кріплення додаткового обладнання (радіогарнітура, фонарі, навушники, балістична маска)	Так (додаткова опція)	Так (додаткова опція)	Так (додаткова опція)
Чохол шолома	Так (додаткова опція)	Так (додаткова опція)	-
Використання разом з активними навушниками	Так	Так	
Використання разом з балістичною маскою	Так	Так	Так
Використання разом з зимовою шапкою	Так	Так	

Конструкція підвісної і амортизуючої системи сприяють пасивній вентиляції голови. Шолом сумісний з протиуламковими масками, тактичними і коригуючими окулярами, приладами нічного бачення,

активними навушниками, різними радіогарнітурами, протигазами та респіраторами.

Розміри шолома підганяються регулюванням підвісної системи та внутрішнім розташуванням демпферних подушок. Випускається в розмірах L та XL (на розміри голови від 52 до 62 см).

Тактико-технічні характеристики шолома TOR

Загальні

1. Вага: 1500 +/- 200 г
2. Розміри: висота – 175 мм; ширина (фас) – 270 мм; глибина (профіль) – 300 мм.
3. Загальна площа захисту: розмір L – 1190 кв.см., розмір XL – 1310 кв.см.
4. Матеріали бронекуполу шолому: 96% арамідна тканина Kevlar® і 4% склонаповнений PS.
5. Розміри: L та XL (на розміри голови від 52 до 62 см).

Захист

Відповідає стандартам ДСТУ В 4103-2002: клас захисту 1 (пістолет ПМ) і клас 1А (пістолет АПС), захист проти уламків за стандартом НАТО STANAG +2920 знаходиться на рівні V50 = 688,1 м/с (FSP = 1,102 g).

21. Формоутворення протибалистичних вставок

21.1. Технологія формування протибалистичних вставок

21.2. Нагрудні пластини з переднім керамічним шаром

21.3. Механічна обробка композитів

21.1. Технологія формування протибалистичних вставок

Вставні протибалистичні пластини є обов'язковим компонентом спорядження персоналу, який бере участь у збройному конфлікті або місії з підтримання миру. Бронепластини вставляють в гнучку рамку або кишені бронежилета. Залежно від необхідного рівня захисту бронежилет може мати **від однієї до п'яти вставних бронепластин**.

Нагрудні вставні пластини формують з композиційного матеріалу Spectra Shield при високому тиску. Навіть без лицьового керамічного шару вони можуть забезпечувати ІІА, ІІ, ІІІА і ІІІ рівні захисту за стандартом NIJ 0101.04.

Таблиця 21.1. Поверхнева щільність нагрудних пластин з матеріалу Spectra Shield Plus

Рівень захисту	Поверхнева щільність (фунтов/фут ²)
Рівень ІІ	0,45
Рівень ІІ	0,75
Рівень ІІІА	1,1
Рівень ІІІ	3,8
Рівень ІV	6,5-8,5 в залежності від типу кераміки

Це є одним з переваг композиційного матеріалу Spectra Shield. Нагрудні пластини ІІІ рівня захисту без лицьового керамічного шару приблизно на 30% легше пластин з керамічним шаром.

Процес виробництва таких пластин складається з наступних операцій:

- 1) Розміщення рулону Spectra Shield на столі;
- 2) Визначення необхідної кількості шарів Spectra Shield;
- 3) Перенесення заготовки на нагріту форму;
- 4) Закривання форми і прикладання тиску;
- 5) Затвердіння матриці (включаючи охолодження);
- 6) Відкривання форми і вилучення заготовки;
- 7) Обрізування кромek пластин і перевірки наявності дефектів;
- 8) Випробування через 48 годин відповідно до стандарту NIJ 0101.04. для визначення балістичних характеристик пластин.

21.2. Нагрудні пластини з переднім керамічним шаром

Нагрудні пластини з керамічним шаром **призначені** для зупинки високошвидкісних бронебійних куль, відповідних IV рівню захисту NIJ стандарту. Кераміка дробить кулі на фрагменти, а композиційний матеріал, що знаходиться за нею, зупиняє уламки кулі і зруйнованої кераміки. Для захисту від високошвидкісних гвинтівкових куль композитну броню використовують спільно з гнучким жилетом.

Щоб створити ефективний захист, керамічні пластини часто посилюють композиційним матеріалом. Композиційний матеріал може бути виготовлений методом ручної викладки тканини або препрегів (рис. 21.1.).

Методи виробництва можуть змінюватися, але кращі балістичні характеристики завжди мають пластини з композиційного матеріалу, посиленого шаром кераміки. Залежно від типу матриці композити **формують** в пресі або в автоклаві. При формуванні в пресі процес складається з двох частин.

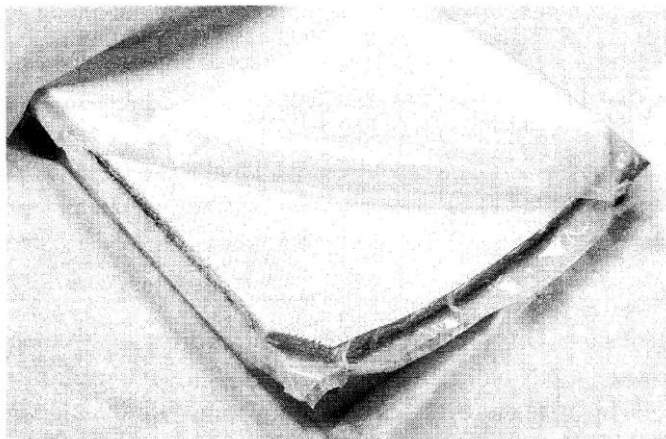


Рис. 21.1. Кераміка з підкладкою з композиційного матеріалу

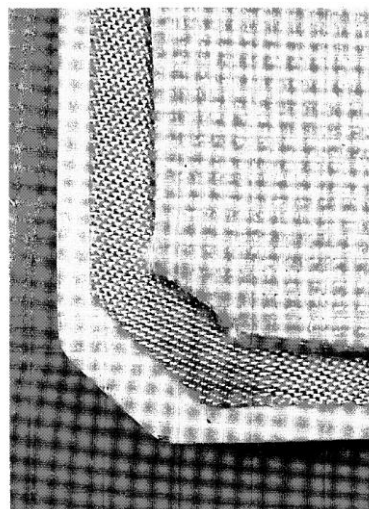


Рис. 21.2. Керамічна протибалистична пластина з підкладкою з композиційного матеріалу на основі скляних або арамідних волокон

На рис. 21.2, показана керамічна пластина з окису алюмінію, проміжний шар з склопластику і попередньо сформований шар органопластика на основі арамідних волокон.

Залежно від типу матриці, що використовується, ці три панелі можна склеїти з використанням вакууму в автоклаві або в печі.

Після формування підкладки з композиційного матеріалу до неї приклеюють керамічну пластину. Із - за відмінності властивостей композиційного матеріалу і кераміки між ними іноді доводиться поміщати проміжний шар. Деякі виробники лицьову поверхню кераміки покривають ще одним шаром, що захищає кераміку від ненавмисного пошкодження (рис. 21.3.).

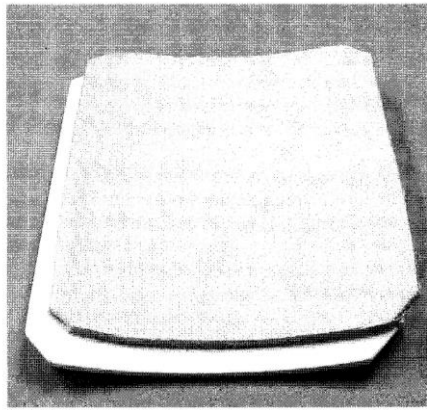


Рис. 21.3. Сформований композиційний матеріал, готовий до приклеювання
лицьової керамічної пластини

Із - за малої ваги і високої міцності найбільш перспективними протибалістичними матеріалами є волокнисті композиційні матеріали. Технології виробництва протибалістичних матеріалів грають важливу роль в створенні броні. Подальше покращення захисних характеристик відбуватиметься в залежності від удосконалення матеріалів і технології їх виробництва.

Технологія виробництва броні з керамічним лицьовим шаром

Для склеювання шару кераміки і підкладки використовують в основному **два методи**:

- склеювання в автоклаві (при тиску від 3 до 20 атм.);
- склеювання в пресі (при тиску від 3 до 100 атм. і вище).

Автоклав забезпечує гарний зв'язок підкладки та кераміки складної кривизни, оскільки дозволяє рівномірно розподілити тиск по обох поверхнях композитів, перешкоджаючи розтріскування кераміки. Склеювання в пресі оптимально для плоских і вигнутих пластин великого і малого розміру. Цей процес вимагає дорогого устаткування, наприклад, прес - форм, в той час як автоклавний процес істотно дешевше.

В обох випадках використовують комбіновану дію тиску та високої температури. Тиск впливає на властивості підкладки, особливо в разі матеріалу НВМПЕ типу Shield. Температуру зазвичай підтримують в діапазоні від 120 до 150°C, а весь цикл затвердіння матриці триває приблизно одну годину в залежності від товщини панелі і швидкості нагріву і охолодження.

Під час процесу склеювання кераміки і підкладки головну увагу варто звертати на:

- пошкодження керамічної пластини;
- зміщення керамічних пластин, що викликає утворення зазору між ними;
- наявність контакту між керамікою і підкладкою, який повинен бути якомога більш щільним (наприклад, завдяки використанню відповідної матриці).

21.3. Механічна обробка композитів

Після формування деталі часто доводиться розрізати, свердлити, полірувати і фарбувати.

Різання

З-за надзвичайно високої міцності і абразивної стійкості високоміцні волокна і тканини звичайними методами ріжуться погано. Сухі тканини можна різати ножицями з кромками з карбіду, потужними ножицями або обертовими різачками. Деякі волокна можна різати гарячим ножем або дротом. Затверділі композити на основі препрегів і сформовані ламінати можна різати також струменем води, що містить абразив, лазерним променем, стрічковим різачком або циркулярної пилою.

Свердління

Багатошарові зібрані панелі на основі композиційних матеріалів рекомендується свердлити свердлами Deep - Fiber - Cut фірми International Carbide Corp. або Core Drills, що запобігають розпушування волокнистого матеріалу. Для точного свердління із-за низького вмісту матриці і відносно слабкого адгезійного зв'язку волокон і матриці свердління вимагає належних затискачів і кріплення. При свердлінні глибоких отворів свердло потрібно часто витягувати з отвору, щоб видалити відрізані пучки волокон і уникнути перегрівання композиту. Занадто повільна подача свердла не знижує, а збільшує розігрів матеріалу.

Гарне різання і свердління протибалістичних композитів вимагає навичок, що досягається практикою. Кваліфікований працівник, який має якісні ріжучі та свердлильні інструменти, робить таку роботу досить добре.

Кінцева обробка

Кінцева обробка протибалістичних композитів полягає у видаленні зайвого матеріалу, чищення та фарбування.

Видалення надлишків матеріалу може бути виконано різними методами, які залежать від типу волокна, матриці, вмісту матриці, особливостей деталі і необхідної кінцевої обробки. При цьому використовувати різання наступними інструментами:

- штампом;
- гострим ножом;
- стрічковою пилкою;
- гарячим ножом;

- обертним переносним різак.

Полірування

Формовані деталі з композиційних матеріалів зазвичай мають гладку поверхню, яка повторює поверхню прес - форми. Якщо поверхня прес - форми не хромована або використовується вже досить довго, може знадобитися полірування, для усунення дрібних дефектів. Найпростіший метод полягає в поліровці деталі і заповненні дефектів, що утворилися, епоксидної композицією. Після затвердіння смоли деталь полірують повторно.

Фарбування

Поверхню деталі з композиту фарбують або покривають шаром плівки. Забарвлення є найпростішим методом нанесення покриття і тому використовується дуже широко як для великих, так і для невеликих деталей.

Фарба змінює колір деталі і забезпечує захист від ультрафіолету і вологи. Іншими причинами фарбування є зміна тертя, підвищення хімічної стійкості, захист від впливу електричного струму, приховування дефектів формування та місць поєднання з іншими деталями.

Фарбу наносять після очищення поверхні деталі від залишків антиадгезиву від форми, масла і бруду, що з'являються при формуванні і обробці. При підготовці поверхні деталь спочатку протирають розчинником. Після ґрунтового фарбування її ретельно висушують на повітрі або в нагрітій печі. Після висихання ґрунтовки її ретельно висушують на повітрі або в нагрітій печі. Після висихання ґрунтовки її фарбують повторно. Для додання поверхні текстури фінішна фарба може містити частинки піску або іншого наповнювача.

22. Багатошарові захисні структури

22.1. Керамічні монопанелі

22.2. Корундова кераміка

22.1. Керамічні монопанелі

Істотним недоліком керамічних монопанелей є їх низька **живучість**, тобто здатність зберігати при влученні декількох куль або здатність бронеконструкції зберігати свої захисні властивості при впливі декількох засобів ураження.

Відомі також дискретні керамічні структури, що складається з невеликих керамічних елементів, що заповнюють шар суцільним чином (керамічні елементи у вигляді квадратних і шестикутних призм) або з зазорами (циліндричні і сферичні керамічні елементи). Зазори між окремими елементами заповнюють полімерним або металевим матричним матеріалом, що підвищує міцність при зсуві керамічного шару.

Кращі результати забезпечує керамічна броня у вигляді мозаїчних сегментів, вбудованих в м'яку матрицю, ще її називають як **пружна керамічна броня**.

Керамічний шар багатошарових захисних структур виготовляють з окремих керамічних елементів з розмірами 50...100 мм, товщиною 10...15 мм, які приклеюються до органопластикової або металевої підкладки. Для запобігання передачі тріщини сусіднім елементам між ними залишають невеликий зазор (близько 0,5 мм), який заповнюється еластомером.

Еластомер – це полімери, що володіють вискоеластичним властивостями і в'язкістю. Гумою або еластомером називають будь-який пружний матеріал, який може розтягуватися до розмірів, які багато разів

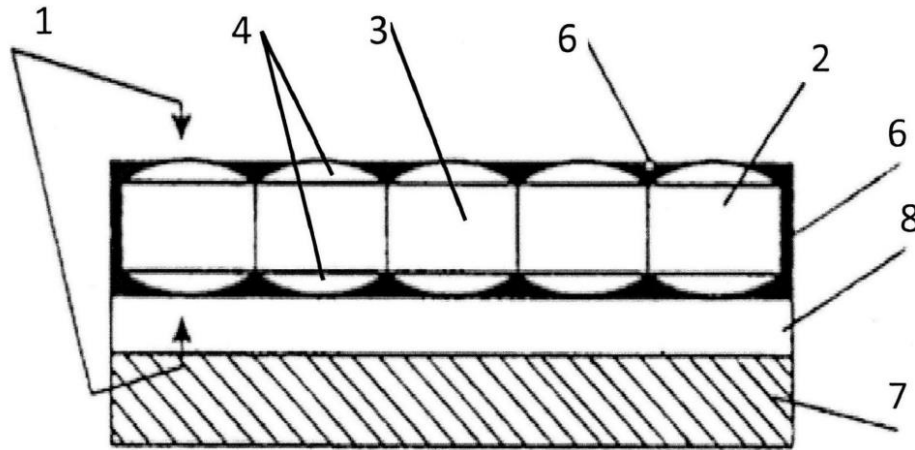
перевищують його початкову довжину (еластомерна нитка), і, що суттєво, повертатися до вихідного розміру, коли навантаження знято.

Для утримання фронтальних уламків, що утворюються при руйнуванні кулі і кераміки, до лицьової поверхні, керамічного шару приклеюють кілька шарів балістичної тканини.

Композитна броня містить (рис. 23.1) шар, який подрібнює і відхиляє об'єкт попадання (1) і шар, який затримує уламки (7). Шар (1) складається з дискретних елементів (2), розташованих у вигляді перпендикулярних до площини броні циліндричних частин (3). Циліндричні частини (3) виконані з одним верхнім або з двома верхнім і нижнім опуклими торцями (4) і розташовуються дуже щільно, торкаючись своїми циліндричними частинами. Між кожною трійкою сусідніх дискретних елементів (2) утворюються порожнини (5), які заповнені сполучником (6) на основі полімерів з корундовою або керамічною крихтою, розташованої в сполучнику (6) з утворенням однорідної маси. Забезпечуючи підвищення стійкості уразливих місць броні. Шар (7), який затримує уламки, виконаний з алюмінієвого сплаву, сталі або Kevlar, НВМПЕ DYNEEMA. Шари (1) і (7) розміщені з зазором (8) більше 1 мм або між цими шарами розміщений матеріал з модулем пружності при стисканні 40 ГПа. (RU 2504727 C1 10.05.2012, USA 5972819).

При влученні кулі відбувається більш ефективне гасіння енергії кулі за рахунок її взаємодії зі сполучником 6 (корундова або керамічна крихта). Причому зберігається необхідний рівень пружньопластичних властивостей, що **зберігає ефект розсіювання енергії кулі в площині броні.**

На рис. 22.2, представлені фотографії монолітної панелі і панелей, що утворені з керамічних елементів, **з карбіду або нітриду кремнію** після обстрілу кулями ЛПС снайперської гвинтівки СВД.



Фиг. 1

Рис. 22.1. Багатошарова захисна структура

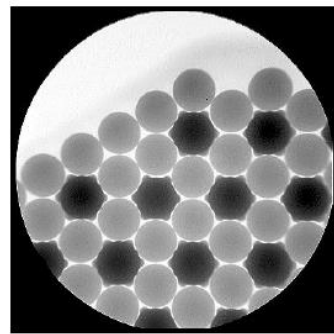
Наведено фотографії дискретних броньованих панелей, набраних з циліндричних елементів з **нітриду кремнію** з напівсферичними торцями, після обстрілами кулями СВД (7,62 мм снайперська гвинтівка Драгунова).



а



б



в

Рис. 23.2. панель керамічна захисна TenCate Liba: а – після балістичних випробувань; б – локальний характер ураження; в – рентгенівський знімок керамічного фронтального шару

Живучість монолітної панелі зберігається при 1-2 пострілах, панель, що складається з декількох елементів, зберігає живучість при 5-6

пострілах і забезпечує захист від бронебійних куль при поверхневій щільності 39,5 кг/м².

Живучість панелі збільшується ще в більшій мірі – до 5 влучень в 1 дм² – за рахунок того, що пошкоджена область обмежується одним елементом. Однак при цьому поверхнева щільність, необхідна для захисту від впливу бронебійних куль, зростає до 46 кг/м². Керамічна панель розташовується на підкладці з пресованого НВМПЕ товщиною 8...10 мм.

Дискретна композитна керамічна бронепанелі TenCate LIBA (Light Improved Ballistic Armor), розроблена французькою фірмою Ares Protection SAS. Маючи високу живучість, ця панель зберігає відносну гнучкість. Аналогічні бронепанелі випускає ізраїльська фірма Mofet Etzion Ltd (LIBA), ізраїльська фірма «PlasanSasa» під назвою SMART, Kogelvrije Plaat-LICHAAMS ZIJDE (Німеччина).

За даними виробників панелі витримують більше 10 влучень бронебійних куль типу Б – 32 калібру 7,62 мм і забезпечують IV рівень захисту відповідно до НАТО STANAG 4549. Характер пошкодження панелей при випробуваннях носить локалізований характер і обмежується розміром одного пошкодженого керамічного елемента (Ø 10-15 мм).

Також слід зазначити, що заброньова деформація, яка виміряна по відбитку на пластиліновому блоці (глибина не менше 44 мм, діаметр 80...95 мм), перевищує вимоги вітчизняного стандарту по контузійні травми.

Мозаїчні керамічні елементи виготовляють з різних керамічних матеріалів на основі Al₂O₃, Al₂O₃-ZrO₂, Si₃N₄, легше керамічні матеріали на основі SiC, SiC-B₄C або їх комбінації в різної конфігурації, що забезпечує

при складанні щільну упаковку. В якості опорного шару використовують панелі UD з НВМПЕ (Dyneema).

22.2. Корундова кераміка

Корундова кераміка, кераміка на основі корунду - Al_2O_3 , однією з кристалічних модифікацій оксиду алюмінію, що володіє високими електричними, механічними і тепловими властивостями. У складі корундовою кераміки понад 95% Al_2O_3 , решту становить стеклофазой. Параметри корундовою (алюмооксидного) кераміки варіюються незначно, в залежності від вмісту оксиду алюмінію (95-99%). Її виготовляють при високих температурах випалу (1700-2000°C).



а)



б)

Рис. 23.3. Дискретна композитна керамічна броня LIBA: а – укладання елементів з корундовою кераміки; б – готова керамічна панель

Подробиці пристрої дискретної керамічної броні можна знайти в описі патенту US 2007/0089597, F41H5/02. Lighthweight Composite Armor / Zheng – Dong Ma, 2007.

На основі описаної вище інженерної методики розроблена комплексна методика оцінки кулестійкості багатошарових перешкод як з суцільними, так і з дискретним лицьовим керамічним шаром.

Механізми взаємодії бронебійних куль з дискретною керамічною бронею досить складні і різноманітні. На підставі чисельного моделювання, виконаного І.А. Беспаловим, вдалося звести різноманіття цих механізмів до наступних:

1. При попаданні кулі в центр циліндра вона руйнується приблизно так само, як і при ударі об плоску пластину: фрагменти серцевин і оболонки розлітаються в сторони. При цьому керамічний елемент набуває істотну швидкість в напрямку руху кулі (100...200 м/с). Час затримки проникнення в кераміку лінійно залежить від товщин керамічного шару (висоти циліндрів) і менше, ніж для плоского шару такої ж товщини.

2. При попаданні кулі в стик двох циліндрів вона руйнується так само, як і при ударі в центр циліндра, але має трохи більшу заброньову швидкість.

3. При зміщенні точки попадання кулі від центру циліндра вона руйнується так само, як при ударі в центр, але серцевина набуває при цьому деяку кутову швидкість поперечного обертання: за час взаємодії вона відхиляється від первісної траєкторії на $7...10^\circ$. Керамічний елемент також набуває невелику кутову швидкість поперечного обертання він раніше, ніж починає впливати на сусідні елементи за рахунок свого повороту.

4. При попаданні кулі між трьома циліндрами руйнується її головна частина, але її фрагменти не розлітаються в сторони, а продовжують рух вперед приблизно з тієї ж початковою швидкістю. Основна ж частина серцевини руйнується слабо, але гальмується сильніше, ніж при попаданні в центр циліндра. Це пов'язано з тим, що серцевина втягує в рух велику масу кераміки (три циліндра), а вплив на неї самої зводиться практично до всебічного стиску в площині броньованої панелі.

Контрольні питання

1. Які особливості технології виготовлення броньованих елементів з препрегів?
2. Які принципи утворення адгезійного зв'язку? В чому різниця термопластичного та термореактивного полімерного адгезиву?
3. Які методи виготовлення протибалистичних виробів з композиційних матеріалів вам відомі? Дайте їх порівняльну характеристику?
4. Які методи підвищення живучості керамічних захисних структур? Що таке дискретна кераміка?
5. Опишіть взаємодії куль із дискретною керамічною перешкодою.

Тема 4. Бронезахист транспортних засобів

"Швейцарія не воювала сто п'ятдесят років. І що вона
дала світу? Годинник із зозулею"

Ірвін Шоу

23. Загальні принципи бронезахисту транспортних засобів

23.1. Броньовані автомобілі

23.2. Бронетранспортери

23.3. Бойові машини піхоти й десанту

23.4. Основні бойові танки

23.1. Броньовані автомобілі

Бронеавтомобіль – це бойова броньована машина, призначена здебільшого для розвідки та зв'язку. В сучасних арміях окремо вирізняють машини із захистом від мін і засідок (MRAP).

Багатоцільовий тактичний автомобіль «КОЗАК-2»

Бронеавтомобіль на повнопривідному шасі Iveco Eurocargo розроблено 2014 року на ПрАТ «Науково-виробниче об'єднання «Практика»». На початку червня 2015 року укладено контракт на поставку 22 автомобілів «Козак-2» в НГУ, в лютому 2016 року поставлено 6 машин у Державну прикордонну службу. В березні 2017 року бронеавтомобіль узято на озброєння ЗСУ – більшість машин передано до Десантно – штурмових військ.

У 2016 році розроблено версію бронеавтомобіля з незалежною підвіскою, також безрамного (з несучим корпусом) – «Козак -2М» (рис. 23.1.). Його взято на озброєння ЗСУ у квітні 2020 року. Станом на лютий 2022 року в силових структурах України перебувало до 240 машин «Козак-2». Нині їх використовують на всіх ділянках фронту.

Характеристика

Країна походження: Україна.

Базовий автомобіль: IVECO EUROCARGO

Маса: повна – 15 т.

Габарити: довжина – 7100 мм, ширина – 2500 мм, висота – 2650 мм, колісна база – 3690 мм.

Двигун: турбодизель Івесо потужністю 280 к.с.

Колісна формула: 4×4.

Озброєння: 7,62/12,7 – мм кулемет; 30/40 – мм автоматичний гранатомет; бойовий модуль (дистанційно керований).

Кількість посадкових місць: 3 (екіпаж) + 10 (десант).

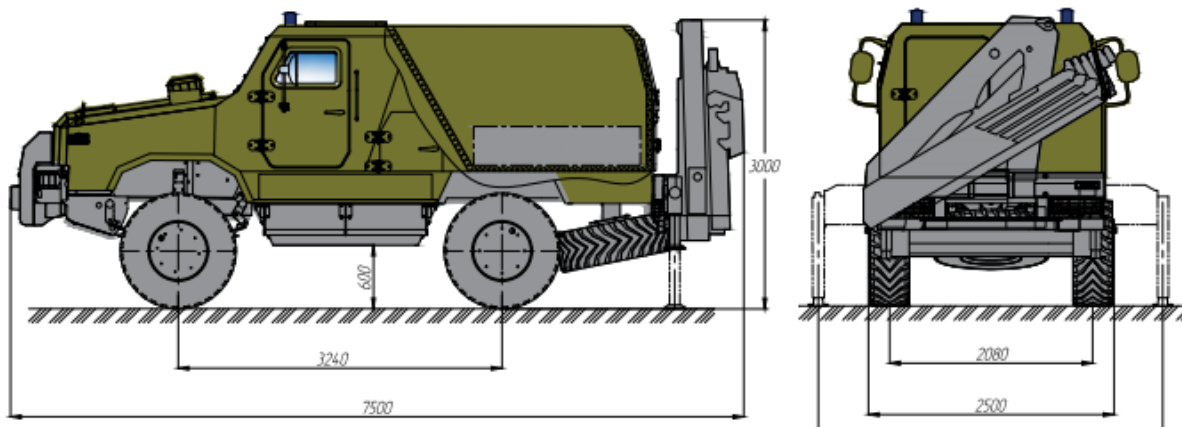


Рис. 23.1. Бронеавтомобіль Козак-2

Багатоцільовий тактичний автомобіль СБА «ВАРТА»

Розробило машину ТОВ «Українська бронетехніка». Уперше представило 2015 року як спеціальний автомобіль для поліції особливого

призначення КОРД. Машину закупали також для сил спеціальних операцій НГУ, зокрема для полків «Азов» та «Дніпро-1». З 2016 року допущено до експлуатації в ЗСУ, станом на 2022 рік перебувала на озброєнні підрозділів Сил спеціальних операцій та морської піхоти (рис. 23.2).

Характеристика

Країна походження: Україна.

Базовий автомобіль: МАЗ-5434.

Маса: повна – 17500 кг.

Вантажопідйомність: не більше ніж 2000 кг.

Габарити: довжина – 6800 мм, ширина – 2550 мм, висота – 2700 мм, колісна база – 3950 мм.

Двигун: дизельний ЯМЗ потужністю 270 к.с. або Weichai V6 потужністю 380 к.с.

Колісна формула: 4×4.

Ємність паливних баків: 350 л.

Швидкість: 120 км/год.

Запас ходу по шосе: до 1000 км.

Озброєння: 7,62/12,7 – мм кулемет; 30/40 – мм автоматичний гранатомет; бойовий модуль масою до 500 кг.

Кількість посадкових місць: 2 + 8 осіб.



Рис. 23.2. Бронеавтомобіль СБА «ВАРТА»

Бойова розвідувально-дозорна машина БРДМ-2

Узято на озброєння радянської армії 1962 року. Серійне виробництво в СРСР було організовано 1963 року і тривало до 1989 року. Досі виробляють у Польщі. Ці машини були основним транспортом розвідки в радянській армії, тому України їх досталося сотні (рис. 23.3).

Однак на початок 2000-х років вони вже не відповідали реаліям сучасного бою, тому гостро постало питання про модернізацію БРДМ-2. Першим досвідом стала переробка 10 одиниць БРДМ-2 на базі Миколаївського ремонтно-механічного заводу для потреб українського контингенту в Косово, який перебував там з 1999 року. Було встановлено дизельний двигун СМД-21-08 українського виробництва, демонтовано додаткові колеса і врізані бічні люки. Нова модифікація дістала позначення БРДМ-2ЛД.

З початком російсько-української війни за цією схемою було модернізовано декілька десятків машин. БРДМ-2 активно використовують ЗСУ в боях, починаючи з весни – літа 2014 року.



Рис. 23.3. Бойова розвідувально-дозорна машина БРДМ-2

Характеристика

Країна походження: СРСР.

Екіпаж: 4

Маса: повна – 7000 кг.

Габарити: довжина – 5750 мм, ширина – 2350 мм, висота – 2310 мм.

Двигун: ГАЗ-41 потужністю 140 к.с.

Швидкість: максимальна - 95 км/год; бездоріжжя – 80 км/год.

Запас ходу: 750 км.

Озброєння: 14,5 – мм кулемет КПВТ; 7,62 – мм кулемет ПКТ.

Багатоцільовий тактичний автомобіль СБА «НОВАТОР»

Компанія «Українська бронетехніка» розробили цей бронеавтомобіль на посиленому комерційному шасі Ford F-550 для підрозділів швидкого реагування. Уперше представлений у грудні 2017

року. У листопаді 2019 року українському війську поставлено партію із 40 машин. Перебувають на озброєнні щонайменше 93 ОМБр «Холодний Яр» та 28 ОМБр імені Лицарів Зимового Походу. Постачають цей автомобіль для НГУ. 26 лютого 2021 року передано 11 машин. Машини, які було виготовлено для НГУ, обладнані радіостанцією, приладами нічного бачення, автоматичною системою пожежогасіння, відеореєстратором спеціального типу й напівавтоматичною системою підкачування шин (рис. 23.4).



Рис. 23.4. Багатоцільовий тактичний автомобіль СБА «НОВАТОР»

Характеристика

Країна походження: Україна.

Маса: споряджена – не більше 7000 кг.

Вантажопідйомність: не більше ніж 1845 кг.

Габарити: довжина – 6500 мм, ширина – 2350 мм, висота – 2300 мм.

Двигун: дизельний потужністю 380 к.с.

Колісна формула: 4×4.

Операційна дальність: - 700 км.

Швидкість: по шосе - 120 км/год.

Кількість посадкових місць: 2 + 3 осіб.

Захищений патрульний автомобіль MASTIFF PPV

Британська версія бронемашин Cougar, розробленої південноафриканською компанією «Technical Solutions», з місцевою електронікою та бронюванням. У квітні 2022 року стало відомо, що уряд Великої Британії має передати ЗСУ певну кількість таких машин у межах програми військової допомоги. Станом на червень ця техніка значиться на озброєнні щонайменше 35-ї окремої бригади морської піхоти імені контрадмірала Михайла Остроградського (рис. 23.5.).



Рис. 23.5. Захищений патрульний автомобіль MASTIFF PPV

Характеристика

Країна походження: Велика Британія.

Маса: 17200 кг.

Габарити: довжина – 7080 мм, ширина – 2740 мм, висота – 2640 мм.

Двигун: Caterpillar C-7.

Колісна формула: 6×6.

Швидкість: максимальна - 105 км/год.

Запас ходу: 966 км.

Озброєння: 7,62 – мм кулемет GPMG, 12,7 – мм кулемет або 40-мм гранатомет (не обов'язково).

Кількість посадкових місць: 2 + 8 осіб.

Багатоцільовий тактичний автомобіль BUSHMASTER PMV

Виготовляє цей автомобіль компанія «Thales Australia» в Аделаїді на основі ліцензії ірландської компанії Timoney Technology. Постачати Bushmaster для австралійської армії почали 2005 року. Станом на 2020 рік загальна кількість броньовиків у війську оцінюється на озброєнні Австралії до 2030 року. У межах програми військової допомоги від квітня 2022 року Австралія поставила в Україну 60 автомобілів Bushmaster, які нині воюють на фронті щонайменше у складі 80-ї окремої десантно-штурмової бригади (рис. 23.6).



Рис. 23.6. Багатоцільовий тактичний автомобіль BUSHMASTER PMV

Характеристика

Країна походження: Австралія.

Маса: 11400кг.

Габарити: довжина – 7180 мм, ширина – 2480 мм, висота – 2650 мм.

Двигун: Caterpillar 3126Е потужністю 300 к.с.

Ємність паливних баків: 319 л.

Швидкість: максимальна - 100 км/год.

Запас ходу: 800 км.

Озброєння: бойовий модуль з 12,7-мм кулеметом або 40-мм гранатометом.

Кількість посадкових місць: 1 + 9 осіб.

Багатоцільовий тактичний автомобіль MAXXPRO MRAP

Автомобіль розробила компанія «Navistar Defense» разом з ізраїльською компанією «Plasan Sasa Ltd». Прийнятий на озброєння армії США 2007 року як потенційна заміна для HMMWV. MaxxPro відповідає 1 і 2 категорії захисту за стандартом STANAG 4569 у залежності від компоновки. Захищений броньований корпус з V-подібним дном монтується на незахищеному шасі International WorkStar 7000. Форма днища спрямовує силу вибуху в боки від кабіни, де перебуває екіпаж машини. Шасі витримує вибух 7 кг вибухівки без значних пошкоджень. Улітку 2022 року ЗСУ отримали кілька десятків таких машин у рамках американської допомоги. У серпні 2022 року 40 машин було передано США, очікується ще 200 одиниць (рис. 23.7).



Рис. 23.7. Багатоцільовий тактичний автомобіль MAXXPRO MRAP

Характеристика

Країна походження: США.

Маса: 12,7-13,4 т.

Вантажопідйомність: 1,6-5 т.

Габарити: довжина – 6500-7200 мм, ширина – 2500 мм, висота – 3000 мм.

Двигун: MaxxForce D9.316 16 потужністю 330 к.с.

Кількість посадкових місць: 3 - 9 осіб.

23.2. Бронетранспортери

Бронетранспортер – бойова броньована колісна або гусенична машина на підвищеної прохідності, призначена для транспортування особового складу механізованих (мотопіхотних, десантних) підрозділів до місця виконання бойового завдання, введення ними бою з машини та вогневої підтримки піхотинців під час та після спішування.

Багатоцільовий транспортер (тягач) легкого бронювання МТ-ЛБ

Розроблений в КБ Харківського тракторного заводу як гусеничний швидкохідний всюдихід, призначений для доправлення людей і транспортування вантажів у закритому опалювальному кузові в умовах бездоріжжя, снігових заметів, багнистого ґрунту.

Серійно випускали на Харківському тракторному заводі з 1964 року. Усього було випущено, за різними оцінками, понад 12000 транспортерів. Станом на 2010 рік в ЗСУ налічувалось близько 2090 одиниць МТ-ЛБ. Ці машини активно використовують на всіх фронтах російсько-української війни.

МТ-ЛБ намагались доозброїти, зокрема щонайменша на 41 тягач МТ-ЛБ зі складу 14-ї механізованої бригади 2015 року було встановлено поворотну платформу з броньовим захистом кулеметника та 12,7-мм кулеметом ДШКМ.

Після початку бойових дій зросли потреби Збройних сил України в техніці для евакуації поранених і травмованих військовослужбовців, тому наприкінці 2014 року київська компанія ТОВ НВК «ВК Система» в ініціативному порядку розробила та представила зразок броньованої медичної машини для українського війська.

Наприкінці 2015 року броньовану медичну машину МТ-ЛБ-С було офіційно взято на озброєння Сухопутних військ Збройних сил України. Машина може евакувати: у положенні лежачи на ношах – 4 людини у положенні тільки сидячи – 8 осіб, у комбінований спосіб – 4 особи сидячи та 2 особи лежачи.

До грудня 2020 року було виготовлено та поставлено у війська 70 таких машин (рис. 23.8).



Рис. 23.8. Багатоцільовий транспортер (тягач) легкого бронювання МТ-ЛБ

Характеристика

Країна походження: СРСР.

Маса: власна – 9700 кг; із завантаженням – 12200 кг; буксируваного причепа – 6500 кг.

Габарити: довжина – 6454 мм, ширина – 2850 мм, висота – 1865 мм.

Сила установка: двигун потужністю 240 к.с.

Швидкість: максимальна – 61,5 км/год (на суші); 6 км/год (на плаву).

Запас ходу: по шосе- 500 км.

Озброєння: 7,62- мм кулемет ПКТ.

Кількість посадкових місць: 2 + 11 осіб.

Багатоцільовий бронетранспортер ONCILLA

Польська ліцензійна копія української броньованої машини «Дозор-Б» (10 одиниць прототипу експлуатують у ЗСУ), яку з 2013 року виготовляє компанія «Mista».

З 2018 року бронетранспортер Oncilla надходить на озброєння ЗСУ. Усього закуплено близько 30 одиниць, які, зокрема, перебувають на озброєнні 95-ї ОДШБр та 131-го окремого розвідувального батальйону (рис. 23.9).



Рис. 23.9. Багатоцільовий бронетранспортер ONCILLA

Характеристика

Країна походження: Польща.

Маса: повна - 10000кг.

Габарити: довжина – 5450 мм, довжина з лебідкою – 5800 мм, ширина – 2450 мм, висота по даху корпусу – 2650 мм, висота з кулеметним модулем у похідному стані – 3000 мм.

Сила установка: двигун DEUTZ BF 4M 1013FC потужністю 190,5 к.с. або IVECO NEF 4 ENTС потужністю 209,5 к.с.

Колісна формула: 4×4.

Ширина колії: 2000мм.

Ємність паливних баків: 319 л.

Швидкість: максимальна по шосе - 110 км/год.

Запас ходу: не менше 750 км.

Озброєння: модуль або баштова кулеметна установка з 12,7-мм кулеметом НСВТ.

Кількість посадкових місць: 3 + 6 осіб.

Бронетранспортер БТР-80

Створений на базі БТР-70 на АТ «Горьковский автомобильный завод», виробляють на Арзамаському машинобудівному заводі. У серійне виробництво запущено 1984 року. Узятो на озброєння радянської армії 1986 року.

Станом на 2020 рік у складі Сухопутних військ ЗСУ було 93 одиниці БТР-80, у Десантно-штурмових військах – 122. Деяка кількість також була в морській піхоті та НГУ. Цей бронетранспортер активно використовують під час російсько-української війни (рис. 23.10).



Рис. 23.10. Бронетранспортер БТР-80

Характеристика

Країна походження: СРСР.

Маса: бойова - 13600кг.

Габарити: довжина – 7650 мм, довжина з лебідкою – 2900 мм, ширина – 2350 мм.

Потужність двигуна: 260 к.с.

Колісна формула: 8×8.

Швидкість: максимальна - 90 км/год (по шосе); 9 км/год (на пливу).

Запас ходу: по шосе – 600 км; по ґрунтових дорогах – 200-400 км.

Озброєння: 14,5- мм кулемет КПВТ (боєкомплект – 500 набоїв) та 7,62-мм кулемет ПКТ (боєкомплект – 2000 набоїв).

Кількість посадкових місць: 3 + 7 осіб.

Бронетранспортер SAXON AT105

Розробила цей бронетранспортер британська компанія «GKN Defence» у середині 1970-х років на шасі 4-тонної британської армійської вантажівки Bedford МК як поліцейний бронеавтомобіль. Серійне

виробництво AT105 було розпочато 1976 року. Крім британської армії, машини потрапили в територіальні батальйони сил внутрішньої безпеки, а також їх поставляли на експорт. Знято з озброєння 2009 року.

У грудні 2014 року на цивільному ринку ДК «Укроборонпром» здійснило закупівлю 75 бронетранспортерів Saxon AT105 для Збройних сил України. Використовували їх як медичні евакуаційні машини переднього краю та командно-штабні машини. Станом на лютий 2022 року більшість цих бронетранспортерів була в незадовільному технічному стані через відсутність запасних частин і комплектувальних (рис. 23.11).



Рис. 23.11. Бронетранспортер SAXON AT105

Характеристика

Країна походження: Британія.

Маса: бойова - 11600кг.

Габарити: довжина – 5170 мм, ширина – 2490 мм, висота по даху башточки – 2630 мм.

Двигун: дизельний Bedford 500 «6BT» потужністю 164 к.с.

Колісна формула: 4×4.

Колісна база: 307 мм.

Ємність паливних баків: 153 л.

Швидкість руху: максимальна - 96 км/год.

Запас ходу: по шосе – 510 км.

Кількість посадкових місць: 2 + 8 осіб.

Бронетранспортер десантний БТР-Д

Бронетранспортер створено з БМД-1, від якого він відрізняється подовженим корпусом. Узято на озброєння 1974 року. У 1979 році на його базі було розроблено бронетранспортер БТР-РД «Робот», обладнаний ПУ 9П135М протитанкового комплексу для ПТКР 9М113 «Конкурс» або 9П135М-1 для ПТКР 9М111 «Фагот». Він надійшов на озброєння протитанкових підрозділів повітрянодесантних військ. У 1984 році було розроблено БТР-ЗД «Скрежет» для перевезення обслуги зенітно-ракетних комплексів (шість ПЗРК «Стріла-3»). Цю машину використовують також як базове шасі для встановлення 23-мм спареної автоматичної зенітної гармати ЗУ-23-2 на польовому лафеті. БТР-Д активно використовували під час першої фази російсько-української війни на Донбасі навесні – влітку 2014 року.



Рис. 23.12. Бронетранспортер десантний БТР-Д

Характеристика

Країна походження: СРСР.

Маса: бойова - 8000кг.

Габарити: довжина – 5883 мм, ширина – 2630 мм, висота– 1670 мм.

Двигун: дизельний 5Д20-240 потужністю 240 к.с.

Швидкість руху: 61км/год.

Кількість посадкових місць: 3 + 10 осіб.

Бронетранспортер десантний БТР-3

За розробляння БТР-3 взялися 2000 року з метою участі в конкурсі на постачання БТР для морської піхоти ОАЕ за технічним завданням компанії ADCOM з АОЕ. У результаті був спроектований БТР-3У Guardian з бойовим модулем КБА-105 «Шквал», двигуном Deutz BF6M1015 та автоматичною трансмісією Allison MD3066 (рис. 23.13).

Розробку БТР-3 було завершено 2002 року. Виробництво налагодили на Київському бронетанковому заводі. Машина мала великий експортний успіх: у різних модифікаціях її поставляли до 12 країн (Азербайджан, Казахстан, М'янма, Нігерія, Судан, Тайланд, Чад тощо). Від 2014 року ЗСУ закуповували базовий БТР-3Е в порядку дослідної експлуатації. У жовтні 2015 року допущено до експлуатації в Збройних силах бронетранспортери БТР-3ДА, БТР-3Е1 (БТР-3Е1У), 2016 року – варіант БТР-3ДА/70. Бронетранспортер активно використовують під час російсько-української війни.



Рис. 32.13. Бронетранспортер десантний БТР-3

Характеристика

Країна походження: Україна.

Маса: не більше 16500кг.

Габарити: довжина – 7850 мм, ширина – 2900 мм, висота– 2800 мм, колісна база – 4400 мм.

Двигун: дизельний з турбонаддувом Mercedes MTU6R106TD21 потужністю 326 к.с., або УТД-20 потужністю 300 к.с., або Deutz BF6M1015 потужністю 326 к.с.

Ємність паливних баків: 320 л.

Швидкість руху: максимальна – 100 км/год (по шосе).

Запас ходу: по шосе – до 600 км.

Озброєння: бойовий модуль БМ-3М «Штурм - М» у складі якого 30-мм автоматична гармата ЗТМ-1 (1360 снарядів), 30-мм автоматичний гранатомет КБА-117 (АГ-17) (87 пострілів), 7,62-мм кулемет КТ-7,62 (ПКТ) (2000 набоїв), 2 ПУ ПТРК «Бар'єр» (боєкомплект 4 одиниці).

Кількість посадкових місць: 3 + 7 осіб.

Бронетранспортер десантний БТР-4

Концепцію бронемашини на початку 2000-х років розробили в Харківському конструкторському бюро машинобудування. Демонстраційний прототип уперше було представлено в червні 2006 року на виставці «Аеросвіт-XXI» у Києві. У серійне виробництво запустили 2008 року (рис. 23.14).



Рис. 23.14. Бронетранспортер десантний БТР-4

У лютому 2009 року на виставці озброєнь «IDEX-2009» було представлено варіант БТР-4Е, оснащений бойовий модулем БМ-7 «Парус». 2021 року його було взято на озброєння ЗСУ. На виставці «IDEX-2013» презентували новий варіант, БТР-4МВ, який відрізняється формою носової частини корпусу та низкою інших деталей. У жовтні 2017 року представили модифікацію БТР-4МВ1. Машину обладнали системою кругового огляду, кардинальні зміни відбулися й у комплектації та додатковому захисті, у корпусі відсутні бічні двері. На цей раз розробники відмовились від притаманних радянських БТРам вікон у передній частині, чим посилили захист екіпажу. Судячи з фото й відео, цей єдиний екземпляр також воює на фронті у складі харківської бригади НГУ.

Станом на кінець 2021 року НГУ мала щонайменше 62 одиниці БТР-4, а ЗСУ – 76 одиниць БТР-4 різних модифікацій.

БТР-4 використовують у російсько-українській війні ще з червня 2014 року. Однак найактивніше – після 24 лютого 2022 року. Так, уже 25 лютого під Старим Салтовом (Харківська область) бійці 6-ї роти 92-ї ОМБр вступили в бій з колоною національної гвардії Росії, де утратили кілька машин, натомість знищили колону техніки. Під час оборони Маріуполя бійці окремого полку спеціального призначення НГУ «Азов» неодноразово вражали танки окупантів зі штатної 30-мм гармати бронетранспортера. Так, на вулиці Транспортній БТР-4 зміг зайти в тил кільком ворожим танкам і вогнем з гармати в задню частину завдати їм ушкоджень. Після влучення російські танки не стали вступати в бій, натомість намагалися залишити зону ураження.

Характеристика

Країна походження: Україна.

Маса: базовий варіант – 17500 кг; БТР-4Е з БМ-7 «Парус» - 21900 кг; з додатковим бронюванням – до 23500 кг.

Габарити: довжина корпусу – 7878 мм, ширина по корпусу – 2936 мм, ширина з додатковим захистом – 3600 мм, висота – 3050 мм, колісна база – 4400 мм, ширина колії – 2410 мм.

Двигун: турбодизель ЗТД-3 потужністю 500 к.с., або дефорсований варіант двигуна ЗТД-3А потужністю 400 к.с., двигуни Deutz BF6M1015 потужністю 442-589 к.с., або двигун Iveco Cursor 10 потужністю 430 к.с.

Швидкість: максимальна – 110 км/год (по шосе).

Запас ходу: по шосе – до 690 км.

Озброєння: бойовий модуль БМ-7 «Парус» у складі якого 30-мм автоматична гармата ЗТМ-1 (400 пострілів), 30-мм автоматичний гранатомет КБА-117 (АГ-17) (145 пострілів), 7,62-мм кулемет КТ-7,62 (ПКТ) (2000 набоїв), 2 ПУ ПТРК «Бар'єр» (боєкомплект 4 одиниці).

Кількість посадкових місць: 3 + 7 осіб.

Бронетранспортер FV103 SPARTAN

Бронетранспортер розробила в 1970-х роках фірма «Alvis plc». Прийняли на озброєння британськими військовими 1978 року. До 2007 року на озброєнні перебувало 495 FV103 Spartans. Однак до середини 2009 року їх було замінено на командні та зв'язкові машини Panther. Улітку 2022 року 35 бронетранспортерів FV103 Spartan уряд Великої Британії передав Україні (рис. 23.15).



Рис. 23.15. Бронетранспортер FV103 SPARTAN

Характеристика

Країна походження: Великобританія.

Маса: 10670 кг.

Габарити: довжина – 5160 мм, ширина – 2480 мм, висота – 2630 мм.

Двигун: турбодизельний Cummins 5,9 потужністю 100 к.с.

Операційна дальність: 510 км.

Швидкість: 96 км/год (по шосе).

Озброєння: 7,62 – мм кулемет.

Кількість посадкових місць: 3 + 4 осіб.

Бронетранспортер M113

Виробництво бронетранспортера було розпочато в січні 1960 року. Усього американська фірма FMC виробила понад 85000 бронетранспортерів M113 різних модифікацій (приблизно 32000 – для армії США). Ще 4500 цих машин різних модифікацій було випущено в Італії (фірма «Oto Melara») та близько 500 M113A2 – у Бельгії. Такі країни,

як Австралія, Канада, Німеччина, Норвегія та Італія, розробили власні моделі спеціалізованих машин на базі цього бронетранспортера.

13 квітня 2022 року Пентагон оприлюднив подробиці нового пакету міжнародної технічної допомоги Україні, до складу якої увійшло 200 бронетранспортерів М113. 19 квітня 2022 року прем'єр-міністр Нідерландів оголосив про намір передати Україні певну кількість YPR-765 – бойових машин піхоти на базі V113. 14 травня ці машини уже були помічені на полігоні в Україні. Крім того, 54 бронетранспортери з озброєнням планує передати Данія, 15 – уряд Португалії, 14 – Австралії та 20 – Литви. 21 червня стало відомо, що Німеччина має передати Україні 54 одиниці БМП М113.

Характеристика

Країна походження: США.

Маса: 12300 кг.

Габарити: довжина – 4863 мм, ширина – 2686 мм, висота – 2500 мм.

Двигун: дизельний Detroit Diesel 6V53T потужністю 215 к.с.

Операційна дальність: 320 км.

Броня: алюмінієва, 12-38 мм.

Швидкість: 96 км/год (по шосе).

Озброєння: 12,7 – мм кулемет М2НВ (боєкомплект 2000 набоїв).

Кількість посадкових місць: 3 + 11 осіб.

Бронетранспортер BMC KIPRI

Розробила компанія BMC. Від 2014 року бронетранспортер постачають у турецьку армію, яка використовувала його, зокрема, під час боїв у Сирії. Має експортний успіх. У конструкції Kipri є амортизаційні сидіння, система GPS, камера заднього виду та автоматична система пожежогасіння. Корпус має п'ять отворів для ведення вогню з стрілецької

зброї і чотири куленепробивних вікна з кожного боку десантного відділення. На початку серпня 2022 року стало відома, що підрозділи морської піхоти Військово-морських сил ЗСУ отримали 50 бронетранспортерів BMC Kipri і ще очікується 150 одиниць (рис. 23.16).



Рис. 23.16. Бронетранспортер BMC KIPRI

Характеристика

Країна походження: Туреччина.

Маса: бойова - 19710 кг.

Габарити: довжина – 7350 мм, ширина – 2640 мм, висота – 3210 мм.

Двигун: CUMMINS ISBE 275 потужністю 274 к.с.

Колісна формула: 4×4.

Ємність паливних баків: 310 л.

Швидкість руху: максимальна – 105 км/год.

Запас ходу: 1000 км за швидкості 60 км/год.

Озброєння: 7,62 / 12,7 – мм кулемет

Кількість посадкових місць: 13 осіб.

23.3. Бойові машини піхоти й десанту

БМП – це бойова броньована гусенична машина, яка призначена для транспортування особового складу до місця виконання поставленого бойового завдання, підвищення його мобільності, озброєності й захищеності на полі бою в умовах застосування противником зброї та спільних дій з танками. БМП розрахована на перевезення мотострілецького відділення.

Бойова машина піхоти БМП-1

На озброєння радянської армії взято 1966 року. У серійному випуску з 1966 по 1979 рік. У 2014 році, коли почалася російсько-українська війна, у ЗСУ було близько 250 БМП-1. Після втрат під час бойових дій 2014-2015 років і для озброєння нових частин 2018 року в Польщі зі зберігання було куплено 76 одиниць БМП-1АК. У Чехії на зберігання була певна кількість цих машин із запасів колишньої НДР, тож після початку повномасштабного наступу Росії на Україну, 1 квітня 2022 року, німецький уряд надав дозвіл цій країні передати ЗСУ 58 одиниць БМП-1.

За період незалежності було виготовлено кілька вітчизняних зразків модернізованих БМП-1. Так, наприкінці 1990-х років з'явилася БМП-1У з бойовим модулем «Шквал» від Науково-технічного центру артилерійсько-стрілецького озброєння. Її набір озброєння: 30-мм автоматична гармата ЗТМ-1, спарений з нею 7,62-мм кулемет КТ-7,62, 30-мм автоматичний гранатомет АГ-17, два ПУ ПТРК радянського виробництва «Конкурс» (пізніше замінені на вітчизняний «Бар'єр») - фактично став стандартом для всіх наступних модифікацій.

Машина проходила державні випробування, але її так і не було взято на озброєння ЗСУ. Надалі виявилось у виробника вистачало грошей лише на 12 машин, які Міністерство оборони так і не викупило.

Зате влітку 2008 року 15 модернізованих БМП-1У було поставлено Грузії (майже всі ці машини захопили російські війська під час серпневої війни 2008 року). До 2014 року партії модернізованих БМП-1Утакож поставили Чаду (не менше ніж 42 одиниці) та Туркменістану.

Пізніше з'явилися варіанти й від інших виробників:

- від Житомирського бронетанкового заводу: БМП-1УМ (з двигуном ЗТД-2 та бойовим модулем «Шквал», представлено 2015 року) та БМП-1УМД (з двигуном Deutz TCD2013 L64V і бойовим модулем «Стилет»);
- від НВО «Практика» (з двигуном Deutz, 2017);
- від ДП «ХКБМ» з бойовим модулем БМ-7 «Парус».

Випробування тривали декілька місяців, і навесні 2021 року військові визначилися з варіантом модернізації – ним став БМП-1ТС із бойовим модулем БМ-5 «Спис» Житомирського бронетанкового заводу та «Техімпексу». Партію цих машин було модернізовано до лютого 2022 року й передано 95-й окремій десантно-штурмовій бригаді, ці БМП брали участь у боях за Київ (рис. 23.17).



Рис. 23.17. Бойова машина піхоти БМП-1

Характеристика

Країна походження: СРСР.

Маса: бойова - 12600 кг.

Габарити: довжина – 6740 мм, ширина – 2940 мм, висота – 2150 мм.

Двигун: дизельний потужністю 300 к.с.

Колісна формула: 4×4.

Ємність паливних баків: 310 л.

Швидкість: по шосе – 65 км/год, по пересіченій місцевості - 40–45 км/год.

Запас ходу: по шосе – 600 км.

Озброєння: 73-мм гладкоствольна гармата 2А28 «Грім» (боєкомплект – 40 снарядів) і спарений з нею 7,62-мм кулемет ПКТ (1000 набоїв), ПТКР 9М14М (4 протитанкові ракети).

Кількість посадкових місць: 3+8 осіб.

Бойова машина піхоти БМП-2

Розроблена КБ «Курганмашзавод» на базі БМП-1, фактично являє собою її подальшу модифікацію. На озброєння радянської армії взято 1980 року. Серійне виробництво наразі не ведеться. БМП-2 до початку російсько-української війни 2014 року була єдиною машиною такого класу в ЗСУ – усього в строю значилося 1126 одиниць (рис. 23.18).



Рис. 23.18. Бойова машина піхоти БМП-2

Характеристика

Країна походження: СРСР.

Маса: бойова - 18700 кг.

Габарити: довжина – 6735 мм, ширина – 3150 мм, висота – 2450-2250 мм.

Двигун: дизельний УТД-29 потужністю 500 к.с.

Швидкість: по шосе – 65 км/год.

Запас ходу: по шосе – 600 км.

Озброєння: 30-мм гармата 2А42 (боєкомплект – 500 снарядів), 7,62 – мм кулемет ПКТ.

Кількість посадкових місць: 3+7 осіб.

Бойова машина піхоти БМП-3

На кінець 1980-х років намічалось повномасштабне переозброєння сухопутних військ радянської армії, у межах якого бойова машина піхоти БМП-3 мала замінити техніку першого покоління. Щоб підготувати офіцерів, які вміли б експлуатувати такі машини у військах, БМП-3 взялися постачати до військових училищ. Таким чином, Україна після

розпаду СРСР отримала шість БМП-3 – три у складі парку Київського танкового інженерного училища, і три – у складі парку Київського загальновійськового командного училища. Ці машини брали участь у військовому параді 2001 року, однак фактично у військах їх не було. Одну машину передали в Харків, де на неї встановили український двигун ЗТД-4 потужністю 600 к.с. Була надія, що ці двигуни зможуть витіснити барнаульські УТД-29 під час модернізації парку БМП-3 в ОАЕ. Але далі справа не просунулася. Ще одну БМП-3 продали до США для вивчення.

У результаті на момент початку російсько-української війни 2014 року в строю було тільки дві машини, які передали до складу 30-ї механізованої бригади і відправили на Донбас. Подальша доля невідома. Непідтверджені дані, що одну БМП-3 було підбито, але її відремонтували.

Нова сторінка історії БМП-3 в ЗСУ почалась після 24 лютого 2022 року, коли в руки бійців Сил оборони України потрапили в різному стані щонайменше 40 таких машин. Більшість із них після ремонту нині воює на фронті (рис. 23.19).



Рис. 23.19. Бойова машина піхоти БМП-3

Характеристика

Країна походження: СРСР.

Маса: 18700 кг.

Габарити: довжина – 6700 мм, ширина – 3300 мм, висота – 2300 мм.

Двигун: дизельний УТД-29 потужністю 500 к.с.

Швидкість: по шосе – 70 км/год.

Озброєння: 100-мм гармата 2А70 (боєкомплект 40 снарядів + 8 ПТКР), 30 – мм гармата 2А72 (боєкомплект 500 снарядів), 3×7,62 – мм, додатково – ПТРК 9М117.

Кількість посадкових місць: 3+7 осіб.

Бойова машина піхоти М-80А

БМП оригінальної конструкції було прийнято на озброєння югославської армії 1982 року. До розпаду країни було випущено близько 1000 одиниць. Широко використовувалася під час югославських воєн. У червні 2022 року стало відомо, що Словенія передала Україні 25 одиниць БМП М080А (рис. 23.20).



Рис. 23.20. Бойова машина піхоти М-80А

Характеристика

Країна походження: СФРЮ.

Маса: 13850 кг.

Габарити: довжина – 6742 мм, ширина – 2995 мм, висота – 1800-2200 мм.

Двигун: Daimler Benz OM-403 потужністю 315 к.с.

Операційна дальність: 300-500 км.

Швидкість: по шосе – 65 км/год.

Озброєння: 20-мм гармата М-55 (боєкомплект 400 снарядів), спарений 7,62 – мм кулемет, 2×ПУ ПТРК 9М14М «Малютка».

Кількість посадкових місць: 3+7 осіб.

Бойова машина десанту БМД-2

Цю машину створено на основі БМД-1. На озброєння радянської армії взято 1985 року. На початок 2000-х в ЗСУ значилося 76 одиниць БМД-2, проте не всі були у бойових частинах: 2 – у навчальному полку та 10 ремонтували на Житомирському бронетанковому заводі. Навесні 2014 року налічувалося 60 машин, які були на озброєнні 1-го та 2-го батальйонів, а також розвідувальної роти 25-ї ОПДБр (рис. 23.21).

Брали участь у боях під час активної фази 2014-2015 років на Донбасі. Загальні втрати, за відомими даними, 24 машини, з яких 5 захопив противник. Станом на лютий 2022 року у 25-й бригаді ДШВ принаймні один батальйон озброєний БМД-2.



Рис. 23.21. Бойова машина піхоти БМД-2

Характеристика

Країна походження: СРСР.

Маса: 8275 кг.

Габарити: довжина – 5400 мм, довжина з гарматою – 5970 мм, ширина – 2700 мм, висота – 1830 - 2180 мм.

Двигун: дизельний 5Д20-240 потужністю 240 к.с.

Швидкість: максимальна – 61 км/год.

Запас ходу: 540-500 км.

Озброєння: 30-мм гармата 2А42 (боєкомплект - 300 снарядів), 2×7,62 – мм кулемети (спарений, курсовий, боєкомплект – 2000 набоїв) ПКТ, протитанковий ракетний комплекс «Фагот».

Кількість посадкових місць: 3+4 осіб.

23.4. Основні бойові танки

Танк – броньована бойова машина на гусеничному шасі з високою вогневою міццю, бронюванням та маневреністю, здатна проривати оборону, утримувати перевагу в потрібні точці. Нині всі танки озброєнні гарматами, хоча на ранніх етапах розвитку танкобудування іноді випускали танки виключно з кулеметним озброєнням.

Головною відмінністю танка від інших гусеничних бойових машин з гарматною зброєю є можливість швидко переносити вогонь у широких межах кутів піднесення та горизонтальних кутів. Переважно таку можливість реалізовано завдяки встановленню гармати на башті, що обертається в горизонтальній площині.

Після розпаду СРСР на території України залишилося близько 4000 танків, у тому числі 168 одиниць Т-55, 227 – Т-64Р, 539 – Т-64А, 507 – Т-64Б, 528 – Т-64БВ, 1269 – Т-72А, 40 – Т-72Б, 11 – Т-80, 181 – Т-80Б, 56 – Т-80БВ та 12 – Т-80УД.

Така різноманітність у типізації танків була вкрай характерна для Радянського Союзу, де застарілі моделі не знімали з озброєння, а намагалися модернізувати. У такий спосіб досягали чисельної переваги над країнами НАТО. Благо, бюджет дозволяв такі досить вартісні експерименти. При цьому слід сказати, що Т-80, який з'явився під завісу історії СРСР, порівняно з Т-64 і Т-72, був хоч і досконалою, але дорогою (вдвічі дорожчою від не найдешевшого Т-64) і примхливою в експлуатації машиною.

У результаті майже кожен танковий завод у СРСР був «заточений» під випуск і модернізацію «своєю» лінійки танків, майже не сумісної з моделями, виробленими іншими заводами. Це призвело до того, що, коли Союз розпався, виробництво Т-80 було фактично згорнуто, Росія втратила

доступ до виробництва й запчастин для Т-64, а Україна втратила доступ до виробництва й запчастин для Т-72. Тому за наявності надмірно величезних танкових арсеналів Росія дуже швидко законсервувала власні Т-64, а Україна – Т-72.

Таким чином, станом на 1992 рік на озброєнні ЗСУ залишилися лише «харківські» Т-64, а бази зберігання стали донором для «Укрспецекспорту», який знаходив покупців для Т-72 серед дружніх країн Африки та Азії. Загальний обсяг експорту невідомий, за тільки за 2007-2016 роки було експортовано щонайменше 739 танків. При цьому варто зазначити, що пік експорту припав на 1992-1999 роки.

Основні бойові танки серії Т-64А-БВ

Основний бойовий танк Т-64 було взято на озброєння радянської армії в грудні 1966 року, Т-65А – 1968 РОКУ, Т-64Б – 1976 року, а Т-64БВ – 1985 року.

Навесні 2014 року у складі двох танкових і восьми механізованих бригад ЗСУ налічувалося 786 танків Т-64. Решта – а це приблизно 600 одиниць – зберігалися на різних локаціях: від баз зберігання до бронетанкових заводів.

У лютому – березні 2014 року після анексії Криму до рук росіян потрапив 41 танк зі складу 36-ї бригади берегової оборони. Ці машини було повернено за посередництва Мінська тільки в червні, але стан був такий жалюгідний, що їх одразу ж відправили на капітальний ремонт. Фактично в літній кампанії 2014 року ці танки взяти участі не встигли, оскільки пішли на озброєння частин морської піхоти, які на той момент тільки формувалися.

Гостра нестача бронетехніки призвела до того, що Україні довелося навіть розірвати контракт на постачання танків Т-64Б1М у Демократичну Республіку Конго, тож у вересні 2014 року харківське ДП «Завод імені В.О. Малишева» передало 10 машин такої екзотичної модифікації для організації танкового батальйону. Цей варіант модернізації передбачає встановлення нового навісного динамічного захисту «Ніж», інший комплекс керування вогнем, наявність кондиціонерів, а також величезних баштових кошиків.

Танки Т-64БВ від 2014 року пройшли щонайменше один етап модернізації – так на озброєнні ЗСУ з'явилися Т-64БВ зразка 2017 року. Також розробили модель Т-64БВ зразка 2022 року. Модернізовані танки зразка 2017 року оснащено цифровими радіостанціями Harris, новою системою внутрішньої комунікації, вітчизняними навігаторами, прицільними системами з тепловізорами 3-го покоління й тепловізійними камерами, модифікованим динамічним захистом та іншими менш значними, але досить зручними та потрібними опціями. Станом на початок 2020 року ЗСУ отримали понад 200 одиниць Т-64 зразка 2017 року.

У межах робіт з модернізації оновлений Т-64БВ зразка 2022 року отримав нові прилади спостереження і націлювання, протикумулятивні кормові екрани та гумові щитки на башті. Крім того, модернізований танк Т-64БВ було представлено з великокаліберним кулеметом Snipex Laska K-2 під набій 12,7×108 мм. Щоб зменшити вірогідність пошкодження кулемета й боєкомплекту осколками та кулями було також встановлено щитки захисту кулемета й короба.

Крім того, у травні 2016 року було розпочато дослідно-конструкторську роботу з модернізації танка Т-64Б (Т-64БВ) під назвою

«Краб», яка мала на меті поліпшити показники захищеності, рухливості, спроможності вести бойові дії вночі, а також командної керованості машини. Серед іншого, передбачалося встановити на Т-64 двигун 6ТД потужністю 1200 к.с.

Контракт Міністерство оборони України та ДП ХКБМ як головний виконавець ДКР «Краб» уклали у квітні 2019 року. До грудня 2020 року було розроблено конструкторську документацію, планувалось, що на початку 2022 року буде готовий перший дослідний зразок. Але очевидно, що повномасштабне вторгнення РФ завадило цій програмі.

Танки Т-64БВ залишаються основними танками української армії та досить активно залучені на фронті (рис. 23.22).



Рис. 23.22. Основний бойовий танк серії Т-64А-БВ

Характеристика

Країна походження: СРСР.

Тактико-технічні характеристики танків серії Т-64

	Т-64Б/Б1	Т-64БК	Т-64БВ
Бойова маса, кг	39000	39000	42500
Екіпаж, осіб	3	3	3
Ємність паливних баків, л	730+540	730+540	1270
Довжина загальна, мм	9225	9225	9225
Довжина корпусу, мм	6540	6540	6540
Ширина, мм	3415	3415	3415
Висота, мм	2170	2170	2190
Швидкість, км/год	60,5	60,0	60,0
Запас ходу, км	600	500	500

Озброєння: 125-мм гармата (36 пострілів), 7,62-мм кулемет ПКТ (боєкомплект 1250 набоїв), 12,7-мм кулемет НСВТ (боєкомплект 300 набоїв)

Візуальні різниця танків серії: на відміну від Т-72, інфрачервоний пошуковий ліхтар розташований ліворуч від гармати. З кожного боку – шестеро котків, які мають помітно менший діаметр у порівнянні з Т-72. На Т-64, Т-80 і Т-84 вихлопна система розташована позаду, тоді як у Т-72, Т-90 – з лівого боку.

Основний бойовий танк Т-64БМ «БУЛАТ»

Після розпаду СРСР харківські танкобудівники продовжили роботу з модернізації Т-64. Один варіант осучаснення передбачав облаштування вбудованим динамічним захистом «Ніж» вітчизняної розробки на серійні танки Т-64БВ та Т-64БВ-1.

Другий варіант, танк Т-64БМ2, передбачав установлення вбудованого динамічного захисту, комплексу керованого озброєння 9К119, прицільного комплексу 1А43У «Рось» та Т01-К01Е, а також нового механізму зарядження. Два модернізовані таким чином танки, які випустило ДП «Завод імені В.О. Малишева», було продемонстровано на параді 24 серпня 1999 року.

Інший варіант модернізації полягав у тому, щоб обладнати танк Т-64БВ вбудованим динамічним захистом, комплексом керованого озброєння, системою управління вогнем 1А45, яку встановлювали на танках Т-80УД та Т-84, і механізмом заряджання 6ЕЦ43. Єдиний екземпляр такого танка, Т-64У, було продемонстровано на параді в Києві 24 серпня 1999 року.

У підсумку для масштабної програми модернізації (а планувалося модернізувати близько 400 одиниць Т-64Б/БВ) військові обрали варіант Т-64У – саме його після деяких переробок було взято на озброєння ЗСУ як Т-64БМ «Булат». Проте практично відразу, 2004 року, апетити військових було урізано та профінансовано модернізацію всього 85 танків Т-64Б/БВ до рівня «Булат». Загалом до початку 2009 року армія отримала 56 машин, що пішли на переозброєння 1-ї гвардійської танкової бригади (сmt Гончарівське Чернігівської області). Потім було укладено додатковий контракт на 29 танків. Причому останні 9 танків планували поставити в першому півріччі 2012 року, проте фактично машини було відправлено до 1-ї окремої танкової бригади вже після початку російсько-української війни – 28 березня 2014 року.

«Булати» активно використовували під час активної фази війни на Донбасі в 2014-2015 роках. За офіційними даними, загальні втрати станом на квітень 2015 року становили 15 машин – із них що найменше дві захопили росіяни.

У 2019-2020 роках «харків'яни» повернулися до варіанта Т-64БМ2 з оновленням за стандартом Т-64БВ зразка 2017 року. Насамперед було відпрацьовано варіант ремоторизації танків типу Т-64 на двигун 6ТД-1, для чого переробили моторно-трансмісійне відділення. Також було встановлено тепловізійний прицільний комплекс вітчизняного

виробництва ТПН-1ТПВ, удосконалені прилади спостереження та націлювання нічного бачення шляхом установлення електронно-оптичних перетворювачів третього покоління. Також було модернізованого систему динамічного захисту – замість штатних елементів «Контакт-5» установлено «Ніж». Зовнішні елементи поліпшили додатковим броньованим листом 12 мм завтовшки для захисту групи зовнішніх паливних баків, а також проставочним кільцем для підймання башти (новий дах моторно-трансмісійного відділення виявився дещо за штатний).

Як заявляв виробник, це дозволило значно підвищити рухомість та інші ходові й експлуатаційні характеристики машини. У квітні 2021 року танк успішно пройшов випробування, тож на параді до 30-ї річниці Незалежності України було представлено чотири одиниці. Нині «Булати» активно воюють на різних ділянках фронту (рис. 23.23).



Рис. 23.23. Основний бойовий танк Т-64БМ «БУЛАТ»

Характеристика

Країна походження: Україна.

Маса: бойова – 45000 кг.

Габарити: довжина – 9925 мм, ширина – 3560 мм, висота – 2184 мм.

Двигун: дизельний багатопаливний 5ТДФМ потужністю 850 к.с. або 6-ТД-1 потужністю 1000 к.с.

Операційна дальність: 385 км.

Швидкість: 60,5 км/год.

Запас ходу: 500 км.

Озброєння: 125-мм гармата КБА-3 (боєкомплект - 36 снарядів і ПТКР), 7,62 – мм КТ-7,62, 12,7-мм КТ-12,7.

Основні бойові танки серії Т-80

Останнім основним бойовим танком, розробленим у Радянському Союзі, став досить технологічно просунутий Т-80. У його конструкції було багато новинок, зокрема він був першим (і останнім) радянським танком із газотурбінним двигуном, що дозволяло йому пересуватися дорогами з феноменальною для танка швидкістю 70 км/год. Власне Т-80 було взято на озброєння 1976 року. Першу модифікацію виробляли всього два роки, при цьому відгуки зі стройових частин були дуже неоднозначні: як виявилося, витрата палива була просто величезна. До того ж у виробництві машина коштувала в три з половиною рази дорожче, ніж, наприклад, не найдешевший Т-64А.

У 1978 році на зміну основній моделі до армії потрапив Т-80Б. у екіпажів цієї модифікації з'явилася можливість стріляти зі 125-мм гладкоствольної гармати 2А46М-1 протитанковими ракетами 9К112 «Кобра». Однак таких ракет, які були призначені збивати гелікоптери в

режимі зависання і вражати цілі за межами дальності стрільня звичайними снарядами, у боєкомплекті було лише чотири.

Наступною модифікацією став Т-80БВ, головною відмінністю якого від Т-80Б була наявність системи динамічного захисту «Контакт-1». 1987 року замість Т-80Б у виробництво запустили Т-80У, а відтак і дизельний варіант – Т-80УД.

За час російсько-української війни українські танки Т-80БВ було модернізовано. Цю програму було реалізовано упродовж 2017-2019 років, і вона була дуже схожа на аналогічну з модернізації Т-64БВ зразка 2017 року. Поліпшений танк Т-80БВ отримав тепловізійний приціл, новий динамічний захист, додатковий захист бортів, нову цифрову радіостанцію, сучасні нічні прилади спостереження, а також засоби супутникової навігації.

Танки серії Т-80 активно воюють на фронті, причому з'явилося нове джерело поповнення парку – російські трофеї. Станом на 17 червня 2022 року. Сили оборони України захопили 14 одиниць Т-80БВ, 27 одиниць Т-80У, 4 одиниці Т-80УЕ-1, 17 одиниць Т-80БВМ і навіть один – Т-80УК. Практично всі ці танки після ремонту поставлено на озброєння різних бойових бригад на різних операційних напрямках. Так, у складі 93-ї окремої механізованої бригади «Холодний Яр» воюють як мінімум по одному Т-80БВ і Т-80БВМ (рис. 23.24).



Рис. 23.24. Основний бойовий танк серії Т-80

Характеристика

Країна походження: СРСР.

Озброєння: 125-мм гармата 2А46-1, 12,7-мм кулемет НСВТ, 7,62-мм кулемет ПКТ.

Тактико-технічні характеристики танків серії Т-80

	Т-80	Т-80БВ	Т-80У
Бойова маса, кг	42000	43700-44500	46000
Екіпаж, осіб	3	3	3
Ємність паливних баків (+додаткові баки), л	1140+700	1140+700	1090+680
Двигун	ГТД-1000Т	ГТД-1000ТФ	ГТД-1000ТФ/ГТД-1250
Довжина загальна, мм	9469	9651	9656
Довжина корпусу, мм	6780	6982	7012
Ширина, мм	3525	3582	3603
Висота, мм	2300	2219	2202
Швидкість, км/год	70	70	80
Запас ходу, км	335-500	335-570	400-450

Основні бойові танки серії Т-72

На початок російсько-української війни офіційно танк на озброєнні ЗСУ не перебував, хоча близько двох десятків Т-72 було в навчальних частинах для підготовки механіків – водіїв інженерних машин на базі танка. Дефіцит справної бронетехніки, втрати під часі війни та формування нових частин змусили МОУ відновити експлуатацію цих машин.

Приблизно 30 танків Т-72А було модернізовано за стандартом Т-72АМТ, який розробив і реалізував Київський бронетанковий завод. Серед іншого, на танк було встановлено прилади нічного бачення, нічний приціл з можливістю ведення вогню керованою ракетною «Комбат», двигун В-84-1 замість В-46, комплекс динамічного захисту, радіостанція Aselsan, навігаційна система СН-3003 «Базальт», а також тягові колеса з гусеницями та відкидними щитками за типом Т-80.

Танки було взято на озброєння 12-го окремого танкового батальйону ЗСУ, який брав участь у боях на Чернігівщині в березні 2022 року, та окремого танкового батальйону НГУ. Наприкінці квітня 2022 року стало відомо, що Польща передала Україні понад 240 наявних у неї Т-72 (частина з них у модифікації Т-72М1R), неназвану кількість танків передала Чехія, а також Північна Македонія.

Крім того, станом на 9 червня 2022 року щонайменше 184 одиниці Т-72 різних модифікацій було захоплено Силами оборони України в агресора. Це, зокрема, 53 одиниці Т-72Б3М, 49 одиниць Т-72Б3 та 45 одиниць Т-72Б. більшість їх них воює в складі різних підрозділів, у тому числі 1-ї танкової бригади (рис. 23.25).



Рис. 23.25. Основний бойовий танк серії Т-72

Характеристика

Країна походження: СРСР.

Тактико-технічні характеристики танків серії Т-72

	Т-72А	Т-72Б
Бойова маса, кг	41500	44500
Екіпаж, осіб	3	3
Запас ходу по паливу, км	460 (650)	450 (600)
Комплекс керованого озброєння, марка	-	9К120
Довжина з гарматою вперед, мм	9530	9530
Довжина корпусу, мм	6860	6860
Ширина, мм	3590	3580
Висота за дахом башти, мм	2190	2190
Максимальна швидкість, км/год	60	60

Озброєння: 125-мм гармата 2А46 (39 снарядів), 12,7-мм кулемет НСВТ, 7,62-мм кулемет ПКТ.

Основний бойовий танк РТ-91 TWARDY

Наприкінці 1988 року в Польщі було ухвалено рішення про підготовку модернізації Т-72М1 з використанням досвіду ліцензійного

виробництва Т-72М. однак спочатку робота просувалася дуже повільно, головним чином через те, що польський Генштаб також розглядав можливість закупівлі новішої версії Т-72 (Т-72С) або сучасного Т-80. Після політичних потрясінь 1989 року та розпаду Радянського блоку польсько-радянські переговори про закупівлю сучасних танків призупинилися і підтримка розробки нового польського танка набрала обертів. Перший проект, запропонований бюро, має кодову назву Wilk (польською – «вовк»), але його було скасовано. Натомість пріоритет було перенесено на інший проект під назвою Twardy.

Основною метою переробки Т-72 була адаптація до реалій сучасної війни та усунення його найбільш помітних недоліків. Починаючи з липня 1991 року програми модернізації Т-72 реалізовувалися на заводі «Bumar-Labedy», який виробляв Т-72 за радянською ліцензією. Модернізований основний бойовий танк дістав позначення РТ-91 Twardy. Був посилений броньований захист танка, установлені нова система керування вогнем і двигун. У 1993 році Міністерство оборони Польщі замовило 29 танків РТ-91 для польових і військових випробувань.

Збільшена маса модернізованого танка змусила розробників додати більш потужний двигун – поліпшений варіант радянського В-46-6 виробництва PZL-Wola (потужність 850 к.с. замість 780). Перші 20 серійних машин надійшли до Сухопутних військ Польщі у 1993-1994 роках. Ще 78 серійних машин було поставлено в 1995-1997 роках, 135 модернізованих танків Т-72М1 (виробництва кінця 1980-х) було поставлено в 1998-2002 роках. Як нові, так і осучаснені танки мають однакові бойові можливості. У липні 2022 року стало відомо, що Варшава передає партію танків РТ-91 Twardy Збройним силам України (рис. 23.26).



Рис. 23.26. Основний бойовий танк PT-91 TWARDY

Характеристика

Країна походження: Польща.

Маса бойова: 45,9 т.

Габарити: довжина – 6950 мм (9670 мм – з гарматою вперед), ширина – 3590 мм, висота за дахом башти – 2190 мм.

Двигун: дизельний PZL-Wola S-12U потужністю 850 к.с.

Швидкість максимальна: 60 км/год.

Запас ходу по паливу: 650 км.

Запас палива: 1000 л.

Озброєння: 125-мм гармата 2A46 (42 снаряди), 12,7 кулемет НСВТ (300 патронів), 7,62-мм кулемет ПКТ (2000 патронів).

Екіпаж: 3 особи.

24. Бронювання повітряних транспортних засобів

24.1. Броньовані гелікоптери

24.2. Компанії з виготовлення гелікоптерів

24.3. Гелікоптер «Пума»

24.4 Вантажний літак C 130

24.1. Броньовані гелікоптери

За даними доповіді дослідницької служби Research and Markets, світовий ринок балістичних захисних матеріалів в 2015 році оцінюється в суму близько 8,8 мільярдів доларів з очікуваним до 2022 року з щорічним зростанням 5,2 відсотка.

Військові гелікоптери літають на висоті близько 1000 метрів або нижче. Це робить їх вразливим для різного наземного озброєння. Маса завжди є найважливішим фактором, особливо під час роботи на великих висотах, де характеристики двигуна погіршуються в зв'язку з відповідною нестачею кисню.

Нижня частина гелікоптерів вимагає броньованого захисту від пострілів з землі з легкої зброї. Оскільки фюзеляж гелікоптерів повинен бути легкими, його дно легко уражається пострілами знизу. Легка броня для низу гелікоптерів використовується вже кілька років. У літаках броню розміщують всередині корпусу, проте через більш низьку швидкість гелікоптерів її можна встановлювати і зовні. Деякі російські гелікоптери мають броню, що укладається на підлогу. Однак це незручно, оскільки для установки і видалення броні необхідно знімати сидіння.

Балістичний захист гелікоптерів

Броня гелікоптера повинна захищати від удару:

- імітатора уламку 30-го калібру;
- бронебійної кулі гвинтівки M2 50-го калібру (12,7 мм).

Будова броні гелікоптерів

Залежно від рівня балістичного захисту і через обмеження ваги, броня гелікоптерів **складається з наступних шарів:**

1) монолітних пластин поперечно орієнтованого органопластика на основі НВМПЕ волокон, отриманих в прес - формі при високому тиску;

2) зовнішнього шару кераміки з наступною конструкцією:

- монопластини або декілька невеликих пластин з карбіду бору або карбіду кремнію;

- шар клею;

- підкладки, сформованої з препрегів на основі арамідної тканини або поперечно орієнтованих волокон НВМПЕ.

Броня гелікоптерів зазвичай складається з шару органопластика на основі арамідної тканини або поперечно орієнтованого НВМПЕ композиту, до якого в автоклаві або прес - формі при високому тиску приклеєні пластини карбіду бору. Всі деталі броні покриті зносостійкого нейлонової тканиною, яка перешкоджає розлітання високошвидкісних уламків при балістичному ударі.

Випробування броні

Жорсткі формовані панелі випробовують як автономну броню шляхом визначення V_{50} відповідно до методики MIL-STD-662F.

Інші вимоги

Броня гелікоптерів проходить також наступні випробування:

- на зносостійкість;
- здатність витримувати екстремальні температури - 50 і + 65°C;
- висотні випробування;
- стійкість до впливу технічних рідин;
- озоностійкість;
- стійкість до впливу різних погодних умов;
- вібростійкість;
- стійкість до впливу піску і пилу.

Бронювання гелікоптерів полягає в додаванні протикульових компонентів для захисту екіпажу і пасажирів при польотах. Для балістичного захисту використовуються композитні матеріали, які істотно більш легкі і компактні.

Традиційно броньовані панелі для гелікоптерів були плоскими, оптимізують за рахунок виробництва формованих або профільних панелей.

Як правило пасажирів в кабіні, яка захищає від вогню стрілецької зброї, а у пілотів - захист більш високого рівня, аж до великогабаритних кулеметів.

Балістичний захист для гелікоптерів не взаємозамінний, для кожного типу повітряного судна він різний: інтеграція з планером занадто індивідуальна і специфічна. Броньовані панелі, в які відбулося потрапляння, зазвичай не ремонтують. Панелі мають «багато-ударні» характеристики, тобто здатні зупинити потрапляння безлічі куль і зберегти свою конструктивну цілісність в розумних межах. Необхідно швидко встановлювати і знімати балістичні панелі.

Броньовані сидіння гелікоптера

Броньоване сидіння гелікоптера призначене для захисту льотчиків і пасажирів (рис. 24.1.). Є цілий набір легких броньованих сидінь з композиційних матеріалів, забезпечених системою підвіски, що ослаблює удар під час аварії гелікоптерів, що збільшує ймовірність виживання пілота. Сучасні гелікоптери проектують так, щоб пом'якшити силу удару і запобігти зминання кабіни. Проте, навантаження, які відчують пасажирів під час аварії, можуть перевищувати рівень їх фізіологічної витривалості.



Рис. 24.1. Сидіння гелікоптера

Крісло пілота може бути як неброньованим, так і броньованим, що захищає від багаторазових пострілів бронебійними гвинтівковими кулями.

Конструкція сидіння гелікоптера

Ударостійкі сидіння складається з броньованого крісла, встановленого на рамі з легкого сплаву. Сидіння розробляють відповідно

до конструкції кабіни. Воно може бути доповнено пересувною панеллю, що забезпечує захист з бічних сторін.

Вимоги до міцності

Броньовані компенсуючі удар сидіння пілота і стрілка гелікоптерів розробляють відповідно до вимог специфікації FAR / JAR, частина 29 або MIL - S - 58095, а також вимогами вогнестійкості стандарту FAR, частина 25.853 b.

Система ослаблення енергії розроблена так, щоб зменшити переданий пасажиру імпульс удару з 50 до 20 м

Балістичний захист

Броньовані сидіння команди призначені для захисту від бронебійних куль М2. Полегшена броня є стандартним захистом екіпажу більшості бойових гелікоптерів.

Протибалістичні матеріали

Протибалістичні матеріали для сидінь гелікоптерів можуть складатися з:

1) отриманих прес - формі при високому тиску монолітних пластин з поперечно орієнтованого органопластика на основі НВМПЕ волокон;

2) керамічного зовнішнього шару з наступною конструкцією:

- монопластини або декількох невеликих керамічних пластин з карбіду бору або карбіду кремнію;

- шар клею;

- підкладки, сформовані з препрегів на основі арамідної тканини або поперечно орієнтованих волокон НВМПЕ.

Виготовлення сидіння гелікоптера

Сидіння з композиту зазвичай формують в автоклаві з арамідної або НВМПЕ тканини і лицьового шару кераміки з карбіду бору. Пластини покривають зносостійкою нейлоною тканиною, яка запобігає розліт осколків при балістичному ударі.

Інші вимоги

Сидіння гелікоптера повинно задовольняти ряду інших вимог, описаних у стандарті Міністерства оборони MIL - STD - 810. До них відносяться вібростійкість, стійкість до дії піску та пилу, удару, сольового туману, вологи, високої і низької температури, а також достатня механічна міцність. Сидіння забезпечують безпеку і комфорт під час польоту, захищають членів екіпажу від перевантажень і пострілів ворога. Броньоване сидіння має легко встановлюватися в кабіні гелікоптера, створюючи прекрасний захист.

Балістичний (пасивний) захист знижує ризики ураження стрілецькою зброєю. Рівень захисту перевищує 3А, за стандартом NIJ 0108-01 (США). Рівень захисту перевірявся при тестовому відстрілі з балістичного ствола 7,62 мм, куля сталева (57-Н-134с) з відстані 5 метрів, при швидкості польоту кулі 430 м/с, пробоїв не виявлено. Пасивний захист являє собою набір панелей, які встановлюються всередині салону і кабіни екіпажу гелікоптера (рис. 24.2.). Панелі розташовуються на підлозі і по бортах гелікоптера. Конструктивно панелі складаються з кевларової тканини, які обшиті авізентом (високоміцний вогнетривкий матеріал, спеціально призначений для використання в ПС).



Рис. 24.2. Багатоцільовий гелікоптер середнього класу Mi-8MTV-1 авіакомпанії
«Українські гелікоптери»

Крім того, кевларовими панелями обшита жорстка перегородка між пасажирським та вантажним відсіками в вантажно-пасажирських конфігураціях, а також - шторка в хвостовому відсіку гелікоптера. Всі мати вантажної кабіни покриваються рифленим алюмінієм, забезпечуючи доступ до люка зовнішньої підвіски та іншим люкам, які використовують при експлуатації. Панелі допускають установку на них вантажу, пасажирських крісел, багажного відсіку і медичного обладнання. Кріплення панелей забезпечує їх легке знімання в місцях, де розташовані люки для техобслуговування.

24.2. Компанії з виготовлення гелікоптерів

1. Американська компанія Armour of America: має величезний досвід розробки систем бронювання гелікоптерів, в тому числі комплектів захисту для МІ-17 ПС Пакистан (рис. 24.3, 24.4);

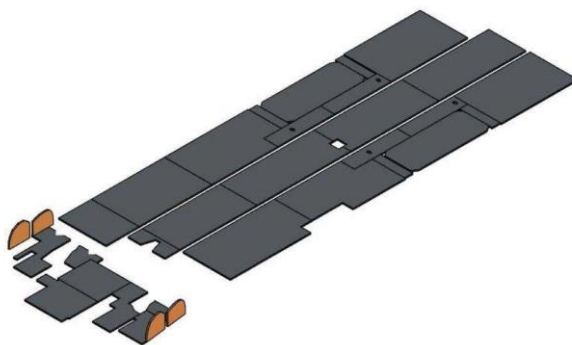


Рис. 24.3. Система бронювання гелікоптера MI-17 ВПС Пакистан, компанія Armour of America



Рис. 24.4. Легка суцільна панель бічних дверей для захисту стрілка, компанія Ten Cate Advanced Armour

2. Науково-дослідний центр американської армії (AMRDEC): для транспортних гелікоптерів сімейства Boeing CH - 47 Chinook і середніх багатоцільових гелікоптерів сімейства Sikorsky UH-60 Black Hawk виготовляє захисні комплекти Hybrid Enhanced Ballistic Protection System і Multi - Hit Transparent Armour Engineered Seams для моделей CH-47D CH-47F. Захищає від вогню стрілецької зброї аж до калібру 7,62 мм. Маса комплекту зменшилася з 1500 кг до 909кг. Захист включає: захист підлоги кабіни пілотів, вантажної кабіни, бічні панелі по бортах, систему бронювання скла з багатоударними характеристиками для вікон Multi - Impact Transparent Armour System;

3. Фірма Life Point входить в компанію Sikorsky розробила легкий захист для екіпажу та пасажирів, яка покрита фірмовим покриттям LifeGard, яке ефективно герметизує і захищає броню, тим самим збільшуючи її термін служби і дозволяє всі поверхні всередині кабіни зробити абсолютно нековзними. Виготовляється з надвисокомолекулярного поліетиленового волокна і броньованої сталі, здатної протистояти кулям калібру 7,62 мм з суцільнометалевої оболонкою;

4. Індійська компанія MKU Airborne Systems розробляє легкі системи захисту для авіації. Постачає системи захисту сидінь екіпажу, підлоги, стін основної кабіни, захист нижньої скляної носової частини і стрілка в дверному отворі. У 2014 році представлений новий продукт під назвою Polyshield V6, розроблений спільно Індією і Німеччиною. Нова броня забезпечує зниження маси приблизно на 40%;

4. Британська компанія Permali Gloucester (рис. 24.5.);

5. Австралійська компанія CCA Protect;



Рис. 24.5. Виробнича лінія компанії Permal Gloucester

24.3. Гелікоптер «Пума»

У 1987 р швейцарські Військово - повітряні сили замовили три гелікоптери «Супер Пума» зі збільшеною вантажопідйомністю. Після цього з'явилися можливість узагальнення досвіду експлуатації в польових умовах і технічного обслуговування цих машин. «СуперПума» обладнана двома двигунами і може використовуватися для багатьох військових і цивільних цілей. У разі небезпеки і екстреного приземлення «СуперПума» обладнана сучасними засобами захисту двох пілотів.

Метою програми «Пума» 1998 року була розробка броньованого гелікоптера "Пума" для миротворчих і військових операцій. Деякі компанії в Європі, Великобританії та США закупають броньовані гелікоптери «СуперПума». Гелікоптер «Пума» оснащений змінною бронею. Для швидкої і легкої установки броньовані панелі використовують кілька технічних методів, які не потребують свердління отворів в підлозі гелікоптера.

Броньовані панелі гелікоптера "Пума" захищають від різних куль. Типова поверхнева щільність броні, що зупиняє уламки великого калібру і гвинтівкових куль, змінюється від 5,5 до 7,5 фунт/фут² в залежності від типу кераміки, волокнистої підкладки і технології виробництва броньовані панелі.

Балістичний захист «Пуми»

Броня призначена для захисту від багаторазових ударів різними гвинтівковими кулями.

Конструкція броні гелікоптера «Пума»

Броньовані панелі роблять наступним чином: ріжуть велику формовану панель, монтують керамічні плитки і потім підрізають їх водоструминним ножом по формі панелі.

Керамічний шар складається з карбіду кременю або карбіду бору. Розмір плитки зазвичай дорівнює 100 × 100 × 4 мм або 100 × 100 × 6 мм. Підкладку роблять з препрегів поперечно орієнтованого НВМПЕ або арамідної тканини на основі фенольної смоли. При поверхневій щільності броні 32 кг/м² її повна вага дорівнює:

- підлога кабіни - 42 кг;
- підлогу салону - 155 кг.

24.4 Вантажний літак С 130

Чотирьохдвигунний турбогвинтовий літак «Геркулес С 130» є основним транспортним засобом ВПС США. Цей літак здатний приземлятися і злітати з короткою і нерівної злітно - посадкової смуги, перевозити людей і вантажі. Його використовують як бойову машину, танкер, санітарну машину, при пожежогасінні і для спостереження за погодою. Є більше 40 версій «Геркулеса», які використовують більш ніж в 50 країнах.

Поставки С 130А Міністерству оборони США почалися в грудні 1956 року, а перших моделей С 130В - в квітні 1959 р, новітня модель - С 130Н. Броня вантажного літака здатна витримувати багаторазові удари високошвидкісних гвинтівкових куль.

Броня и комплектація С 130

У літаку С 130 використовують полегшену броню з керамічним облицюванням. Різні компанії США і Великобританії поставляють броньовані сидіння і бронепанелі з керамічним облицюванням для С 130. Підлоги С 130 обладнані бронею з керамічним облицюванням для захисту персоналу від пострілів з землі. Комплекти броні С 130 включають захист кабіни, сидінь пілотів, салону, корпусу радара, судин з рідким киснем і дверей для викиди парашутистів.

Балістичний захист С 130

Бронепанелі призначені для захисту від багаторазових поразок різними кулями і уламками снарядів. Типова поверхнева щільність броні, що захищає від уламків великого калібру і гвинтівкових куль, змінюється від 5,5 до 7,5 фунт/фут² в залежності від використовуваної кераміки, шару композиту і технології виробництва панелей.

Будова броні С 130

Великі бронепанелі формують в автоклаві. Потім їх розрізають на більш дрібні деталі, монтують на них керамічні плитки і потім підрізають водоструминним ножом по формі деталі.

Керамічний шар складається з карбіду кремнію або карбіду бору. Розмір плиток зазвичай дорівнює 100 × 100 × 4 мм або 100 × 100 × 6 мм. Підкладку роблять з препрегів поперечно орієнтованого НВМПЕ або арамідної тканини на основі фенольної смоли.

Комплекти броні бойових літаків С 130 є змінними і модульними, що допускають можливість заміни в разі ушкодження або особливих умов навколишнього середовища.

Броньовані комплекти літака

Броньовані комплекти кабіни і полу придатні для використання в літаках типу Chinook МН-47, Blackhawk МН-60, Super Huey UH1Н. Деякі виробники пропонують комплекти броні, розроблені спеціально для захисту від багаторазових пострілів з певної зброї. З'єднання броньованих панелей розроблені так, щоб запобігти ураженню снарядами в цих місцях. Це досягає з'єднанням броні внахлест і кріпленням панелей болтами до металевої конструкції.

Комплекти броні розроблені для захисту від множинних ударів. Типова поверхнева щільність броні, що захищає від уламків великого калібру і від гвинтівкових куль, змінюється від 5,5 до 7,5 фунт/фут² в залежності від використовуваної кераміки, композитного шару і технології виробництва панелей.

Балістичний захист

Броньовані панелі призначені для захисту від багаторазових ударів уламками великого калібру і різними високошвидкісними гвинтівковими кулями.

Виготовлення броні

Великі броньовані панелі формують в автоклаві. Потім з розрізають на більш дрібні деталі, монтують на них керамічні плитки і потім підрізають на більш дрібні деталі, монтують на них керамічні плитки і потім підрізають їх водоструминним ножом по формі деталі.

Керамічний шар складається з карбіду кременю або карбіду бору. Розмір плиток зазвичай дорівнює $100 \times 100 \times 4$ мм або $100 \times 100 \times 6$ мм. Підкладку роблять з препрегів поперечно орієнтованого НВМПЕ або арамідної тканини на основі фенольної смоли.

Контрольні питання

1. Назвіть основні принципи бронезахисту транспортних засобів.
2. Які типи броні використовують для локального захисту автомобільної та авіаційної техніки?
3. Які рівні броньованого захисту легкої бронетехніки та методи її оцінки вам відомі?

**Тема 5. Балістичні випробування засобів
броньованого захисту**

«Зовсім безпечних справ не буває»

Р. Стівенсон

25. Стандарти та специфікації легких бронезахисних матеріалів

25.1. Основні положення стандартів

25.2. Військовий стандарт MIL - STD - 662F

25.3. Стандарт для легких бронежилетів NIJ 0101.04

25.4. PSDB стандарт випробувань бронежилетів

25.5. Угода НАТО STNAG 2920 для балістичних випробувань індивідуальної броні

25.6. Міжнародний стандарт ISO/FDIS14876 – броньований захист тіла

25.7. Стандарт випробування касок NIJ 0106.01

25.8. Броньований захист транспортних засобів (жорсткої броні)

25.1. Основні положення стандартів

Розглянемо стандарти випробувань і специфікацій, які використовуються в США і інших країнах Південної Америки, Європи та Азії при випробуваннях броні військового призначення. Стандарти випробувань та специфікації використовують при проектуванні, виробництві та закупівлі засобів індивідуального захисту. Оскільки легкі засоби захисту почали виробляти відносно недавно, стандарти їх випробувань і специфікації продовжують розвиватися. Аналогічно, продовжують розвиватися методи і технічні засоби випробувань.

Основними причинами розробки стандартів випробувань і специфікацій є:

- розробка нових більш ефективних броньованих матеріалів;

- краще розуміння поведінки волокон, тканин, нетканих матеріалів і поперечно-армованих композитів при балістичному ударі;

- поява нових потужних балістичних загроз типу саморобних вибухових пакетів;

- краще розуміння небезпеки балістичних травм;

- необхідність розробки захисту від впливу зброї малої і великої потужності;

- забезпечення якості продукції;

- створення систем класифікації броньованого одягу;

У США стандарти випробувань і специфікації є дуже детальними. В Європі, Південній Азії і країнах Тихоокеанського кільця стандарти випробувань та специфікації лише трохи відрізняються від американських. Стандарти випробувань та технічні характеристики можуть бути дуже детальними і охоплювати кожен деталь бронезилету, каски або броньованого автомобіля. Обговоримо основні риси стандартів і специфікацій легкого індивідуального захисту, що використовуються в гнучких бронезилетах, формованих нагрудних пластинах, переносних ручних щитах для розгону масових заворушень, касках поліцейських і військовослужбовців, а також броньованих автомобілів.

У багатьох країнах використовують стандарти США або трохи змінюють їх з урахуванням місцевих особливостей. Наприклад, стандарт США 0101.04 для випробування бронезилетів. Рівень захисту IIIA цього стандарту вимагає повної зупинки 9 - мм кулі з суцільнометалевою оболонкою і Магнума - 44 і обмежує величину заброньованої деформації 44 мм. У багатьох країнах рівень IIIA вимагає лише зупинки кулі з

суцільнометалевої оболонкою. Інші відмінності стосуються швидкості кулі і величини заброньової деформації.

Найбільш широко використовують такі нормативні документи балістичних випробувань:

- військовий стандарт MIL - STD - 662F;
- стандарт для легких бронежилетів NIJ 0101.04;
- стандарт для бронематеріалів NIJ 0101.08;
- стандарт випробування касок NIJ 0106.01;
- міжнародний стандарт ISO/FDIS 14876 – броньований захист тіла;
- угода НАТО STANAG 2920 для балістичних випробувань індивідуальної броні;
- стандарт випробування бронежилетів Британії PSDB;
- стандарт MIL, MTL для багатошарових органопластиків;
- стандарт EN 1063 і НАТО Stanag 4569 для балістичних випробувань броні транспортних засобів з керамічним облицюванням.

Прикладами специфікації є:

- INTERCEPTOR;
- SAPI;
- SPEEK;

Захист транспортних засобів типу вантажних літаків і гелікоптерів описується різними специфікаціями. Виробництво і випробування легких бронематеріалів зазвичай описують специфікацією MIL - L - 62474B.

Методика всіх стандартів по проведенню випробувань бронематеріалів базується:

1. Випробування на пробиття бронематеріалів і визначення швидкості пострілу;
2. Визначення величини заброньової деформації;
3. Визначення балістичної границі.

25.2. Військовий стандарт MIL - STD - 662F

Даний стандарт визначає процедуру, обладнання, умови випробувань і класифікацію рівнів захисту металевої, неметалевої і композитної захисту від легкої стрілецької зброї. Він же описує процедуру проведення випробувань при визначенні балістичного границі V_{50} .

Призначення

Стандарт випробувань описує метод випробування для прийняття до експлуатації нових бронематеріалів. Балістичні випробування проводять для оцінки ефективності засобів індивідуального захисту, броньованих сидінь авіатехніки, зовнішньої і внутрішньої авіаційної броні, броньованого скла і броні легких і важких транспортних засобів і структур.

Вимоги та умови випробувань

Якщо не визначено інакше, все балістичні випробування повинні проводитися в стандартних атмосферних умовах при температурі $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості $50 \pm 5\%$. Температура і вологість повинні реєструватися при кожному пострілі.

Установка і обладнання

Балістична випробувальна установка (рис. 25.1.) складається з:

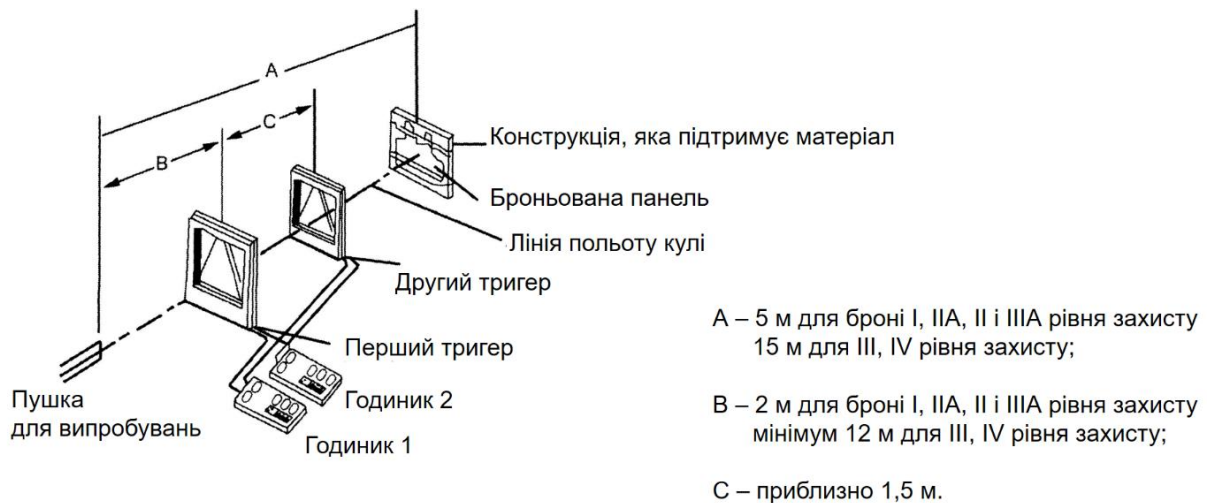


Рис. 25.1. Балістична випробувальна установка

Пушка (гармата) для випробувань

Бронематеріали випробовують за допомогою гармати ANSI/SAAMI, встановленої на універсальну стійку ANSI/SAAMI (рис. 25.2.). Комерційну вогнепальну зброю використовувати не можна.

$A = 5\text{ м}$ для броні I, IIА, II і IIIА рівнів захисту, $A = 15\text{ м}$ для III і IV рівнів захисту.



Рис. 25.2. Гармата або пушка SAAMI

Тригер

Клас електронних пристроїв, що володіють здатністю тривалий час перебувати в одному з двох стійких станів і чергувати їх під впливом зовнішніх сигналів.

Годинники

Швидкість кулі визначають за допомогою двох незалежних годинників, і швидкістю кулі вважають середнє значення отриманих значень. Перший фотоекран спускового механізму хронометра розміщують на відстані не менше двох метрів від зрізу дула випробувальної гармати.

Відстань від площини зрізу дула до першої пари тригерних годинників має бути достатньо велика, щоб запобігти пошкодженню вибухом або задимлення оптичних пристроїв. Відстань між площинами годинниками залежить від швидкості снаряда.

Воно може визначатися і фізичними обмеженнями. Остання пара годинників повинна розташовуватися на відстані не менше 1,22 м перед мішенню. Годинники повинні бути захищені від пошкодження уламками. $B = 2\text{ м}$ для броні I, IIА, II і IIIА рівнів захисту, $B = 12\text{ м}$ для III і IV рівнів захисту. $C \sim 1,5$.

Контрольна пластина

Контрольна пластина виготовляється з алюмінієвого сплаву 2024-T3, 2024 - T4 або 5052. Її розміщують на відстані 150 ± 10 мм за зразком, що випробовується, паралельно його площині. Якщо випробовується каска, контрольна пластина жорстко фіксується всередині неї на відстані 51 мм від точки удару. У спеціальних випадках її розмір може бути менший, ніж зазначено в специфікаціях для касок.

Попередня серія пострілів

Попередні постріли проводять по ряду причин. Це може бути орієнтація зразка, вимірювання швидкості або розігрів стовбура для отримання необхідної швидкості снаряда. Додаткові постріли здійснюють згідно пропонованим вимогам.

Вимірювання кута нахилу

Після попередньої установки зразка на ньому визначають точку удару, і коригують положення зразка у такий спосіб, щоб точка удару припадала на попередньо визначену лінію польоту снаряда. Кут нахилу осі снаряда вимірюють, використовуючи карти кутів повороту, отримані за допомогою фотографування. Кут нахилу не повинен перевищувати 5° .

Перша серія пострілів

При випробуваннях в першій серії пострілів вага порохового заряду повинна бути такою, щоб швидкість снаряда була на 23 - 30 м/с вище мінімуму, необхідного для обчислення V_{50} . При інших випробуваннях вага заряду повинна бути такою, щоб швидкість снаряда була близька до попередньо отриманого значенням V_{50} .

Вивчення контрольної пластини

Контрольну пластину потрібно оглянути для визначення пробиття броні. Якщо виявлено отвір, пробиття вважають повним. Якщо є лише невелика вм'ятина, контрольну пластину потрібно досліджувати за допомогою світла для перевірки, чи відбулося повне пробиття мішені.

Наступні серії пострілів

Якщо в першій серії пострілів були виявлені повні пробиття, заряд порошу потрібно зменшити, щоб швидкість знизилася на 15 - 30 м/с. Якщо

в першій серії постріли повного пробиття не зареєстровані, вагу заряду збільшують так, щоб швидкість зросла на 15 м/с. Збільшення або зменшення ваги пороху для зміни швидкості ударника (на 15 м/с) проводять до тих пір, поки не буде досягнуто двох часткових і одного повного пробиття. Після отримання часткового і повного пробиття вага заряду змінюють так, щоб приріст або зменшення швидкості становило 15 м/с. Якщо немає спеціальних вимог, випробування продовжують до тих пір, поки не буде визначено балістична границя V_{50} пострілами по випадково визначеним точкам зразка.

Обчислення балістичної границі V_{50}

V_{50} обчислюють, визначаючи арифметично середнє значення швидкості, при якій було рівна кількість часткових і повних пробивань в межах допустимого розкиду швидкості.

Звіт про балістичні випробування

Звіт про балістичні випробування повинен містити наступну інформацію:

1. Інформацію замовника;
2. Опис випробувальної установки;
3. Кількість пострілів;
4. Номер партії і кількість зразків;
5. Номер пункту специфікації;
6. Пункт специфікації;
7. Опис матеріалів броні;
8. Ідентифікацію матеріалу кожного зразка;

9. Температуру і вологість випробувальних пристроїв;
10. Дату випробування;
11. Імена персоналу, що проводить випробування, і свідків;
12. Зброя, яка використовувалась;
13. Снаряд, який використовувався;
14. Вага снаряда;
15. Тип пороху;
16. Вага пороху при кожному пострілі;
17. Швидкість удару, використовуваного для обчислення V_{50} при найвищій швидкості часткового пробиття, найнижчій швидкості повного пробиття, розкид швидкості і швидкості при кожній серії пострілів;
18. Характеристики контрольної пластини;
19. Обчислення балістичної границі V_{50} ;
20. Особливості проведення випробувань або поведінки матеріалу.

Прийняття до провадження або відхилення

Випробувані зразки броні повинні задовольняти мінімальним вимогам до значення V_{50} , що пред'являються до броні. При нездатності будь-яких зразків задовольняти мінімальним вимогам балістичної границі V_{50} повинна відхилитися вся представлена ними партія.

25.3. Стандарт для легких бронежилетів NIJ 0101.04

Це один з найбільш широко використовуваних стандартів Національного інституту правосуддя (NIJ) США. Стандарт NIJ 0101.04 почав діяти з вересня 2000 р Він є основою відповідних стандартів у багатьох країнах Південної Америки, Європи та Азії. Цей стандарт

встановлює мінімальні вимоги до характеристик матеріалу і методів випробувань засобів індивідуального захисту від пострілів з легкої зброї та гвинтівок. Стандарт визначає також критерії класифікації бронежилетів і послідовність випробувань.

Протибалістичну броню стандарт класифікує на сім рівнів захисту. Рівні захисту I, IIА, II, IIIА відповідає зростанню рівня захисту від пістолетних пострілів. Броня III і IV рівнів захищає від потужних гвинтівок і призначена для використання лише в тактичних умовах.

Вибір бронежилетів для випробування і сертифікації

I, IIА, IIIА рівні захисту

Випробовуються шість повних бронежилетів з окружністю грудей 117 - 122 см для чоловіків і 107 - 112 см для жінок. Для балістичних випробувань з них випадково відбирають п'ять бронежилетів. Чотири бронежилета випробовують на пробиття і для визначення величини заброньової деформації, а один бронежилет використовують для визначення балістичного границі.

III рівень захисту

На випробування представляють чотири повних жилета або панелі розміром не менше 254 × 305 мм. З цієї групи випадково вибирають два зразка. Два зразки випробовують на пробиття і для визначення величини заброньової деформації, а один використовують для визначення величини балістичної границі. Один, що залишився, повертають.

IV рівень захисту

На випробування представляють дев'ять повних жилетів або панелі розміром не менше 254 × 203 мм. З цієї групи випадково вибирають вісім зразків. Два зразки випробовують на пробиття і для визначення величини

заброньової деформації, а шість використовують для визначення балістичної границі. Один, що залишився, повертають.

Умови випробувань

Бронежилети I, IIА, II рівнів захисту перевіряють після 12 годин зберігання в умовах (21°C, 50% вологості), при яких будуть відбуватися випробування, а також у вологих умовах, як визначено в стандарті 0101.04.

Конструкція підтримки броні

При випробуваннях повинні бути як мінімум три установки (рис. 21.1), до яких кріпиться зразок, який випробовують, за яким є підтримуючий шар пластиліну №1. Внутрішній розмір коробка має дорівнювати 610 × 610 мм. Його глибина повинна становити 140 мм. Короб, що заповнюється шаром пластиліну, повинен бути змінним. Його задня частина робиться з деревини або фанери товщиною 19,1мм.

Бічні сторони коробка роблять із твердої деревини або металу. Короб заповнюють пластиліном №1, який повинен мати мінімально можливий вміст пустот. Пластилін №1 витримують щонайменше три години при температурі вище 29°C. Потім калібрують, кидаючи на нього з висоти двох метрів сталеву кулю діаметром 63,5 мм і вагою 1043г. Середнє значення глибини п'яти вм'ятин повинно бути 20 ± 3 мм.

Метод випробування та вимірювання заброньової деформації

При класифікаційних випробуваннях засоби індивідуального захисту корпусу військовослужбовця повинні успішно пройти ряд випробувань, що складаються з двох частин. У першій серії балістичних випробувань визначаються загальні характеристики броні, які

оцінюються за критерієм успіх/невдача. У другій серії визначається заброньова деформація і статистичний розкид характеристик системи.

Визначення пробиття і вимірювання заброньової деформації

Весь бронежилет і броньові пластини обстрілюють зі зброї (табл. 25.1).

При випробуваннях вимірюють два значення заброньової деформації і записують результати випробувань на успіх/пробиття броні. У цій серії випробувань використовують пластини №1, що знаходиться в прямому контакті зі зворотною поверхнею броньованої панелі. Заброньову деформацію вимірюють, якщо не відбулося перфорації броньованого пакета.

Випробування бронежилета

Після вибору типу кулі гармату розігрівають, здійснюють кілька пострілів, і кріплять бронежилет ремнями шириною 51 мм до підтримуючої структури.

Постріли по бронежилету

Чотири броньованих комплектів, що представляють собою повний бронежилет або тільки захист грудей і спини, тестують шістьма правильними пострілами куль (рис. 25.3.).

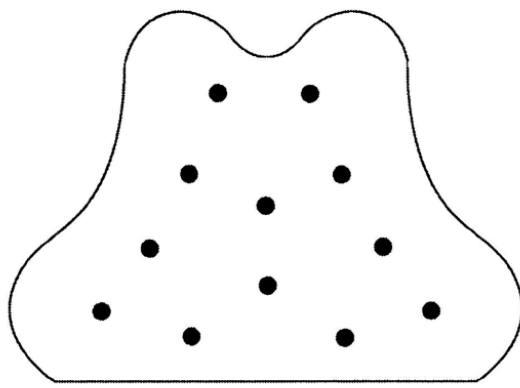
Випробування проводять 48 кульовими пострілами. Жодна куля не повинна пробити бронежилет. Аналогічно, жодне з 16-ти виміряних значень заброньової деформації в нормальному напрямку не повинно перевищувати 44 мм.

Випробування бронежилетів проводять також при куті падіння 60° і у вологих умовах.

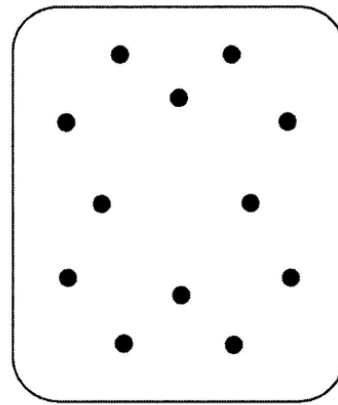
Таблиця 25.1. Основні вимоги стандарту NIJ 0101.04 P-BFS

Рівень захисту	Серія випробувань	Тип кулі	Вага кулі (г)	Швидкість ($\pm 9\text{ м/с}$)	Пострілів під кутом падіння 0°	Глибина заброньової деформації (мм)	Пострілів під кутом падіння 30°	Пострілів по панелі	Пострілів по зразку	Пострілів кулями одного типу	Всього пострілів
I	1	22 калібр LR LRN	2,6	329	4	44	2	6	12	24	48
	2	380 ACP FMJ RN	6,2	4 322	44	2	6	12	24		
IIA	1	9мм FMJ RN	8,0	341	4	44	2	6	12	24	48
	2	40 S&W FMJ	11,7	322	4	44	2	6	12	24	
II	1	9 мм FMJ RN	8,0	367	4	44	2	6	12	24	48
	2	357 Mag JSP	10,2	436	4	44	2	6	12	24	
IIIA	1	9 мм FMJ RN	8,2	436	4	44	2	6	12	24	48
	2	44 Mag JHP	15,6	436	4	44	2	6	12	12	
III	1	7,62 NATO FMJ	9,6	838	1	44	0	6	12	2	12
IV	1	30 калібр бронебійних M2	10,8	869	1	44	0	1	2	2	2
Спеціальний	*	*	*	*	*	44	*	*	*	*	*

Панель – передня або задня деталь, яка вставляється в броньовану систему; Зразок – повна броньована система, яка включає усі панелі (передню і задню).



12 пострілів по нагрудній панелі



12 пострілів по задній панелі

Відстань від кромки панелі 3 дюйма і 2 дюйма між точками удару

Рис. 25.3. Положення точок удару по бронежилету

Визначення балістичної границі

Для випробування бронежилетів I, IIА, II, IIIА рівнів захисту потрібно мінімум 12 пострілів, що включають п'ять часткових і п'ять повних пробиттів. Для броні III, IV рівнів захисту можуть знадобитися мінімум 6 пострілів, що включають три часткові і три повних пробиття. Спеціальні випробування можуть вимагати додаткових даних про часткові і повні пробиття.

Звіт

Звіт про випробування подається не пізніше ніж через 10 днів після їх проведення в офіс NIJ. Він повинен містити результати випробувань та інші документи.

25.4. PSDB стандарт випробувань бронежилетів

PSDB стандарт описує метод випробувань, прийнятий поліцейським управлінням Великобританії для оцінки рівня захисту від вогнепальної зброї.

Загальні вимоги

Система захисту повинна забезпечити захист життєвих важливих органів людини, наприклад, серця, печінки, хребта, нирок і селезінки від поразки і травматичної дії кулі при мінімальних обмеженнях рухливості тіла.

Балістичні вставки повинні бути змінними. Для зниження рівня травматичного впливу разом з бронею використовуватися відокремлюваний протитравматичний пакет.

Інші вимоги

Стандарт описує деталі випробувань в сухих і вологих умовах (після занурення в воду на одну годину).

Установка броні

Перед випробуваннями, бронезахист тіла розміщують вертикально на передній поверхні короба розміром 420 × 350 × 100 мм, заповненого без пор пластиліном Roma №1. Пластилін калібрують, використовуючи сталевий циліндр з сферичним наконечником.

Рівень захисту, зброя, боєприпаси, вага кулі, відстань і швидкість

Мінімальна відстань до броні для рівнів захисту HG1 і HG2 (табл. 25.2) має бути 5м, а для захисту від гвинтівки і дробовика - 10м. Стандарт випробувань описує положення точок удару. Постріли 1,2,3 і 6 проводяться під кутом 90°, а постріли 4 і 5 - під кутом 60°.

При випробуваннях броню не повинна пробити жодна куля з зазначеними вище швидкостями, а заброньова деформація не повинна перевищувати 25 мм. При випробуванні жорстких броньованих панелей жоден уламок панелі, металевий або керамічний, не повинен виявитися в пластиліні.

Таблиця 25.2. Рівні захисту згідно PSDB стандарту випробувань бронежилетів

Рівень захисту	Калібр	Боєприпас	Вага кулі (г)	Швидкість (м/с)
HG-1	9 мм	9 мм ЦМО Dynamit Nobel	8,0	360±10
	0,357 Магнум	Norma	10,2	385±10
HG-2	9 мм	9 мм ЦМО Dynamit Nobel	8,0	425±10
	0,357 Магнум	Norma	10,2	450±10
	0,44 Магнум	Remington	15,6	440±10
RF1 рушниця	7,62 мм	Royal Ordnance куля NATO	9,3	830±10
SG1 дробовик	12 калібр	Вінчестер 1 унція	28,4	435±25

Гранична заброньова деформація

Максимально допустима заброньова деформація дорівнює 25 мм.

Звіт

Детальний звіт описує швидкість пострілів, результати в формі успіх/неуспіх, а також глибину заброньова деформації для кожного пострілу.

25.5. Угода НАТО STNAG 2920 для балістичних випробувань індивідуальної броні

Мета цієї угоди полягає в стандартизації принципів визначення рівнів балістичного захисту корпусу тіла і касок, а також матеріалів, що використовуються при виробництві цих виробів.

Угода призначена для випробування і порівняння бронематеріалів, що захищають від куль стрілецької зброї і імітаторів уламків.

Обладнання для випробувань. Розмір ствола.

Удар може здійснювати будь-якою кулею, від якої потрібен захист. Імітатор уламка снаряда визначається стандартом США MIL-P-46593.

Рекомендовано використовувати уламок калібру 5,385 мм FSP A/6723/1 (вагою 1,02 г). При випробуванні захисту від рушниць рекомендується використовувати головку гільзи того ж калібру, що й куля. Постріл проводиться з гармати, калібр якої дорівнює калібру гвинтівки. Постріл уламками можна проводити з гладкоствольної гармати з використанням піддону, що віддаляється.

Діапазон швидкостей

Середня швидкість пострілів повинна бути в межах 80 м/с вище і нижче очікуваної балістичної границі, а швидкість кулі повинна контролюватися з похибкою ± 15 м/с.

Вимірювання швидкості

Час вимірюється за допомогою двох годинників.

Кут нахилу снаряда

Для перевірки ступеня еліптичності отвору повинен використовуватися жорсткий матеріал типу картону.

Розмір броні і її кріплення

Матеріал броні повинен мати максимально точно характеристику. Він повинен жорстко кріпитися болтами або затискатися до твердої конструкції, щоб удар снарядом був перпендикулярний поверхні броні. Броня не повинна мати підтримку на відстані 30 мм від будь-якої точки кріплення.

Система контролю

Система контролю складається з листа алюмінію завтовшки 0,5 мм, що розміщується за бронею на відстані 15 см.

Методи випробування

Зовнішні умови

Броня витримується при температурі $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ при відносній вологості $65 \pm 5\%$ відповідно до стандарту ISO 554-1976.

Кількість пострілів

По броні робиться принаймні шість пострілів, і вимірюється швидкість польоту кожної кулі. Враховуються тільки правильні постріли, що вражають броню під кутом не більше 5° до нормалі. Відстань від точки удару до точок кріплення або підтримки, края панелі, точок попереднього удару або місць деформації матеріалу має бути не менше 30 мм. У разі броні на основі тканини постріли не повинні проводитися в ті ж самі первинні нитки.

Повне і часткове пробиття

Пробиття вважається повним, якщо в результаті пострілу снаряд пробив мішень або виявилася перфорована система контролю. У всіх інших випадках пробиття вважається частковим.

Балістична границя V_{50}

Балістична границя V_{50} визначає швидкість, для якої ймовірність пробиття дорівнює 0,5. Вона визначається зміною кількості порошу, збільшуючи або зменшуючи швидкість кулі на 30 м/с.

Кількість пострілів при визначенні V_{50} має забезпечувати три повних і три часткових пробиття в інтервалі зміни швидкості ± 40 м/с, або п'ять повних і п'ять часткових пробиття в інтервалі ± 50 м/с, або сім повних і сім часткових пробиттів в інтервалі ± 60 м/с.

Звіт

Звіт про результати випробувань видається в декількох пунктах. Вони включають повний опис матеріалу, його поверхневу щільність, товщину, тип кулі або фрагмента, V_{50} , найвищу швидкість снаряда при частковому пробитті і найнижчу швидкість при повному пробитті, розкид швидкостей при обчисленні балістичної границі V_{50} .

25.6. Міжнародний стандарт ISO / FDIS14876 – броньований захист тіла

ISO (Міжнародна організація по стандартизації) є Всесвітньою федерацією національних бюро стандартів. Стандарт випробувань ISO 14876-1 складається з наступних частин:

Частина 1. Загальні вимоги.

Частина 2. Стійкість до удару кулі. Вимоги та методи випробувань.

Частина 3. Стійкість до удару ножем. Вимоги та методи випробувань.

Частина 4. Стійкість до удару шилом або заточкою. Вимоги та методи випробувань.

Нижче кратне опис частин, що стосуються бронежилетів.

Слід розуміти, що жодна броня не може забезпечити повний захист тіла від ураження будь-якою зброєю. Однак при використанні броньованого захисту ймовірність і серйозність поразки зменшуються.

Європейський стандарт визначає загальні вимоги, визначає класи бронежилетів, розмір, площу, захисних областей, ергономічні характеристики, вимоги нешкідливості і інформацію, що розміщують на бронежилетах. Він також визначає способи випробувань.

Методи випробувань

Похибка вимірювань не повинна перевищувати $\pm 2\%$ від величини вимірюваної характеристики.

Ергономічні випробування

Ергономічні випробування чоловічих і жіночих бронежилетів проводять на зразках трьох розмірів. Розміри повинні відповідати мінімальній, середній і найбільш можливим регулюванням броні кожного розміру.

Чищення

Броньований захист тіла очищатися п'ять разів способами, що вказуються виробником бронежилета. Між циклами чищення броньований захист повністю висушується.

Стійкість до пробиття і заброньова деформація

При правильному пострілі броня не повинна допускати пробиття. Глибина заброньова деформації не повинна перевищувати 44 мм. Винятком є захист жіночих грудей, для яких глибина заброньового зміщення не лімітується.

Рівні захисту

Повна процедура випробувань для кожного рівня захисту повинна включати всі випробування, внесені в табл. 25.3.

Кріплення зразків

Система кріплення зразків повинна мати короб і ремені. При балістичних випробуваннях відстань від кромки ременів до точки удару повинно бути не менше 50 мм.

Таблиця 25.3. Специфікація куль і патронів згідно міжнародного стандарту ISO/FDIS14876 – броньований захист тіла

Рівень	Боєприпаси	Маса кулі (г)	Швидкість кулі (м/с)
1	9×19 мм, повна сталева оболонка	8,0±0,2	360±10
2	9×19 мм, повна сталева оболонка	8,0±0,2	415±10
3	9×19 мм, повна сталева оболонка	8,0±0,2	425±10
	357 Магнум, повна сталева оболонка (конічна куля)	10,2±0,2	430±10
4	5,56×45 мм, M193	3,6±0,2	970±15
	7,62×51 мм куля NATO	9,4±0,2	830±15
5	7,62×51 мм, AP зі зміцненим сталевим сердечником	9,7±0,2	820±15
S	12/70 калібр, жорстка свинцева болванка	320±0,5	420±10

Підтримуючий матеріал

Підтримуючий матеріал повинен являти собою органічний або мінеральний глиноподібний матеріал (як правило, це пластилін Roma №1). Підтримуючий матеріал потрібно замінювати після кожної тисячі пострілів, після його забруднення або через два роки після першого використання.

Відтворюваність властивостей пластиліну визначають, кидаючи на нього сталеву кулю і вимірюючи глибину вм'ятини, що з'явилися.

Відновлення підтримуючого матеріалу

Перед другим і наступними пострілами потрібно повертати підтримуючий матеріал в первісний стан. Випробовуваний зразок повторно кріплять і розгладжують підтримуючий матеріал. Бронежилет

приводять до попереднього стану, розгладжуючи шари, зміщений при ударі один щодо одного.

Точки удару

Точки пострілів по бронежилету повинні відповідати таким критеріям:

- всі точки удару повинні знаходитися в межах зазначеної області;
- відстань від усіх точок удару до краю підтримуючого короба повинна бути не менше 50 мм.
- відстань від всіх точок удару до краю ремня має бути не менше 50 мм;
- відстань від точок третього і наступних ударів до прямої лінії, що проходить через дві будь-які точки попередніх ударів, повинно бути не менше 10 мм;
- точки удару при перпендикулярному пострілі по броні 1,2 і 3 рівнів захисту повинні знаходитися на відстані:
 - не менше 75 мм від точки попереднього удару;
 - не менше 75 мм від попереднього удару, здійсненого під кутом до броні;
 - не менше 200 мм від точки будь-якого попереднього удару.
- точки удару при пострілі під кутом 60° для броні 1,2 і 3 рівнів захисту повинні знаходитися на відстані:
 - не менше 75 мм від точки попереднього удару;
 - не менше 75 мм від попереднього удару, здійсненого під кутом до броні;

не менше 200 мм від точки будь-якого попереднього удару.

Випробування у вологих умовах

Броньований захист тіла занурюється вертикально в посудину з деіонізованою або дистильованою водою при температурі 15-20°C на 60 ± 5 хв. Потім її потрібно підвісити на $3 \pm 0,5$ хв. для стікання води і випробувати в межах 30 хв.

Звіт

Звіт повинен містити наступну інформацію:

- інформацію про виробника, ідентифікацію, назва або код, тип, розміри зразка, номер партії і дату виробництва;
- рівень захисту;
- інформацію про додаткові випробування і, відповідно, форму ударників, якими випробовувався зразок за умовами технічного завдання;
- дату і список виконаних випробувань.

25.7. Стандарт випробування касок NIJ 0106.01

Цей стандарт останній раз був переглянутий в грудні 1981 р і зараз NIJ розробляє новий стандарт. Даний стандарт встановлює вимоги до касок з певним рівнем захисту і метод їх випробування.

Специфікації касок

Каски наземних військ і парашутистів регламентуються специфікацією MIL - H - 44099A. Ця специфікація почала діяти з грудня 1986 р замінивши діючу з 1983 р специфікацію MIL - H - 44099. Мільйони касок, зроблених для Міністерства оборони США і збройних сил інших

країн, відповідають цій специфікації. Відповідна цій специфікації форма каски прийнята в багатьох країнах, наприклад, у Франції, Бразилії, Тайвані та Саудівської Аравії.

Специфікація являє собою детальний документ, який регламентує виробництво та характеристики касок. Тут буде описана лише її частина, що стосується легких касок з композиційних матеріалів. Інші частини специфікації, що описують систему підвіски і підборіддя ремін, спосіб упаковки, розглядатися не будуть.

Рівні захисту

Каски ділять на три рівні захисту:

Рівень I (22LR - 38 спеціальний) - це найнижчий рівень захисту від балістичного загрози.

Рівень ІІА - каска повинна захищати від пострілів низькошвидкісними кулями з Магнума 357 і 9-мм пістолетними з суцільнометалевою оболонкою.

Рівень ІІ - каска повинна захищати від більш швидкісних куль довгоствольної зброї, високошвидкісних куль Магнума 357 і 9-мм пістолетних куль з суцільнометалевою оболонкою.

Спеціальний рівень. У спеціальних випадках покупець може змінити вимоги. У порівнянні з бронежилетами, стандарт не розглядає випробування касок ІІА, ІІІ і ІV рівнів захисту. В принципі, можна зробити каски ІІА рівня захисту (що зупиняють високошвидкісні кулі Магнума 357 і Магнума 44), ІІІ рівня (захист від гвинтівкових куль) і ІV рівня (захист від бронебійних куль). Однак людська шия має малу жорсткість і не може протистояти удару кулі з кінетичної енергією більш 100Дж.

Вибірка і метод випробування

Занурення в воду: каску занурюють у воду з температурою 16-27° на 16 годин, після чого вона сохне на повітрі протягом 12 год. На зовнішній поверхні каски не повинні з'явитися дефекти, що свідчать про розшаруванні корпусу.

Балістичні випробування: перед випробуваннями каску витримують у випробувальній камері не менше 24 год. Поверхню каски ділять на п'ять ясно помітних областей: одну з яких відзначають колом діаметром 50 мм, і чотири рівних бічних областей. Балістичні випробування проводять відповідно до стандарту MIL - STD - 662, використовуючи уламки 22 калібру, що відповідають стандарту MIL - R - 46593. Каску жорстко встановлюють, і в кожному з п'яти зазначених областей здійснюють як мінімум два постріли в випадково вибрані точки, відстань між якими має бути не менше 37 мм. Всі постріли здійснюють по нормалі до площини поверхні каски. Балістична границя всіх касок повинен бути не менше 610 м/с.

Випробовуються три каски розміру 71/4 і дві каски випадково обраного розміру. Завантаження порошу в деяких випадках можна робити вручну, щоб швидкість куль відповідала табл. 25.4. Для класифікації рівня захисту кожен зразок випробовують при швидкостях удару табл. 25.4.

Манекен голови

При випробуваннях касок манекен голови повинен мати розмір 71/4.

Таблиця 25.4. Випробування касок згідно стандарту NIJ 0106.01

Параметри випробувань				Вимоги	
Рівень захисту	Боєприпаси	Вага кулі (г)	Швидкість (м/с)	Кількість правильних пострілів	Кількість пробивань
I	22 свинцева	2,6	320±12	4	0
	38 спеціальна.	10,2	259±15	0	0
IIA	357 Магнум ПНО	10,2	381±15	4	0
	9 мм ЦМО	8,0	332±15	4	0
II	357 Магнум ПНО	10,2	332±15	4	0
	9 мм ЦМО	8,0	358±15	4	0

ЦМО - з суцільнометалевої оболонкою;

ПНО - з порожнистим наконечником, покритим оболонкою

При випробуванні скроневої частини каски контрольну пластину потрібно фіксувати, як показано на рис. 25.4. При випробуванні лобової і задньої частин каски манекен повинен бути замінений і контрольну пластину потрібно фіксувати в корональній площині.

Контрольна пластина повинна робитися з алюмінієвого сплаву 2024 - Т3 або 2024 - Т4 і мати товщину 0,5 мм.

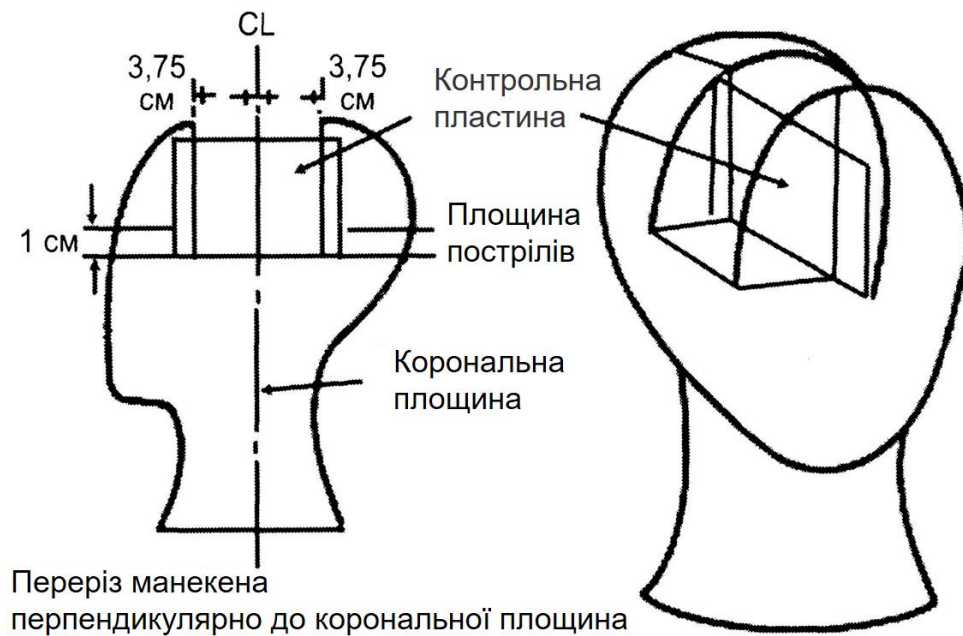


Рис. 25.4. Манекен голови

Випробування манекена голови

Манекен голови робиться зі сплаву магнію або іншого матеріалу, рекомендованого стандартом NIJ 0106.01. Він повинен імітувати прискорення людської голови при ударі кулі. З - за безлічі причин в даний час в США відсутні лабораторії, що дозволяють проводити такі випробування.

Випробування на пробиття

Схема випробувальної установки описана нижче. Тригерний пристрій вимірювання швидкості кулі поміщається на відстані, яка зазначається на рис. 25.1. Спочатку проводиться попередній постріл, який визначає лінію польоту кулі.

Потім в манекен, який використовується при випробуваннях лобової і потиличної частин каски, вставляють контрольну пластину, розміщують каску і жорстко кріплять її ременем до підборіддя. Куля не

повинна стикатися з ременем. Манекен з каскою розміщують так, щоб зробити постріл в потрібну точку, а кут попадання кулі дорівнював 90° до поверхні каски.

Перший постріл здійснюють в передню частину каски. Постріл повинен проводитися в точку, що знаходиться на відстані не вище 90 мм від площини основи і не більше ніж 50 мм від площини симетрії каски. Після цього реєструють швидкість кулі, досліджують каску і контрольну пластину для визначення, чи відбулося пробиття і чи відповідає точка удару заздалегідь певній області. Якщо пробиття відсутнє, каску знову поміщають на манекен і здійснюють чотири постріли в кожную зі сторін каски на відстані не вище 50 мм вище площині основи і не більше 75 мм від площини симетрії. Якщо пробиття відсутні, випробування повторюють на другій касці, яку перед цим занурюють на 2-4 години в воду з температурою $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Звіт про результати випробувань повинен містити опис випробуваннях касок, наприклад, їх форму, розмір і вага. Описується тип кулі, її швидкість, область поразки на касці і відзначається, чи є пробиття.

25.8. Броньований захист транспортних засобів (жорстка броня)

Для бронювання транспортних засобів використовують матеріали, аналогічні жорсткій формованій броні в бронежилетах. Є випадки, коли військовослужбовці США в Іраку використовували броньований матеріал специфічного призначення в зовсім інших цілях.

Зі зменшенням ваги броньованих матеріалів змінюються і стандарти випробувань. Деякі стандарти випробувань засобів індивідуального захисту можуть використовуватися для випробувань захисту транспортних засобів, наприклад, формованих панелей на основі тканих арамідних препрегів. Відзначимо, що технологія виробництва

броні для захисту транспортних засобів може дещо відрізнятись від технології виготовлення нагрудних броньованих пластин. Панелі різного розміру формують в автоклавах і пресах високого тиску.

Стандарт випробування броні NIJ 0108

Є цілий ряд полегшених броньованих матеріалів, розроблених для захисту від легкої і потужної зброї. Ці матеріали використовують в переносних щитах, броньованих щитах для розгону масових заворушень, броньованих приміщеннях охорони, поліцейських блокпостах, тимчасовому житлі військовослужбовців і транспортних засобах.

Такі броньовані матеріали можуть складатися з металів, кераміки, прозорого скла, тканин, войлокоутворюючих матеріалів і волокнистих композиційних матеріалів.

Класифікація

Відповідно стандарту NIJ 0108 матеріали діляться на наступні рівні балістичного захисту (табл. 25.5.):

- рівень I (22 I.R; 38 Спеціальний);
- рівень IIA (9 мм ЦМО, Магнум 357);
- рівень II (9 мм ЦМО, Магнум 357);
- рівень IIIA (9 мм ЦМО, Магнум 44);
- рівень III (куля M80);
- рівень IV (30-06 AP);
- спеціальні рівні.

Таблиця 25.5. Класифікація жорсткої броні

Рівень захисту	Боєприпаси	Вага кулі (г)	Довжина ствола (см)	Швидкість (м/с)
I	22 свинцева	2,6	15-16,5	320±12
	38 спеціальн.	10,2	15-16,5	259±15
IIA	357 Магнум ПНО	10,2	10-12	381±15
	9 мм ЦМО	8,0		332±15
II	357 Магнум ПНО	10,2	15-16,5	425±15
	9 мм ЦМО	8,0	15-16,5	358±15
IIIA	44 Магнум	15,55	14-16	426±15
	9 мм ЦМО	8,0	24-26	426±15
IV	7,62 мм 308	9,7	56	838±15
	Вінчестер ЦМЛ			
V	30-06 бронебійн.	10,8	56	868±15
Спеціальний	Як замовлено	Як замовлено	Як замовлено	Як замовлено

П'ять куль при випробуванні броні I, IIA, II, IIIA, і IV рівень захисту, одна куля для V рівня захисту.

ЦМО - з суцільнометалевої оболонкою.

Балістичні випробування

Після кріплення зброї і прицілювання здійснюються кілька попередніх пострілів по контрольній пластині для визначення точки удару.

Випробовуваний зразок кріпиться на відстані 5 м від зброї. Контрольна пластина розміщується на відстані 15 см за зразком. Проводиться перша серія пострілів, і за допомогою годинника

вимірюється швидкість кулі. Досліджується контрольна пластина і зразок для визначення, чи відбулося пробиття і був удар правильним.

Якщо пробиття відсутні, зразок кріпиться повторно і використовуються додаткові серії випробувань. Місця ударів розподіляються по можливості рівномірно, щоб випробувати кожну частину зразка.

Випробування броні з керамічним облицюванням

Гвинтівкові кулі

Кулі можна розділити на три групи, що розрізняються за своєю структурою:

- кулі зі свинцевою серцевиною. Вони можуть бути зупинені бронею, яка складається на 100% з волокнистих матеріалів (наприклад, НВМПЕ Shield);

- кулі з сердечником з м'якої сталі, що володіють більшою пробивною силою, але не є бронебійними. Вони також можуть бути зупинені волокнистою бронею, наприклад, можуть бути зупинені кулі автомата Калашникова АК 47 калібру 7,62 × 39;

- бронебійний кулі з твердим зміцненим сердечником. Цей тип куль зустрічається все частіше. Він має більшу пробивну силу за рахунок наявності твердого сердечника.

Чисто волокнисті матеріали не здатні зупиняти бронебійні кулі. У цьому випадку використовують передній керамічний шар, який кріплять до волокнистої підкладки. Кераміка руйнує сердечник на дрібні фрагменти, які потім зупиняються волокнистою підкладкою.

Бронебійні кулі

Калібр бронебійних снарядів досить широкий, починаючи від куль калібру 5,56 мм і закінчуючи снарядами калібру 135 мм. Їх головною рисою є наявність сердечника, який грає більш важливу роль, ніж швидкість польоту снаряда. Сердечники виготовляють з різних твердих матеріалів, наприклад, високоміцної сталі, карбіду вольфраму, вольфрамових сплавів і урану (при випробуваннях останній використовують рідко у зв'язку із небезпечними для здоров'я). Наприклад, бронебійна куля калібром 7,62 мм з сердечником з карбіду кремнію має пробивну силу майже однакову зі снарядом калібром 12,7, який майже в десять разів важче.

Для захисту від бронебійних куль важливе значення мають властивості кераміки, особливо її твердість і в'язкість, що підштовхує фірми - виробники до вдосконалення своєї продукції.

Стандарти випробувань

Балістичні випробування систем індивідуального броньованого захисту проводять згідно зі стандартами NIJ (США) і PSDB (Великобританія), а броню транспортних засобів випробовують згідно зі стандартами EN 1063 і Stanag 4569. Стандарти доповнюють один одного і застосовні для широкого ряду боєприпасів.

Стандарти описують балістичні випробування, однак, щоб уникнути повторення, розглянемо лише найважливіші їх рекомендації. Головними моментами, на які слід звернути особливу увагу, є:

- точне описання боєприпасів, а саме структура і швидкість куль;
- мінімальна дистанція стрільби, що забезпечує стабільність польоту кулі;

- для броні з керамічним облицюванням важливе значення має відстань від краю пластин до точки удару і відстань між точками влучень. Воно зазвичай становить 25 - 120 мм для гвинтівок, 50-200 мм для калібрів 12,7/14,5 і 300 мм або більше для стандартів калібру 20-30 мм. Ці характеристики визначаються вимогами замовника в залежності від сфери застосування броні і специфіки виконуваних завдань;

- послідовність пострілів. Вона має найважливіше значення, оскільки впливає на результати випробувань. Наприклад, влучення спочатку в край зразка, а потім в його центр дає інші результати, ніж влучення в зворотній послідовності при збереженні відстані між точками удару.

Вважається, що структурна жорсткість бронематеріалів може сильно впливати на однорідність властивостей. Жорстка панель забезпечує значне кращий захист від множинних влучень, ніж панель, що стає все м'якше і м'якше. Наприклад, жорсткі метали забезпечують кращий захист від безлічі пострілів, ніж броня з зовнішнього керамічного шару з підкладкою з волокнистого композиту, який легко розшаровується.

Засоби індивідуального балістичного захисту

Специфікою балістичних випробувань індивідуальної броні є присутність великого пластилінового або желатинового блоку, що підтримує броньовані пластини або бронежилет. Підтримуючий блок дозволяє вимірювати деформацію тильної поверхні зразка, що викликає травму. Подібні матеріали не можуть вважатися надійною моделлю людського тіла і в основному є інструментом, що дозволяє порівнювати поглинання енергії різними бронематеріалами. Особливу увагу слід

звернути на склад і стан пластиліну, оскільки його властивості залежить як від складу, так і від температури.

Важливо відзначити, що м'який пластилін значно підвищує здатність керамічної пластини витримувати множинні попадання, оскільки підкладка в цьому випадку деформується в меншій мірі, ніж без пластиліну.

Нові специфікації включають випробування матеріалу поблизу краю броньовані пластини і обстріл під кутом в 30° , що дозволяє з'ясувати, чи дійсно керамічний шар відповідає всій керамічній броні, яку часто випробовують лише шляхом удару в центр броньовані панелі, і при цьому вона не витримує багаторазові удари.

Традиційно вважається, що бронебійні кулі руйнують керамічне облицювання на більшу площу, ніж м'які свинцеві кулі. Тому стандарти передбачають мінімум 3-6 постріли свинцевими кулями по кожній броньовані панелі. Однак розвиток керамічних матеріалів дозволяє їм витримувати до 12 і більше влучень. Це свідчить, що броня стала краще витримувати близькі попадання кулями і попадання поблизу края панелі забезпечуючи тим самим кращий захист.

Броньований захист транспортних засобів

При випробуванні броні транспортних засобів її встановлюють на рамі, причому за зразком залишають порожній простір, що значно збільшує площу відшаровування керамічного шару від волокнистої підкладки.

Основні рекомендації по випробуванню броні кулями калібру 5,56 мм і 7,62 мм

Кріплення:

- панель встановлюють на металевій рамі так, щоб вона була закріплена в чотирьох кутах (рис. 25.5);
- зразок повинен заходити за кромки рами щонайменше на 20 мм;
- краще розташувати панель між двома листами алюмінію завтовшки 5/10 мм, що знаходяться на відстані 150 мм від панелі, що дозволить визначити ступінь дроблення передньої і задньої поверхонь панелі.

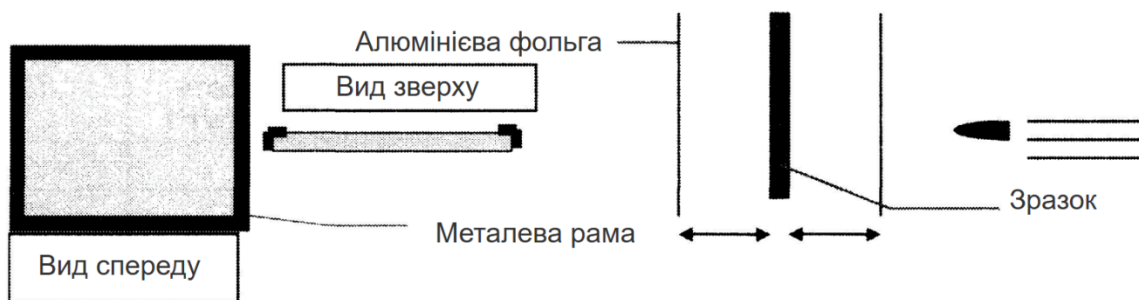


Рис. 25.5. Кріплення панелі при випробуваннях

- при випробуванні броні з волокнистої підкладкою з тильного боку системи не слід поміщати будь - який жорсткий матеріал. В іншому випадку кераміка не буде розшаровуватися, а кількість енергії, що поглинається зменшиться.

Метрологія

Температура випробувань: постійна температура $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$; випробування при екстремальних температурах $+80$ і -40°C .

Дистанція стрільби: 10 - 20м для гвинтівок та мисливських рушниць; 25 - 100 м для артилерійських знарядь.

Розташування точок удару: 50 мм між точками удару або від краю рами при стандартних випробуваннях (до 25 - 30 мм для дрібнокаліберних куль).

Вимірювання швидкості польоту снарядів: виміри швидкості виробляють в кількох метрах від лицьової поверхні зразка.

Кут обстрілу: кут 0° (для потужних снарядів з більшою пробиває силою), 30° , 45° і 60° - зазвичай максимальний кут.

Послідовність пострілів: мішень зазвичай випробовують боеприпасами одного типу. Однак допускається використання і кількох видів боеприпасів, якщо деформація тильна поверхні зразка не впливає на результати близьких влучень.

Результати та критерії оцінки: випробування вважають успішними, якщо снаряд застряг у випробовуваній панелі або якщо він не пробив алюмінієвої фольги, розташовану на відстані 150 мм за зразком. При описі результатів балістичних випробувань **повинні бути вказані:**

- 1 - тип снаряда або кулі;
- 2 - швидкість;
- 3 - умови стрільби: температура в градусах Цельсія, розташування місць влучень, кути обстрілу;
- 4 - тип зброї;
- 5 - дистанція стрільби;
- 6 - результати кожного пострілу: наскрізні пробиття мішені, зупинка снаряда, зупинка снаряда в проміжному шарі, зупинка в керамічному шарі.

Балістичні характеристики матеріалів з переднім керамічним шаром

Поверхнева щільність (вага в розрахунку на одиницю поверхні) полегшеної броні з керамічним облицюванням наводяться в табл. 25.6, а дані про вагу і вартості броні, що захищає від куль калібру 7,62 × 54 снайперської гвинтівки Драгунова російського виробництва, дані в табл. 25.7.

Таблиця 25.6. Балістичні властивості (Ares Protection 2004)

Боєприпаси (влучення під кутом 0°)	фунт/фут ²
5,56×45 NATO; 7,62×51 NATO; 7,62×39 АК47; 7,62×54 гвинтівка Драгунова	3-5,5
Бронебійні 7,62×39 АК47; 5,56×45; 7,62×51 (P80/PPI); 300 гвинт.; 868S; 7,62×54 бронебійна гвинтівка Драгунова, 3006 M2	5,2-7,2
7,62×51 FFV Bofors (WC)	10,2-11,3
Бронебійні калібру 12,7 і 14,5 В32 20мм	15,4
25 мм APDS кут удару 60° (на 40 мм алюмінієвої конструкції)	22,5
25 мм APDS кут удару 45° (на 40 мм алюмінієвої конструкції)	39

Таблиця 25.7. Порівняння характеристик різної броні, призначеної для захисту від ураження кулями калібру 7,62 × 54 снайперської гвинтівки Драгунова (джерело Natick - 18th International Symposium on Ballistics. San Antonio, TX, 15-19 November 1999)

Система	Поверхнева щільність кераміки (фунт/фут ²)	Поверхнева щільність композиту (фунт/фут ²)	Загальна поверхнева щільність (фунт/фут ²)	Вартість системи (\$)
Сталевий прокат			15	100
Окис алюмінію /склопластик S2	7,0	2,5	9,7	250
Карбід кремнію / Kevlar 29	5,8	2,4	8,4	646
Карбід бору / Kevlar	4,3	2,0	6,5	1115

Робота з удосконалення матеріалів невпинно триває, і поліпшення якості сировини і технології виробництва щорічно призводять до

зниження ваги ще на кілька відсотків. При цьому, однак, балістичні загрози також постійно зростають.

#цікаві_факти

Інститут виробників спортивної зброї та боєприпасів (**SAAMI**) – це американська торгова асоціація виробників зброї масового знищення та боєприпасів. SAAMI **створює** добровільні промислові стандарти вогнепальної зброї, боєприпасів та якості аксесуарів. SAAMI була заснована в 1926 на пропозицію уряду США. Військові, Федеральне бюро розслідувань (ФБР), а також державні та місцеві правоохоронні органи часто заявляють, що контракти на постачання зброї та боєприпасів мають відповідати стандартам SAAMI. Серед більш ніж 700 стандартів SAAMI розробило методи випробувань (щоб забезпечити належне формування вогнепальної зброї та їх частин) та стандарти якості боєприпасів. Стандарт порохової працездатності може вказувати на те, що певний сорт пороху горітиме в певному температурному діапазоні за певних умов і не спалахує в інших умовах.

Американський національний інститут стандартів (**ANSI**) здійснює нагляд за розробкою стандартів у різних галузях промисловості. ANSI вибрав SAAMI як акредитований стандарт розробки зброї. Отже, стандарти SAAMI переглядаються ANSI. Як вимагає ANSI, стандарти SAAMI розробляються колективно (консенсусом). Запропонований стандарт, як правило, буде розглянутий членам SAAMI, компаніями-виробниками вогнепальної зброї, які не належать до SAAMI, державними установами, такими як ФБР або митна служба США, та науковими групами, такими як Національний інститут стандартів та технологій. Отримавши інформацію з різних організацій, технічний комітет SAAMI визначає правильний стандарт. У разі розбіжностей учасник може звернутися до ANSI. Що п'ять років усі стандарти переглядаються.

Під час аудиту 1996 року ANSI надала SAAMI зразковий рейтинг технічної експертизи, професіоналізму та компетентності. SAAMI зараз працює з Комісією Internationale Permanente (**CIP**) у Європі, щоб зробити американські та європейські стандарти більш сумісними. Комітет логістики та регуляторних питань SAAMI (**SLARAC**) співпрацює з державними органами, такими як Департамент транспорту та Бюро з алкоголю, тютюну та вогнепальної зброї, їх іноземними колегами, та Підкомітетом експертів Організації Об'єднаних Націй із перевезення небезпечних вантажів. Цим групам SLARAC допомагає розробляти стандарти для безпечного транспортування та розповсюдження вогнепальної зброї та боєприпасів. В даний час SAAMI налічує двадцять сім партнерів, включаючи виробників боєприпасів, пороху, виробників пістолетів.

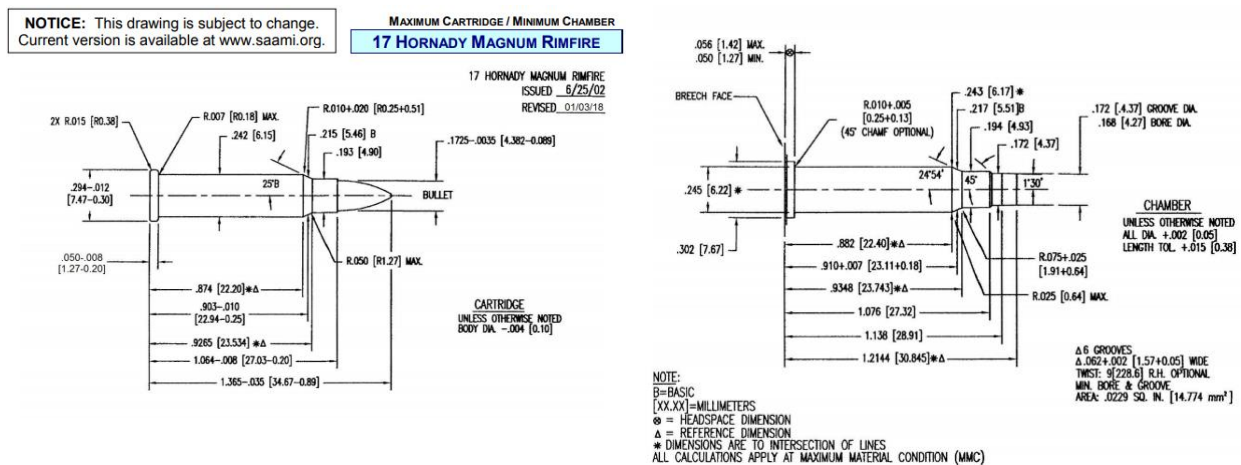


Рис. 25.6. Патрон 17 Hornady Magnum Rimfire (витримка зі стандарту) та фото готового виробу.

Представлені на офіційному сайті (<https://saami.org/>) стандарти надають комерційним виробникам боєприпасів характеристики тиску, швидкості, а також розмірні характеристики боєприпасів. Описано також процедури та обладнання для визначення цих критеріїв. Для цілей цього стандарту комерційний виробник окреслюється виробником боєприпасів шляхом виготовлення складових частин.

SAAMI не здійснює незалежне тестування продукту. Існує кілька незалежних компаній, що випробовують продукт за стандартами SAAMI, в тому числі:

- H.P. White Laboratory Inc.
- Q.C. Metallurgical, Inc.
- NTS Chesapeake Testing.

NTS Chesapeake - це сучасна лабораторія площею 60 000 квадратних футів розташована в північно-східній частині Меріленду недалеко від Абердинського полігону. Вона надає балістичні експерименти/випробування та служби неруйнівного контролю боєприпасів та систем захисту.

NTS Chesapeake забезпечує випробовування боєприпасів стандартів SAAMI, ФБР, НАТО та інших. Методи випробувань включають вимірювання тиску та швидкості, характеристику проекції, оцінку ефективності тощо.

Випробування вогнепальної зброї проводяться за різними стандартами випробувань і методів, і включають точність і дисперсію, швидкість вогню, ерозію, витривалість зброї, тригерний вплив, віддачу, коефіцієнт удароміцності та випробування на стійкість, а також пристрій безпеки вогнепальної зброї (FSD) випробування ящиків та замків.

Використовується найсучасніше обладнання та прилади. Вони включають:

- Лазерні сканери FARO та точкові зонди;
- Доплерівська радарна система для безперервних вимірювань швидкості;
- Високошвидкісні камери (кольорові та монохромні): швидкість спрацьовування: 1 мс, до 100,000 кадрів за секунду; 2D та 3D-аналіз відео (відстеження швидкості);
- Високоточне та відкаліброване обладнання для вимірювання швидкості: оптичні екрани, магнітні екрани (для невеликих фрагментів), екрани для розриву паперу для особливих вимог;
- Випробування балістичної глини та гелю (армія США, ФБР, DEA, DHS).

NTS має одинадцять критичних балістичних стрільбищ, розміри більшості з них складає 15 x 70 футів відповідно до стандартів NIJ. Крім того, є ширше внутрішнє стрільбище розміром 18 x 102 футів, призначене для проведення випробувань великого калібру, 30 мм та спеціальної зброї. Це велике внутрішнє стрільбище також має вбудовані можливості для випробувань транспортних засобів та великих компонентів/допоміжних систем. Кожне стрільбище має незалежну систему опалення, вентиляції та кондиціювання з удосконаленою системою фільтрації HEPA, яка перевищує стандарти EPA та OSHA для якості повітря. На кожному стрільбищі є власний майданчик для навантаження/стрільби та область збору даних/керування. Тут фахівці та клієнти NTS можуть безпечно спостерігати та оцінювати кожен постріл у робочому просторі, підключеному до кожного діапазону.

Донедавна огляд ствола рушниці повинен був проводитися вручну, використовуючи зіркоподібний датчик або датчик повітря, процес, що вимагає кілька годин і забезпечує мінімальну кількість даних. Пізніше були розроблені електронні зіркові датчики та відео-бороскоп, але ці системи, як і раніше, обмежувалися наданням мінімальної кількості даних. Розроблена компанією Laser Techniques Company система BEMIS (Система контролю ерозії та вимірювання ствола) захоплює понад 7,000 точок даних за один оберт і виконує перевірки лише за кілька хвилин. Він також видаляє більшу частину помилок користувача, які існують у застарілих методах. NTS забезпечує лазерне картування отворів для пістолетів, без руйнування, використовуючи передову технологію BEMIS.

Система контролю ерозії та вимірювання ствола NTS, або BEMIS, розроблена та виготовлена компанією Laser Techniques Company, у Редмонді, штат Вашингтон, використовує вдосконалений лазерний профілометр, який був мініатюризований, щоб вписатися в комплект поставки, розміром з кулю калібру 0,22. Використовуючи цю унікальну конструкцію датчика, тепер є можливість записувати в цифровій формі тисячі точок за секунду всередині ствола вогнепальної зброї, щоб фіксувати високоточні вимірювання та оцінювати якість, як ніколи раніше. Ця система може перевіряти ствольну коробку стандартної довжини за лічені хвилини, з дуже простим та інтуїтивно зрозумілим налаштуванням та калібруванням. Збір даних цього раніше знадобився б набагато довше і вніс би небажану неточність у процес.

У той час як метод лазерної профілактометрії проводився десятиліттями, пізніші досягнення в галузі оптичного дизайну та виготовлення дозволили побудувати датчики, оптимізовані для сканування нарізних стволів. Компанія Laser Techniques розпочала свою роботу у 2000 році. Протягом наступних півтора десятиліття Laser

Techniques продовжувала розвивати кілька поколінь і доопрацьовувати цю технологію, включаючи індивідуальні датчики практично для кожного загального калібру, починаючи від стрілецької зброї калібру 22.22, аж до 155 мм важких артилерійських гармат.

Як балістична випробувальна лабораторія, насамперед зосереджена на тестуванні та оцінці бронежилетів, NTS Chesapeake проводить сотні пострілів на день з інвентарю понад 300 випробувальних стволів, від 0,22 до 30 мм. Розуміння та контроль відхилень процесу випробування є ключем до забезпечення точних результатів.

В даний час NTS пропонує клієнтам послуги сканування за допомогою BEMIS для зброї малого калібру. BEMIS призначений для стволів 5.56-12.7 мм (від .22 до .50 калібру).



Рис. 25.7. Датчик BEMIS та моторизований ступінь подачі для перевірки ствола 50 калібру

Приклади, показані нижче – це аналіз 9-міліметрових випробувальних стволів. Лівий зовсім новий, ще не використаний, а праворуч, який має приблизно 5,600 пострілів. Історично ці стволи витримують понад 5,000 пострілів, перш ніж їх виведуть із експлуатації.

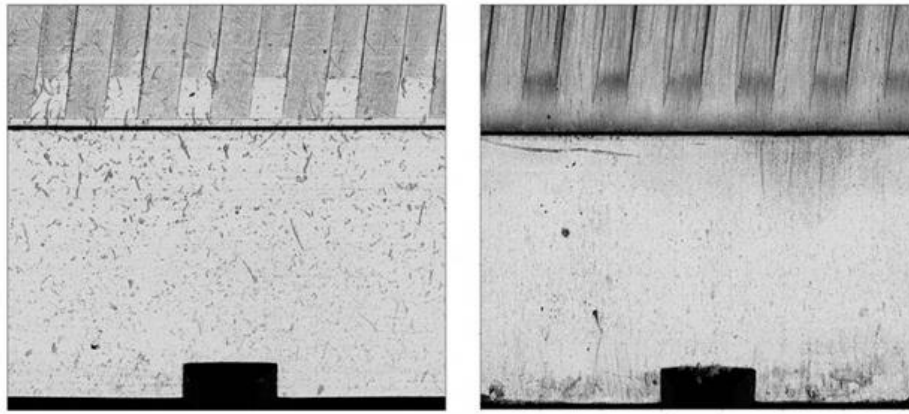


Рис. 25.8. Зношування та ерозія легко помічаються на зображенні з камери нового ствола 9x19 мм (ліворуч) та зношеного ствола 9x19 мм (праворуч)

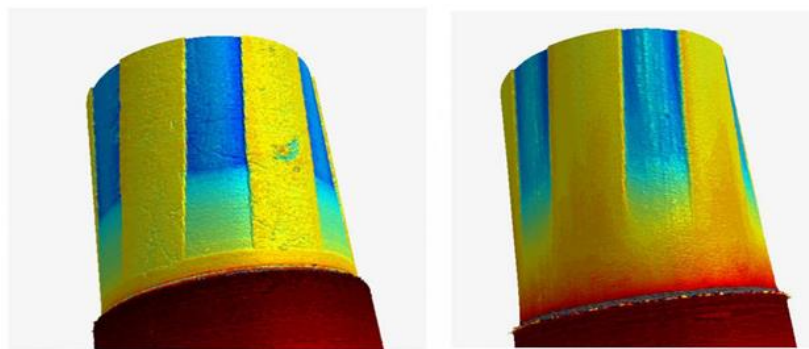


Рис. 25.9. 3D-моделі, що створюються лазерним скануванням камери нового ствола 9x19 мм (ліворуч) та зношеного ствола 9x19 мм (праворуч) можна точніше визначити знос та ерозію.

Контрольні питання

1. Що таке балістичні випробування та від яких факторів вони залежать?
2. Дайте загальну характеристику стандартів випробувань і специфікацій при випробуваннях броні військового призначення? Яка різниця між військовими та поліцейськими стандартами?
3. В чому особливості стандарту випробувань касок NIJ 0106.01?
4. Як проводять випробування легких протибалістичних матеріалів?

Скорочення

AlON – загальноприйнята аббревіатура оксинітриду алюмінію

ANSI – American National Standards Institute, Американський національний інститут стандартів

CIP - постійна міжнародна комісія з випробування стрілецької зброї (фр. Commission internationale permanente pour l'épreuve des armes à feu portatives; поширена аббревіатура англ. C.I.P.)

EPA - агентство з охорони навколишнього середовища США (United States Environmental Protection Agency)

INDA - Асоціація промисловості нетканих матеріалів

OSHA - управління з охорони праці США (Occupational Safety and Health Administration)

RTM - Resin Transfer Moulding

SAAMI - The Sporting Arms and Ammunition Manufacturers' Institute, інститут виробників спортивної зброї та боєприпасів

SLARAC - комітет SAAMI з питань логістики та регулювання (SAAMI Logistics and Regulatory Affairs Committee)

Б-32 - бронебійно-запальна куля зі сталевую серцевиною

BE - вінілефір

ДСК - диференційно-скануюча калориметрія

ЗІБ – засоби індивідуального бронезахисту

КАП - кліматичний амортизаційний підпір

КМ - композиційний матеріал

ЛПЕНЩ - лінійний поліетилен низької щільності

НВМПЕ - надвисокомолекулярний поліетилен

ПАН - поліакрил

ПБІ – полібензімідазол

ПБО – поліфенілбензобісозазол

ПВБ - полівінілбутираль

ПЕ - поліетилен

ПЕА - поліефірамід

ПЕЕК – поліефірефіркетон

ПЕНЩ - поліетилен низької щільності

ПЕОМ - поліетилен високої щільності

ПКБ - полікарбонат

ПКБ - полікарбонат

ПМ – пістолет Макарова

ПММА - поліметилметакрилат

ППЕ - пінополіетилен

ПУ - поліуретан

ПФС - поліфеніленсульфід

ПФТФ - р-фенілентерефталамід

РВ- рівноважна вологість

РЕМ - растрова електрона мікроскопія

РК – рідинокристалічний

Визначення

Балістична границя - швидкість, при якій снаряд повністю перфорує дану броню при певному куті удару.

Балістична границя V_{50} - швидкість, при якій ймовірність пробиття броні дорівнює 50 відсоткам; визначається як швидкість ударника, при якій кількість часткових пробиттів дорівнює кількості повних пробиттів в зазначеному інтервалі швидкостей удару. Для визначення балістичної границі виконують як мінімум два часткових і два повних пробиття. Часто використовуються балістична границя для визначення при чотирьох і десяти серіях пострілів.

Балістична стійкість – величина, яка визначає здатність матеріалу або деталі повністю зупиняти або зменшувати швидкість та масу ударника.

Балістичне зіткнення – вплив від удару снаряда по цілі.

Балістичні випробування - випробування для визначення можливості використання броні. Виконується на вибірково обраних зразках.

Балістичні коефіцієнти - це наближені формули, що визначають середню швидкість ударника.

Боєприпаси легкої стрілецької зброї - всі боєприпаси діаметром не більше 20 мм.

Бронежилет - елемент захисного одягу, призначений для захисту від уражень вогнепальної та холодної зброї, чи осколкових часток вибухових пристроїв.

Броня - матеріал, який використовується для захисту від куль або уламків.

Випробувальний зразок - бронепластина, секція або деталь броні, яку випробовують з метою оцінки балістичних захисних властивостей.

Відокремлюючий піддон - легкий носій снаряда, в якій міститься снаряд зазначеного калібру, який забезпечує введення снаряда в зброю великого калібру. Відокремлюючий піддон зазвичай відкидається на невелику відстань від дула, і рух продовжує тільки снаряд.

Відстань по цілі - відстань від точки, що знаходиться посередині між двома тригерними пристроями, що вимірюють початкову швидкість снаряда, і цілі.

Годинник - електронний інструмент, який використовується для вимірювання часу польоту ударника між двома датчиками.

Гранична балістика - розділ балістики, що досліджує вплив зброї на ціль, включаючи пробивання, утворення уламків і вплив вибуху, спрямованого вибуху, детонації, горіння і бойових запалювальних речовин.

Дроблення - відділення частини або розшарування шару матеріалу поблизу місця удару на передній або задній поверхні броні. Дроблення може становити загрозу, навіть якщо сама броня залишилася непробитою.

Дулова швидкість - швидкість снаряда відносно ствола в момент його виходу зі збройового ствола. Швидкість залежить від ваги снаряда, потужності заряду, характеристик ствола, тощо.

Замінна броня - броня, яку можна встановити або прибрати з системи у вигляді спорядження без погіршення її структурної цілісності або дії.

Імітатор уламка - снаряд зі спеціального матеріалу, форма і розмір якого моделює уламки, що утворюються під час вибуху снаряда; снаряд, призначений для моделювання впливу уламків боєприпасів на мішень.

Індивідуальні засоби захисту – спеціальні засоби, що використовуються людиною для відвертання або зменшення дії на організм шкідливих і небезпечних чинників, а також для захисту від забруднення.

Керамічна броня - тип броні, що складається з керамічної пластини, яка має підкладку з композиційного матеріалу або металу.

Комплексна броня - бронематеріал, який використовується як частина структури, несе навантаження або виконує іншу функцію крім балістичного захисту. Іноді її називають структурної бронею.

Композитна броня - броня, що складається з двох або декількох різних матеріалів, пов'язаних між собою і формують систему захисту.

Контрольна пластина - тонкий лист, розташований за випробувальним зразком паралельно його площині. Використовується для виявлення повного пробиття і наявності дроблення.

Кут нахилу - кут між нормаллю до поверхні мішені і траєкторією польоту снаряда.

Кут нахилу снаряда - кут відхилення поздовжньої осі снаряда від лінії його польоту в точці, розташованій настільки близько до точки удару, наскільки дозволяють можливості вимірювань.

Легка стрілецька зброя - зброя, що вистрілює стисненим газом снаряд діаметром не більше 20 мм.

Метальна вибухова речовина - речовина або суміш, згоряння якої створює тиск, що просуває снаряд через ствол зброї.

Нахил - величина відхилення осі снаряда від нормалі до площини мішені. Нахил снаряда, перпендикулярного до поверхні броні, дорівнює 0°.

Поверхнева щільність - вага бронематеріалу в розрахунку на одиницю площі, виражений в фунтах на квадратний фут або кілограмах на квадратний метр поверхні.

Початкова швидкість - швидкість снаряда в момент часу, коли припиняється дія прискорювальної сили. Виражається в фунтах або в метрах в секунду.

Правильний постріл - поняття правильного балістичного пострілу може бути застосовано тільки до броні, що містить керамічні пластини:

- постріл по контуру вважають правильним, якщо центр удару знаходиться в межах 3,8 мм від лінії контакту двох пластин, але не ближче 12,7мм від точки контакту трьох або більше пластин.

- правильний постріл по суміжній пластині проводиться по пластині, яка має спільну границю з пластиною, по якій до цього зробили правильний удар;

- правильний постріл по центральній пластині проводиться по неушкодженій керамічній пластині композитної броні в область радіусом 25,4 мм від її центру;

Правильний удар - удар вважається правильним, якщо ударник б'є по непідтримуваній мішені під певним кутом на відстані, що перевищує подвійний діаметр кулі від всіх пошкоджень, обумовлених попередніми ударами, або від будь-якої тріщини, або від краю зразка.

Прийомні балістичні випробування – випробування, які визначають можливість прийняття/схвалення броні. Виконується на вибірці представницьких зразків.

Пробиття - пробиття є повним, якщо снаряд, уламок снаряда або зміцнюючий стрижень пробив контрольну пластину, в якій з'являється тріщина або отвір, що реєструється світлом 60-ватної 110 вольтної лампи, які пройшли через контрольну пластину.

Роздільна броня - броньова система, що має проміжки між елементами броні.

Фотоекран - фотоелектричний пристрій, що активує або дезактивує годинник при прольоті снаряда.

Часткове пробиття - будь-який удар снаряда, який зупинений балістичною мішенню, повинен вважатися частковим пробиттям.

Швидкість удару - швидкість снаряда при ударі по цілі.

Навчальні матеріали та ресурси

Базова

1. Lightweight Ballistic Composites. Military and Law-Enforcement Applications. A Bhatnagar, Woodhead Publishing, 2016, 482.
2. Зброя перемоги / Михайло Жирохов. – Х.: Віва, 2023. – 256 с.

Допоміжна

3. ДСТУ В 4104-2002. Засоби індивідуального захисту. Вироби бронезахисту. Методи контролю балістичної стійкості бронезахистів.
4. ГОСТ Р 50744-95 Бронеодежда. Классификация и общие технические требования.
1. ДСТУ 7239:2011 Національний стандарт України. Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.
2. ГОСТ Р 52080-2003. Средства индивидуальной бронезащиты. Термины и определения.
3. М.В. Сильников. Средства индивидуальной бронезащиты. – СПб.: фонд «Университет», 2000. -480 с.
4. В.В. Семькин. Средства индивидуальной бронезащиты: учебное пособие. – М.: Московский университет МВД России, 2008. – 66с.
5. Ковка и штамповка. Справочник. В 4-х т./Ред. совет: Е. И. Семенов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1986 – Т.2. Горячая штамповка/Под ред. Е. И. Семенова. 1986. 592 с., ил.
6. Ковка и штамповка. Справочник. В 4-х т./Ред. совет: Е. И. Семенов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1987 – Т.3. Холодная объемная штамповка/Под ред. Г. А. Навроцкого. 1987. 384 с., ил.

7. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т. / Ред. совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. - М.: Машиностроение, 1985-1987. - Т. 4: Листовая штамповка / Под ред. А.Д. Матвеева. - 544 с.: ил.
8. P. Sharpe, "Making plastics: from monomer to polymer", CEP (September 2015).
9. M. W. Ryberg et.al.? Mapping of Global Plastics Value Chain and Plastics Losses to the Environment (Paris: UNEP, 2018).
10. The Engineering Toolbox, "Young`s Modulus - Tensile and Yield Strength for common Materials" (2020)
11. J. Hale, "Boeing 787 from the ground up", Boeing AERO 24 (2006), pp. 16-23.
12. W.E. Bijker, Of Bicycles, Bakelites, and Bulbs: Toward a Theory of Sociotechnical Change (Cambridge, MA% The MIT Press, 1995).
13. S. Mossman, ed., Early Plastics: Perspectives, 1850-1950 (London: Science Museum, 1997)
14. S. Fenichell, Plastic: The Making of a Synthetic Century (New York: HarperBusiness, 1996)
15. R. Marchelli, The Civilization of plastics: Evolution of an Industry Which has Changed the World (Pont Canavese: Sandretto Museum, 1996)
16. N. A. Barber, Polyethylene Terephthalate: Uses, Properties and Degradation (Haupaugge, NY: nova Science Publishers, 2017)
17. P. A. Ndiaye, Nylon and Bombs: DuPont and the March of Modern America (Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 2006)
18. R. Geyer, et al., "Production, use, and fate of all plastic ever made", Science Advances 3 (2017), e1700782
19. S. Gondi et al., "Personal protective equipment needs in the USA during the COVID019 pandemic", The Lancet 390 (2020), t90-t91

20. World Health Organization, "Shortage of personal equipment endangering health workers world-wide" (3 March 2020).
21. C. E. Wilkers and M. T. Berard, PVC Handbook (Cincinnati, OH: Hanser, 2005).
22. M. Eriksen et al., "Plastic pollution in the worlds oceans: More than 5 trillion plastic pieces weighing over 250000 tons afloat at sea", PLoS ONE 9/12 (2014) e111913.
23. G. Sharia et al, "Microfibers in oceanic surface waters: A global characterization", Science Advances 6/23 (2020).
24. Nahme H., Lach E. Dynamic behavior of high strength armor steels// J. Phys. IV, vol.7. Coll. C3. Suppl. J. III. 1997.
25. Steel armor of Swedich Steel Oxelosung Co// JANE`s AFV Retrofit Systems 1992-1993 (5-th ed.). 1994.
26. Rapalski E., Frank K., Leavy R., Keele M. Armor steel hardness influence on kinetic energy penetration // Proceedings of the Fifteenth International Symposium on Ballistics. Jerusalem. Israel. 1995. Vol.1.
27. Cimpoeu S.J. Analytical modeling of the perforation of multi-layer metallic targets by fragment simulating projectiles // Proceedings of the Twentieth International Symposium on Ballistics. Orlando. USA. 2002.
28. Burkins M. Ballistic performance of Thin Titanium Plates // Proceedings of the Twenty Third International Symposium on Ballistics. Tarragona. Spain. 2007.
29. Armor plates families. General characteristics. Creusot-Loire Industrie, Division mecanique specialisee, Jan. 1985.
30. Rolc S., Buchar J. On the penetration process in steel laminates // Proceedings of the Sixteenth International Symposium on Ballistics. San Francisco. USA. 1996. Vol. 3.
31. National Defence. 1974. Vol. 51. № 325.

32. Kula E. Azrin M. Thermomechanical processing of ferrous alloys // Adv. Deformation Process Proc 21-st Sagamore Army Materials Res. Conf. New York. 1974.
33. Patent № 3751307. USA. Thermal-mechanically processed low-alloy steel / Briggs B. 1972.
34. Patent № 3694174. USA. Dual property steel armor / Briggs B. 1971.
35. Ogorkiewicz R. M. Armor for light combat vehicles // Int. Defence Rev. 2002. Vol. 35. pp. 41-45.
36. Pallet P.J., Gilde G.A., Dehmer P.G. Transparent Armor // The AMPTIC Newsletter. 2000. Vol. 4. № 3.
37. Strassburger E. Influence of Ceramic Thickness on the Ballistic Efficiency of Ceramic – Glass –Plastics Composited // Proceedings of the Twenty Third International Symposium on Ballistics. Tarragona. Spain. 2007.