

Міністерство освіти і науки України
Департамент науки і освіти Харківської обласної державної адміністрації
Комунальний заклад «Харківська обласна Мала академія наук
Харківської обласної ради»

Відділення інженерії та матеріалознавства
Секція: аерокосмічна техніка та оборонні технології

РОЗРОБКА БРОНЕПЛАСТИНИ З ПІДВИЩЕНОЮ ЗАХИСНОЮ ВЛАСТИВІСТЮ

Роботу виконав:

Гонтаренко Андрій, учень 11 класу
Комунального закладу «Харківський
ліцей № 82 Харківської міської ради»

Наукові керівники:

Гурко Олександр Геннадійович,
завідувач кафедри автоматизації та
комп'ютерно-інтегрованих
технологій Харківського
національного автомобільно-
дорожнього університету, професор,
доктор технічних наук

Калаш Олена Володимирівна,
вчитель математики, заступник
директора з НВР Комунального
закладу «Харківський ліцей № 82
Харківської міської ради», спеціаліст
вищої категорії, учитель-методист

РОЗРОБКА БРОНЕПЛАСТИНИ З ПІДВИЩЕНОЮ ЗАХИСНОЮ ВЛАСТИВІСТЮ

Гонтаренко Андрій, Харківське територіальне відділення МАН України, Комунальний заклад «Харківський ліцей № 82 Харківської міської ради», 11 клас, м. Харків

Гурко Олександр Геннадійович, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, професор, доктор технічних наук

Калаш Олена Володимирівна, заступник директора з НВР Комунального закладу «Харківський ліцей № 82 Харківської міської ради», вчитель математики, «спеціаліст вищої категорії», вчитель-методист

Актуальність дослідження зумовлена початком використання російськими військовими патронів з підвищеної пробивної здатністю, захист від яких сучасні бронеплити не надають.

Об'єктом дослідження є модель бронепластини підвищеного рівня захисту від куль з двокомпонентним зміцненим сердечником.

Предметом дослідження є способи виготовлення піхотних бронепластин, а також аналіз матеріалів, що використовуються під час їх виготовлення.

Метою дослідження є підвищення захисної спроможності засобу індивідуального захисту за рахунок розробленого зразка бронепластин, що здатна спиняти бронебійно-запалювальні кулі зі зміцненим сердечником.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання: дослідити існуючі зразки бронепластин та проаналізувати їхній рівень захисної спроможності від куль підвищеного бронепроникнення; зробити розрахунки характеристик майбутнього зразка бронепластини, визначити параметри; створити новий зразок, враховуючи певні параметри; провести ряд експериментів (відстрілів) розробленої бронепластини для перевірки правильності теоретичних розрахунків; порівняти створений зразок із існуючими аналогами за вибраними параметрами.

Робота пройшла апробацію під час VIII Обласної науково-практичної конференції Харківського територіального відділення МАНУ та Всеукраїнської молодіжної науково-практичної онлайн конференції «Фізика – основа цифровізації суспільства та сталого інноваційного розвитку техніки і технологій».

Ключові слова: бронепластина, бронебійна куля, бронебійно-запалювальна куля, куля з зміцненим сердечником

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. Актуальність проблеми	6
1.1. БС-40 та Б-32	6
1.2. Металокерамічні бронепластины	7
1.3. Проблема якості керамічних пластин	9
1.4. Сталеві бронепластины	10
РОЗДІЛ 2. Розроблений зразок бронепластины	11
2.1. Вибір основного матеріалу бронепластины	11
2.2. Кевлар	13
2.3. Конфігурація шарів у бронеплиті	14
2.4. Порівняння розробленої бронепластины з аналогами	16
РОЗДІЛ 3. Термічна обробка титану	17
РОЗДІЛ 4. Аналіз перспективи доцільності використання бронепластин даного типу на транспортних засобах	19
ВИСНОВКИ	22
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	23
ДОДАТКИ	25

ВСТУП

Актуальність роботи зумовлена початком використання російськими військовими патронів з підвищеною пробивною здатністю, захист від яких не надають бронеплити, що використовуються у бронезилетах військовослужбовців ЗСУ.

Отже, *метою дослідження* є підвищення захисної спроможності засобу індивідуального захисту за рахунок розробленого зразка бронепластин, що здатний спиняти бронебійно-запалювальні кулі зі зміцненим сердечником.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні *завдання*:

- дослідити існуючі зразки бронепластин та проаналізувати їхній рівень захисної спроможності від куль підвищеного бронепроникнення;
- зробити розрахунки характеристик майбутнього зразка бронепластини, визначити параметри; створити новий зразок, враховуючи певні параметри;
- провести ряд експериментів (відстрілів) розробленої бронепластини для перевірки правильності теоретичних розрахунків;
- порівняти створений зразок із існуючими аналогами за вибраними параметрами.

Об'єктом дослідження є модель бронепластини підвищеного рівня захисту від куль з двокомпонентним зміцненим сердечником.

Предметом дослідження є способи виготовлення піхотних бронепластин, а також аналіз матеріалів, що використовуються під час їх виготовлення.

У роботі використані *методи* порівняльного аналізу, теорії розв'язання винахідницьких завдань, експериментального дослідження.

Частину експериментальних досліджень проведено за допомогою військовослужбовців на полігоні. Загартування та старіння титану за розглянутою у роботі методикою виконано за допомогою ТОВ «МАШСЕРВІС», Дніпропетровська область, місто Кривий Ріг.

Наукова новизна полягає у розробці нової моделі бронепластин, яка на відміну від існуючих має більшу захисну властивість.

Практична значущість результатів роботи полягає у тому, що використання запропонованої бронепластики у бронезилетах збереже життя та здоров'я бійців ЗСУ, а також дозволить їм виконувати свої обов'язки більш ефективно завдяки меншій масі. До того ж, можливе використання запропонованого рішення для бронювання транспортних засобів.

Робота пройшла *апробацію* під час VIII Обласної науково-практичної конференції Харківського територіального відділення МАНУ та Всеукраїнської молодіжної науково-практичної онлайн - конференції «Фізика – основа цифровізації суспільства та сталого інноваційного розвитку техніки і технологій».

РОЗДІЛ 1

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ

1.1. БС-40 та Б-32

Через початок використання російськими снайперами куль підвищеного бронепроникнення, загиблих та поранених серед наших воїнів стає все більше. Сучасні бронепластики, що використовуються в українських бронезилових, не в змозі зупинити ці кулі.

Потрібно розібратися, в чому відмінність нового типу куль від старого.

Таблиця 1.1

Порівняльна характеристика куль Б-32 та БС-40 за певними параметрами

Характеристики	Б-32	БС-40
Калібр	7,62×54 мм	7,62×54 мм
Маса кулі	11,7 г	12,5 г
Довжина патрону	77,16 мм	77,16
Довжина кулі	23,44 мм	23,44
Швидкість кулі	805 м/с	810 м/с
Твердість матеріалу кулі, НРС	62-64	75-80
Еквівалент енергії на пробиття	3779 Дж	5 668 Дж

Раніше агресори використовували кулі Б-32 7,62×54 мм R (7,62×54, 7,62×54R, 7,62×54 Rimmed) – це унітарний гвинтівковий набій з гільзою із закраїною, що виступає, розмірністю 7,62×53,72 мм. Загальна максимальна довжина патрона становить 77,16 мм, а куля має діаметр 7,62 мм та енергію 3990 Дж. З огляду на характер влучання та травми, завдані новим типом куль, можна зробити припущення, що це куля БС-40. Вона відрізняється від кулі Б-32 тим, що має більш твердий сердечник. При масі кулі 12,1-12,5 г та початковій швидкості 800-815 м/с бронебійно-запальна куля зразку 1940 року перевершує кулю Б-32 за бронепробивністю майже в півтора рази (табл. 1.1).

Для дослідження можливості стримувати кулю БС-40, були проаналізовані відкриті джерела інформації [3], що присвячені аналізу існуючих бронежилетів, а саме: сталевих та металокерамічних вагою 3-3.5 кг. Така вага є оптимальною для того щоб, наші військові витрачали менше сил при використанні бронежилетів. Результати досліджень наведені нижче.

1.2. Металокерамічні бронепластики

Першою було протестована металокерамічна бронепластика. Металокераміка – це поєднання кераміки та різних металів. Найчастіше металокераміка для бронежилетів – це блоки, що складаються з керамічних плиточок розміром близько 50*50 мм, які дуже щільно підігнані та становлять єдиний бронеблок [7]. Є дуже дорога, але легка бронекераміка, дешевша, але важча. Компроміс між ними постійно шукається [3].

На жаль, в Україні з'явилося дуже багато імпортних керамічних бронеплит, в яких велика частина плити по периметру заповнена просто піною. Ці керамічні бронеплити перевірялись в лабораторії. Площа такої піни приблизно 20% від загальної площі у бронеплити 300 мм на 250 мм. За

рахунок цього такі бронеплити на 20% легші, дешевші в собівартості та на 20% мають меншу захисну площу! Звісно, про це не кажуть продавці таких плит. Умовно кажучи, з такими плитами шанси отримати поранення в районі плити на 20% більше. Більшість таких поранень смертельні [1, 2].



Рис. 1.1. Результат влучання у неякісну керамічну бронепластину [7]

Зверніть увагу на дію заперешкодної травми (права частина на рис. 1.1). Зазвичай товщина плити близько 2 см. З неї видно, що заперешкодна деформація плити приблизно, шокуючи, 60-80 мм! За ДСТУ вона не повинна бути більше 26 мм [5].

Що означає така деформація? Уявіть, що ребра людини виламуються на глибину приблизно 40 мм й пробивають серце людини, печінку, легені, тощо. На жаль, так виглядає "ідеальний варіант", коли куля влучила в плиту.

Ось так виглядають дешеві, легкі, імпортні керамічні плити. Вважається, що стандартні, сертифіковані українські бронеплити з бронесталі 4 класу за ДСТУ, з піною з середини, антирикошетним покриттям,

набагато краще таких керамічних бронеплит-"вбивць"... У популярних українських бронеплит повнорозмірна площа захисту з пінкою до тіла та повністю відсутня заперешкодна дія тощо. Стан людини після влучання в таку кераміку із заперешкодною травмою глибиною 80 мм буде дуже важким [9].

1.3. Сталеві бронепластилини

Було також проаналізовано сталеві бронепластилини (рис. 1.2). Бронесталь – це високолегійований сплав на основі заліза з високим вмістом вуглецю. Він відрізняється від інших матеріалів тим, що при правильній обробці може витримати багато влучань без розстріскування. Проте бронепластили з бронесталі мають велику вагу. Наприклад, для того, щоб витримати влучання кулі БС-40, був потрібен шар бронесталі товщиною 13 мм, через що пластина важила більше 6 кг, що недопустимо в умовах сьогоденної війни [4].



Рис. 1.2. Бронепластили зі сталі ARMOX 600Т [7]

За результатами проведеного аналізу зроблені наступні висновки.

- Металокерамічна пластили має змогу зупинити кулю підвищеного бронепроникнення, проте має велику товщину шару, через що значно

ускладнює рух, та не може витримати більше одного влучання через високу хрупкість пластини.

- Пластина з бронесталі при достатній товщині може витримати понад 10 влучань, проте її вага буде перевищувати 6 кг, через що активний і швидкий рух у бронезилеті з такими бронеплитами неможливий.

1.4. Вимоги до бронепластини

Виходячи з наведеного вище, визначено наступні вимоги до бронеплити, відповідність яким підвищить рівень їх захисної властивості.

1. Мати порівняно невелику вагу.
2. Мати відносно невелику товщину при достатній захищеності, щоб не впливати на динаміку рухів та загальну маневреність людини.
3. Забезпечувати захист від декількох влучань, витримувати багаторазові влучання.
4. Витримувати влучання кулею БС-40 з гвинтівки СВД на дистанції 10 м.
5. Заброньова травма повинна бути менше ніж передбачена стандартом (25 мм).

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА БРОНЕПЛАСТИНИ

2.1. Вибір основного матеріалу бронепластини

Для початку потрібно визначити матеріал для твердого, металевого шару бронеплити. Для цього було зроблено порівняльний аналіз металевих шарів, для якого було вибрано три параметри.

1. Міцність на розрив. Металевий шар повинен затримувати кулю та не змінювати при цьому своїх властивостей.

2. Відносне подовження.

Як визначається відносне подовження при розтягуванні металу? Для визначення відносного подовження випробуваний зразок певної форми попередньо підготовлений згідно діючої нормативної документації, встановлюється в розривну машину і статично розтягується до його повного руйнування. Відносне подовження показує, яку частину від початкової довжини становить абсолютне подовження. За допомогою випробування визначається ступінь деформації, коли матеріал руйнується. Для дослідження використано результати незалежної лабораторії аналізу металів SendLab, яка розташована в місті Дніпро.

3. Маса на 700 см^3 . Розглянемо стандарт площі захисної поверхні бронеплити, який використовує НАТО – SAPI. У відповідності до SAPI площі захисної поверхні повинна дорівнювати 700 см^2 . Під час дослідження експериментальним шляхом визначено, що мінімально можлива товщина металевого шару становить 10 мм. Таким чином, ми отримуємо об'єм металевого шару 700 см^3 .

В результаті аналізу характеристик різних металів (Армох 600Т та Al_2O_3), що зараз використовуються у бронепластинах, та найбільш міцних марок титану ВТ-14 та ВТ-23 (табл. 2.1) було обрано сплав титану марки ВТ-23, який за параметрами найкраще дозволяє досягнути поставленої в роботі мети.

Таблиця 2.1

Порівняльна характеристика металів

Назва матеріалу	Міцність на розрив, МПа	Відносне подовження після розриву, %	Маса на 700 см^3 , кг
Армох 600Т	1600	9	5,481
Титан ВТ-14	1400	5	3,150
Al_2O_3	1500	<1	1,925
Титан ВТ-23	1600	6	3,185

Для виконання роботи та проведення експериментальних досліджень були придбані листи титану ВТ-23 (рис. 2.1), що потім були використані при виготовленні експериментального зразка бронепластини.



а

б

Рис. 2.1. Зразки придбаного титану ВТ-23 а – нарізані титанові пластини; б – бокова сторона плити без обробки (рисунок автора)

У розробці нового зразка бронеплити використовуються нові матеріали, нова конфігурація конструкції. Захист від бронебійно-запалювальних куль із зміцненим сердечником БС-40, твердість якої більше твердості бронепластики пропонується новим способом: після першого шару титану куля входить у келар, починає мінити траєкторію через різницю густини між металом і тканиною, а також велику в'язкість кевлару. Завдяки цьому можливо збільшити наведену товщину наступного шару титану на 10 - 20 % без збільшення маси самої бронепластики.

2.2. Кевлар

Кевлар (рис. 2.2 – 2.4) було обрано через його високу міцність при швидкій деформації (таку, яку забезпечує куля). Він має досить малу товщину одного шару, яка складає усього лише 0.2 мм, трохи більше ніж аркуш А4, і при цьому навіть один шар володіє міцністю на розрив у 2700 МПа. На дотик віддалено нагадує шовк.



Рис. 2.2. Кевларова тканина
(рисунок автора)



Рис. 2.3. Рулон кевларової тканини
(рисунок автора)



Рис. 2.4. Краї кевларової
тканини після відрізу
(рисунок автора)

Чи можна використовувати тільки келар? Ні, не можна робити бронепластину лише з нього, через його здатність до видовження, через що влучання матиме величезну заброньову травму, саме для захисту від неї і було використано титан.

2.3. Конфігурація шарів у бронеплиті

Конструкція запропонованої бронеплити передбачає такі елементи.

1. Перший шар обов'язково має бути протиоскольчастим для того, щоб утримувати осколки кулі із нетермозміцненим осердям.
2. Другий шар повинен деформувати кулю, затупити її гостру частину та збільшити площу контакту кулі з наступним шаром.
3. Склад наступного шару – це 8 мм кевларової тканини, складеної у 40 разів. Кевларова тканина через хаотичний характер деформації кулі у

другому шарі достатньо уповільнює та змінює геометрію шляху кулі завдяки різниці щільностей металевого та тканинного шару.

4. Завдяки цьому у четвертий металевий шар куля увійде не під прямим кутом. Таким чином, збільшується товщина наведеної броні і куля остаточно у ньому зупиняється.

5. Останній шар кевлару утримує осколки металевого шару, які може вибити куля зі зворотньої сторони.

Шари скріплюються між собою поліуритановим полімерним клеєм на основі простих ефірів. Полімерний клей вибраний за таких параметрів: великий коефіцієнт розтягування, висока міцність на розрив.

Таким чином, запропонована бронепластина складається з двох основних компонентів – титану ВТ-23 та шарів кевлару. Визначимо вартість отриманої пластини для розміру (табл. 2.2), що відповідає стандарту SAPI – 700см². Отримана вартість співставна з ціною керамічної пластини.

Таблиця 2.2

Собівартість матеріалів, які було витрачено на виробництво однієї бронепластини

Назва матеріалу	Кількість	Ціна, грн
Кевлар	3.5 м ²	4200
Титан ВТ-23	3.185 кг	3185
Клей	250 мл	150
Разом	7535 грн	

Отже, отриманий зразок відрізняється від існуючих використанням нових матеріалів, їхньої конфігурації в конструкції. Захист від бронебійно-запалювальної кулі зі зміцненим сердечником БС-40, твердість якої більша

твердості бронепластини. Було виконано завдання зупинити кулю новим способом: після першого шару титану куля входить у келар, починає міняти траєкторію свого польоту через різницю густини між металом і тканиною.

Проте через непопулярність та собівартість виготовлення металевого титану марки ВТ-23, потрібно проаналізувати та з'ясувати можливість виготовлення титану цієї марки у промислових масштабах для того, щоб забезпечити нашу армію якісними бронепластинами (Додаток А).

2.4. Порівняння розробленої бронепластини з аналогами

Для порівняння розробленої бронепластини з відомими аналогами було використано зазначені вище параметри (п. 1.4). Результати порівняння зведені до табл. 2.3. Результати для запропонованої бронепластини отримані шляхом експериментальних досліджень на військовому полігоні. Розроблена бронепластина виступала у якості мішені для кулі БС-40.

Таблиця 2.3

Порівняння розробленої бронепластини з аналогами

Тип бронепластини	Товщина	Заброньова травма	Маса (за умови зупинки кулі БС-40)	Кількість влучань до пробиття	Ціна, грн
Металокераміка	30мм	25-30мм	4.4 кг	2	13000-15000
Бронесталь	20мм	20-25мм	6.2 кг	8	6000-7000
Комбінація кевлару та титану ВТ-23	20мм	10-15мм	3.5 кг	8	10000

Ця таблиця надає нам повне розуміння та наглядні докази того, що розроблений зразок є кращим за його аналоги.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР РЕЖИМУ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ТИТАНУ

Для визначення найкращої температури для загартування титану ВТ-23 слід дослідити динаміку стану систем алюміній-титан, титан-ванадій. Зокрема табл. 3.1 показує хімічний склад сплаву ВТ-23. Основними домішками у цьому сплаві є алюміній і ванадій, тому для того, щоб визначити температурний режим гартування потрібно проаналізувати діаграми стану систем алюміній-титан та ванадій-титан.

Таблиця 3.1

Хімічний склад титану ВТ-23 (у %)[13]

Fe	C	Si	Cr	Mo	V	N	Ti	Al	Zr	O	H
0.4 - 1	до 0.1	до 0.15	0.8 - 1.4	1.5 - 2.5	4 - 5	до 0.05	84.1 - 89.3	4 - 6.3	до 0.3	до 0.15	до 0.015

Аналіз діаграм, наведених на рис. 3.1 та 3.2 показав, що найкраще для загартування титану ВТ-23 підходить термічний діапазон близько 850 °С.

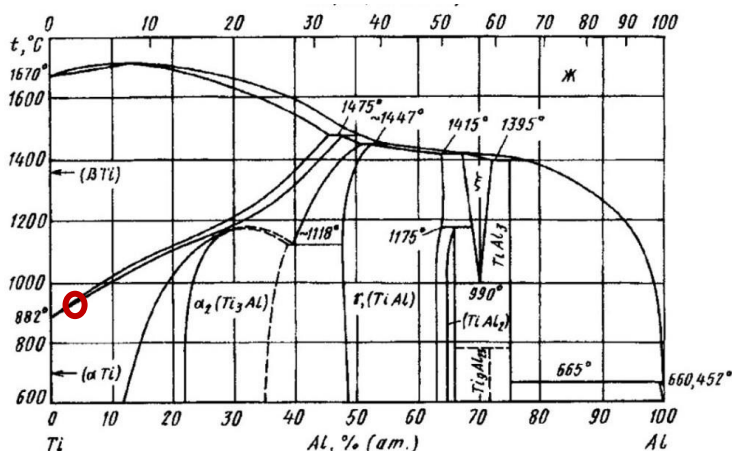


Рис. 3.1. Діаграма стану системи алюміній титан [12]

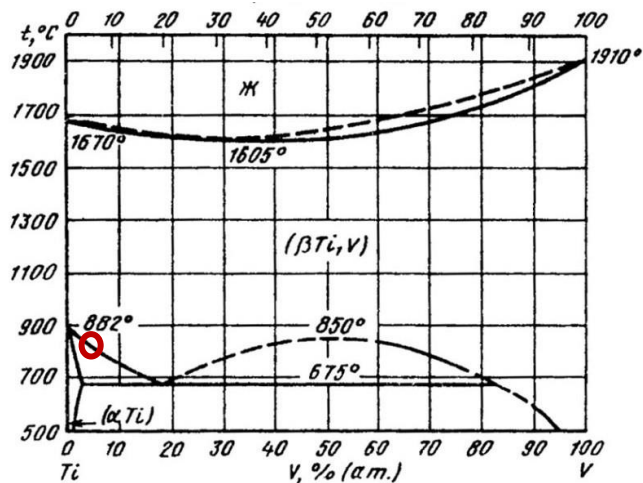


Рис. 3.2. Діаграма стану системи титан ванадій [12]

Спочатку титан кладуть у спеціальну піч та плавно (впродовж десяти годин) підіймають температуру до 850°C . Потім ще одну годину тримають за цієї температури та перекладають виріб у машинне масло для швидкого охолодження.

Для отримання найкращого результату міцності після загартування, потрібно зробити старіння металу [14].

За допомогою ТОВ "МАШСЕРВІС" Україна, Дніпропетровська обл., місто Кривий Ріг було здійснено загартування та старіння титану, а випробування довели, що отримана міцність відповідає встановленим вимогам.

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БРОНЕПЛАСТИН ДАНОГО ТИПУ НА ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ

Наша бронепластина призначена для використання у засобах індивідуального захисту – бронезилетах. Проте в процесі дослідження виникло питання можливості використання бронепластин розробленого типу для захисту екіпажу та пасажирів транспортних засобів. На даний час європейськими стандартами регламентується клас захисту броні, встановленої на транспортних засобах – це VPAM10. Для з'ясування можливості використання бронепластин даного типу розглянемо аналоги, що використовуються для цього.

Основним матеріалом бронепластини, яка встановлена на машині «Козак» є сталь. Основним матеріалом бронепластини, яка встановлена на машинах M2 Bradley є алюміній.

У розділі 2 було наведено результати експериментальних досліджень запропонованої бронепластини. Додатково, на полігоні були проведені дослідження, в ході яких доведено, що товщина пластини запропонованої броні повинна складати 25 мм для того, щоб відповідати стандарту VPAM10 (табл. 2.3).

Розрахуємо масу квадратного метра відповідних листів броні за формулою:

$$m=V \times \rho, \quad (4.1)$$

де m – маса листа;

V – об'єм листа;

ρ – щільність матеріалу листа бронепластини.

Відповідно до стандарту VРАМ10 мінімально допустима товщина сталеві пластини 18 мм (використовується в машинах «Козак»), товщина алюмінієвої пластини 43 мм (використовується в машинах M2 Bradley).

Вартість Arмох 600Т, гарячекатаної балістичної сталі виробництва компанії SSAB, що характеризується надвисокою твердістю, 30000 грн/м².

Вартість В96, алюмінієвого листа, 50000 грн/м². Проаналізуємо характеристики різних типів бронювання транспортних засобів за вибраними параметрами (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Порівняльна характеристика різних типів бронювання транспортних засобів

	Сталева броня	Алюмінієва броня	Розроблена броня на основі титану та кевлару
Клас захисту	VРАМ10	VРАМ10	VРАМ10
Товщина, мм	18	43	25
Маса 1 м ² , кг	142	116	60
Ціна 1 м ² , грн	30 000	50 000	100 000

Більш наочно результати порівняння рис. 4.2, де одночасно показані переваги та недоліки кожної з типів броні.

Аналіз табл. 4.1 та рис. 4.1 дозволяє зробити висновок, що розроблений тип броні при однаковому класі захисту має порівняно більшу вартість, але значно меншу масу.

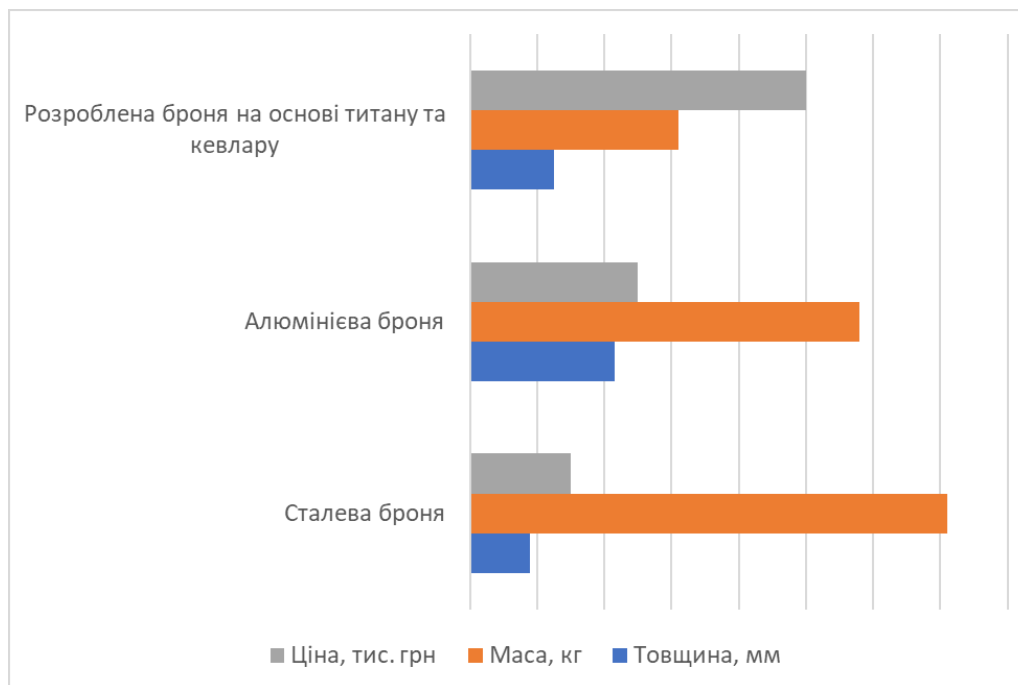


Рис 4.1. Порівняння різних типів бронювання транспортних засобів
(рисунок автора)

Зменшення маси дає наступні переваги:

- можливість підвищити маневреність та максимальну швидкість машини,
- можливість поставити двигун меншої потужності, як спосіб зниження витрати палива; знизити навантаження на ходову частину, двигун та коробку, збільшити корисне навантаження.

Який з показників є найбільш вагомим залежить від типу машини, її призначення та повинен визначатися виробником. На нашу думку, запропонована бронепластина має великий потенціал й при встановленні на транспортних засобів, адже життя людини є найважливішою цінністю.

ВИСНОВКИ

Розроблена бронепластина відрізняється від існуючих використанням нових матеріалів, конфігурацією шарів в конструкції та рівнем захисту.

На підставі аналізу сучасних засобів індивідуального захисту були сформульовані вимоги, які визначено для підвищення рівня захисної властивості бронеплити.

За допомогою ТОВ "МАШСЕРВІС" Україна, Дніпропетровська обл., місто Кривий Ріг, було здійснено загартування та старіння титану. Таким чином отримали найвищу міцність, що дорівнює 1600 МПа.

Проведені експериментальні дослідження, які довели, що запропонована бронепластина, на відміну від розглянутих аналогів, забезпечує ефективний захист від бронебійно-запалювальних куль із зміцненим сердечником БС-40, твердість яких більша твердості бронепластини.

Встановлено, що розроблений тип броні має потенціал при використанні не лише у бронезилетах, але й на транспортних засобах, так як він має значно меншу масу 1м^2 – у 1,9 разів у порівнянні з алюмінієвою бронєю та у 2,3 рази – у порівнянні зі сталевією. Зменшення дозволить підвищити маневреність та максимальну швидкість машини, або використати менш потужний двигун. Однак, вартість встановлення запропонованої броні буде у 2 та 3 рази вище, ніж алюмінієвої та сталевієї відповідно.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Каліулін М.Р. Основні напрямки розвитку засобів індивідуального бронезахисту/М.Р. Каліулін // Спецзасоби індивідуального бронезахисту: зб. Тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції НВО «Спеціальна техніка та зв'язь». 24 квітня 2013 - М., 2013. - С. 10.

2. Сильник М.В. Засоби індивідуального бронезахисту/М.В. Сильников, В.А. Хімічів. - М.: Вид-во Фонд "Університет", 2000. - 478 с.

3. Нові тенденції у сфері засобів індивідуального захисту піхотинця [Електронний ресурс] – Режим доступу:http://www.defens-update.com/features/du-207/infantry_armor_cooling.htm. – 20.06.2017 нар. - Загл. екран.

4. Кулаков І.В. Не перетворюйте піхотинця на танк /І.В. Кулаков// Незалежний військовий огляд. - 2000. -№17. - С. 20-23.

5. Рекомендації щодо вибору бронепліт [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://bronezhilet.com.ua/rekomendacii_broneplastiny. – 25.06.2017 нар. - Загл. з екрану.

6. Болотов М. Г. и др. Перспективи підвищення рівня протикульного захисту бронезилетів як військового, так і цивільного призначення //UKRAINE–EU. MODERN TECHNOLOGY, BUSINESS AND LAW. – 2015. – С. 46.

7. Манжура С. А. Вибір матеріалів бронепластин для індивідуальних засобів бронезахисту сил охорони правопорядку // Системи озброєння і військова техніка. – 2017. – №. 2. – С. 89-93.

9. Юхименко А. В. Узагальнення експертної практики з оцінки кремів видів військового майна–бронезилетів //Криміналістика і судова експертиза. – 2019. – №. 64. – С. 772-783.

10. Боброва С. Ю., Галавська Л. Є. Використання трикотажних полотен підвищеної міцності в засобах індивідуального захисту військовослужбовця //Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки. – ДНУ УкрІНТЕІ, 2017.

11. Колодченко П. М. Вибір матеріалу та технології отримання композитної пластини для легкого бронезахисту. – 2020.

12. Белоконь, Ю. О. "Термодинамічний аналіз протікання свс-реакцій у системі титан-алюміній." *Металургія 2* (2016): 66-71.

13. Електронні джерела:

<http://surl.li/riflz>

14. Електронні джерела:

<http://surl.li/rifml>

ДОДАТОК А

ОТРИМАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ МЕТАЛЕВОГО ТИТАНУ В ПРОМИСЛОВИХ МАСШТАБАХ

1. Розвиток титанової промисловості за кордоном

З розвитком титанової промисловості Китаю і істотним підвищенням рівня обладнання можна спрогнозувати, що застосування титанових матеріалів у військовій промисловості в цьому році складе 20% від загального обсягу вітчизняного виробництва, а все більше титану буде заміщати традиційні метали і відігравати більш важливу роль в національній оборонній промисловості. Перспектива титанової промисловості в найближчі п'ять років все ще знаходиться в періоді стрімкого зростання, а її застосування яскраве. Титан – це легкий і міцний метал, сплави з якого досить часто використовуються в багатьох сферах діяльності людини.

2. Використання титану

Практичні властивості титану ще не досконало вивчені фахівцями і тому по частоті використання він поступається іншим металам. Також в прямій конкуренції титан програє через більш високу вартість і дефіцитність, але при цьому йому притаманні унікальні властивості (наприклад, висока корозійна стійкість), які дозволили посісти гідне місце в більшості сфер машинобудування, промисловості та конструюванні побутових приладів. Найчастіше титан використовують для будівництва наступних об'єктів.

- Обладнання зі сплавів титану

Стандартне і нестандартне обладнання, яке випускають машинобудівні комбінати, в своїй більшості використовує апаратуру, що повинна безперебійно працювати в умовах агресивного середовища, а також бути стійкою до корозійних пошкоджень. Саме тут знаходять своє застосування титанові сплави. З них виробляється запірні і перекачувальні апаратура, різноманітні ємності, фільтри та автоклави.

- Теплообмінна апаратура

Тут сплави з титану часто використовують для нагріву, охолодження, випаровування і конденсації. Завдяки їм створюється можливість зберегти мінімальну товщину стінок деталей і при цьому захистити апарат від пошкодження корозією. Великим плюсом в цих умовах є властивість титану практично не піддаватися змочуванню та утворенню осадків.

- Нестандартне титанове обладнання

Деякі промислові підприємства вже досить давно налагодили виробництво титанового обладнання для вирішення індивідуальних вузькопрофільних завдань. З титану і титанових сплавів роблять насоси, електрофільтри, реактори, технологічне обладнання та багато інших елементів.

Щодо енергетики, то тут багато обертових деталей виготовляються саме з титану. Такий вибір металу не випадковий і зумовлений економічною вигодою. Все тому, що титан характеризується високою питомою міцністю і без нього просто не обійтися у виробництві деталей на зразок лопаток для парових турбін. Історично склалося так, що виробництво титану було дорогим, трудомістким, енергоємним та вуглецемістким. Основною сировиною для традиційного виробництва титанових виробів була і залишається титанова губка. Сучасним процесом створення титанової губки є процес Кролла, розроблений в 1940 році, який використовує вуглець і хлор

для перетворення діоксиду титану в тетрахлорид титану, який потім відновлюється до розплавленого магнію і проходить кілька етапів плавлення для створення титанової губки. Промислові підприємства, які використовують процес Кролла, також досить громіздкі, дорогі, трудомісткі і екологічно шкідливі.

3. Сировинна база

Понад 70 років наша країна була сировинною базою для радянського титанового виробництва. Розробка Малишевського родовища титано-цирконієвих руд і Іршанських розсипів ільменіту дозволила забезпечити майже 100% потреб титанових заводів в Пермській (Авісма), Східно-Казахстанській областях (УТМК), а також єдиному в УРСР Запорізькому титано-магнієвому комбінаті (ЗТМК).

Після розвалу СРСР і розпаду радянської економіки основні виробники титанової продукції стали самостійно шукати шляхи виходу з економічної кризи і власне місце на світових ринках. Завдяки величезним зусиллям керівництва і місцевої влади ЗТМК дивом вдалося уникнути колапсу і відновити виробництво титанової губки, поступово довівши її до цифри в 12 тисяч тонн до 1998 року.

Маючи власну сировинну базу, наша країна могла б давно самостійно розробити і побудувати весь технологічний ланцюжок виробництва титанового металу, від руди до готових виробів з чистого титану і його сплавів з урахуванням потужностей Запорізького титано-магнієвого комбінату – найстарішого підприємства СРСР з виробництва титанової губки. Однак цього так і не сталося.

4. Розвиток металургії титану в Україні

На початку 2000-х років, завдяки наполегливості вищого технічного персоналу ЗТМК і передовим розробкам українських вчених з Інституту Титана, для України несподівано відкрилося «вікно можливостей», щоб стати одним з найбільших світових виробників титанової продукції. Була розроблена, а потім впроваджена принципово нова технологія виробництва гідрированого титану, яка відкрила шлях до одного з найперспективніших напрямків в обробці металів – порошкової металургії. Отриманий гідрид титану відмінно подрібнювався в порошок потрібного складу, пресувався в форми заданого розміру і профілю, а при подальшому випалюванні без доступу кисню відмінно спекався в готові вироби, безболісно видаляючи сильно летючий водень. Таким чином, готові деталі отримували з чистого титану необхідних розмірів і січення, минаючи стандартні технологічні етапи – плавлення злитків, кування і прокатку металу. Крім того, новий технологічний процес позбув виробництво від накопичення брукхту, який формувався на кожному етапі переробки, значно знизивши вихід кондиційного продукту.

ЗТМК спільно з американською компанією Adma products Inc провели ряд успішних випробувань з порошком гідриду титану, з якого були виготовлені стандартні вироби для такого потенційного споживача продукції, як американський Boeing.

Експериментальна партія деталей з титанового порошку запорізького виробництва успішно пройшла сертифікацію, було підтверджено відповідність усім необхідним стандартам. Провідна американська аерокосмічна корпорація в 2009 році виявила великий інтерес до налагодження регулярних поставок української титанової продукції і була

готова щорічно закуповувати близько 15 тисяч тонн гідриду безпосередньо у ЗТМК.

Більш того, компанія Adma products Inc на прохання компанії Boeing взяла на себе зобов'язання надати дані про основні технічні характеристики печей і ізостатичних пресів для відтворення всього технологічного процесу на потужностях ЗТМК. Таким чином, було замкнено коло виробництва запасних частин і деталей з чистого титану в межах України на потужностях ОДХК і ЗТМК. Однак в 2010 році комбінат не запустив повноцінне нове виробництво і не підписав перспективний довгостроковий контракт з Boeing.

Це був наш реальний шанс стати однією з небагатьох країн, які мають власний замкнутий цикл виробництва титанового металу з використанням найсучасніших і економічних на той час технологій. Ні США, ні Японія, ні навіть Китай не володіли ані такими технологіями, ані власними покладами високо титаністичного ільменіту. На той момент це був би колосальний технологічний прорив, що дозволив би українському підприємству увійти в когорту світових виробників титанової продукції, використовуючи набагато більш досконалу і економічно ефективну технологію виробництва, ніж у конкурентів. На думку експертів, самостійний вихід на ринок з цією новою технологією дозволив ЗТМК протягом наступних кількох років «вибити» ВСМПО - Авісма, з їх уже застарілим на той час виробництвом титанової губки, з топових позицій на світовому ринку і поставити хрест на 20-річному періоді залежності від росіян. Однак саме це фатально і визначило подальшу долю як ЗТМК, так і титанової галузі України на найближче десятиліття.

Рішенням Президента України В. Януковича і Прем'єр-міністра України М. Азарова у власність передано ЗТМК, а найбільші Вольногірський і Іршанський ГЗК – в управління структурам Д. Фірташа. Вікно можливостей зачинилося, ринкового прориву не сталося, сировинна орієнтація була

зафіксована, а виробництво ЗТМК відкотилося назад до виробництва титанової губки для потреб російського ВСМПО-Авісма. Вектор розвитку всієї галузі був визначений і зафіксований безальтернативним акцентом на інтересах рф. Здивуванню американських партнерів, які разом із ЗТМК витратили роки та мільйони коштів на проведення досліджень, випробувань та експертиз, а потім не могли отримати зрозумілих відповідей на питання щодо подальших планів – не було меж.

У банальну недалекоглядність українських чиновників і спонтанний саботаж віриться важко, так само, як і у відсутність «руки Москви» в цьому невдалому технологічному прориві.



Рис 1. Запорізький титано-магнієвий комбінат[5]

Через десятиліття, після низки судових суперечок, у 2021 році держава повернула ЗТМК назад у власність, але отримала зовсім інший актив за своїм потенціалом: виробництво гідриду титану було повністю зупинено ще у 2012

році, і цього цеху більше не існує; виробництво діоксиду германію зупинено з 2014 року; обсяг виробництва титанової губки впав більш ніж удвічі; обсяг виробництва титанового шлаку – утричі. Експерти вагаються з оцінкою приватизаційного потенціалу комбінату в його нинішньому жалюгідному стані і вважають, що за існуючою інерцією підприємство може сяк-так проіснувати ще 3-5 років, після чого змушене буде закритися.

Прогноз інерційного розвитку української титанової промисловості також не втішний. Йдеться не стільки про високу зношеність виробництва, низьку якість державного управління, корупцію, відсутність державних інвестицій та деструктивний вплив проросійського лобі. При нинішньому рівні передових технологій виробництва через 5-10 років буде вигідно розробляти будь-які родовища в будь-якій точці світу, навіть ті, які раніше не представляли ніякого комерційного інтересу. Тобто унікальні переваги вітчизняної сировинної бази і її вигідне географічне положення будуть помітно «з'їдені» технологічною інфляцією і розвитком периферійних ресурсів.

Якщо ж говорити про «красу та гордість» російської титанової промисловості – ВСМПО-Авісма, то її критична залежність від зовнішнього ринку (головним чином від контрактів з Boeing та Airbus) давно застарілі технології (титанова губка в сучасній титановій індустрії вже вважається атавізмом), а тепер ще й санкції щодо імпорту сучасних промислових технологій та обладнання – роблять надалі її майбутнє вельми незавидним, вже у середньостроковому горизонті.

Але на відміну від нинішніх російських титанових виробництв, які без передових західних технологій та інвестицій згодом деградують і перетворюються на «музей радянського народного господарства» просто неба, у нас є реальний шанс і перспектива!

5. Нова технологія отримання металевого титану

Річ у тім, що США, Японія, Австралія та Корея в останні роки почали активно розробляти альтернативу існуючому енергоємному та витратному методу виробництва титану, придуманому ще бельгійським ученим Кролом на початку минулого століття. Йдеться про запатентований декількома компаніями, включаючи і українську приватну титанову компанію «Велта», технологічний процес, який передбачає кілька етапів переділу ільменітової руди.

Спочатку створюється синтетичний рутил з високим вмістом TiO_2 , але без використання вугілля як відновник. Американська компанія Universal Achimetal Titanium у своїх недавніх дослідженнях підтвердила, що викид CO_2 в атмосферу при використанні нової технології становив близько 55 кг на 1 тону виробленого металу, тоді як традиційний Kroll -процес викидає в атмосферу близько 10 тон з кожної тони металевого титану, що виробляється.

Далі подрібнений синтетичний рутил змішується з фторидом кальцію (плавиковий шпат) та металевим алюмінієм з наступним займанням суміші. У ході піротехнічної реакції температура печі мимовільно підвищується і досягає необхідної величини для відновлення діоксиду титану в металевий титан. Шлак, що складається в основному з оксиду алюмінію та фториду кальцію, легко відокремлюється від затверділого титанового сплаву, який містить домішки кисню та алюмінію.

Потім унікальний процес електрорафінування розчиняє титан зі сплаву електроліті, після чого він знову з'являється у вигляді твердого відкладення дендритної форми на катоді.

Остаточне промивання водою або процес вакуумної сепарації дає металевий титан з низьким вмістом домішок, еквівалентний існуючому чистому титану.

Оскільки цей процес передбачає використання вуглецевого відновника в якості вихідного матеріалу, викиди вуглекислого газу практично прагнуть до нуля. За оцінками фахівців, споживання електроенергії знижується на 70-80% порівняно зі стандартним виробництвом титану!

Ще однією інноваційною технологією виробництва титану є розробка Boston Electrometallurgical Corporation, в якій використовується одностадійний процес електролізу розплавленого оксиду титану. Оксид титану розчиняють у електрохімічному розплаві, звідки він безпосередньо та ефективно витягується у вигляді рідкого металевого титану. Цей процес успішно замінює багатоетапний процес Кролла одностадійним процесом, що нагадує сучасні технології виробництва алюмінію. Серед переваг технології – відсутність шкідливих викидів CO₂ та значне зниження виробничих витрат на кожен тону виробленої продукції.

Вартість титану за цією технологією буде порівнянна з нержавіючої сталлю, а з урахуванням того, що коефіцієнт тепловіддачі нержавіючої сталі і титану знаходиться в одному діапазоні, але титан набагато стійкіше до агресивних середовищ і набагато легший нержавіючої сталі.

Австралійська компанія ASM зараз працює над масштабуванням і комерціалізацією технології магнезіотермічного відновлення за допомогою водню. Вона є термохімічним процесом, при якому оксиди титану піддаються впливу газоподібного водню для створення металевого титану. Такий підхід дозволяє значно знизити викиди вуглецю, скасувати низку трудомістких та ресурсозатратних процесів, а також відчутно скоротити загальне енергоспоживання у процесі виробництва.

Наступна стадія технологічного переділу – грануляція, спікання та деоксигенація, в результаті яких виходять демократичні за ціною та різноманітні за своїми властивостями сферичні порошки титану.

На сьогоднішній день ASM виробили вже близько 20,8 кг металевого титану високої чистоти – 99,83%, за витрат енергії на рівні 30% від традиційної технології Kroll. Мета компанії – створити інноваційні продукти та рішення, які допоможуть впровадити для широкого використання технології промислового 3D-друку з недорогих титанових порошоків. Ця революційна технологія дозволить розширити використання титану на ринках традиційних матеріалів та створити абсолютно нові масові продукти, для яких вирішальне значення має співвідношення високої міцності до невеликої ваги – електромобілі, літаки, побутова електроніка та ін.

Так, серед останніх інновацій – розробка американської компанії IperionX, яка дозволяє виробляти порошки з чистого Ti та Ti-сплавів для подальшого використання у технології 3D принтингу. Більш того, IperionX отримала вже перше замовлення на постачання титанових корпусів для годинників Panerai з використанням таких низьковуглецевих 100% перероблених титанових порошоків.

Комерційна цінність, стійкість, якість та виробничі можливості цієї технології будуть перенесені на багато інших вертикалей ринку титану, такі як автомобілебудування, побутова електроніка, медичні імпланти, аерокосмічна промисловість та оборонний сектор.

Наведені приклади альтернативного виробництва металевого титану не вичерпують весь спектр сучасних технологій і є лише невеликою ілюстрацією майбутнього титанової індустрії. Недорогий титан з низьким вмістом вуглецю може стати основним промисловим металом 21 століття і

докорінно змінить уявлення про роботу багатьох галузей сучасної промисловості.

Це майбутнє набагато ближче, ніж багатьом може здатися. У даний час американські компанії вже активно укладають договори на постачання виробів із порошку титану, надрукованих завдяки технології 3D-принтіngu, і дуже скоро цей процес набуде масового характеру.

Щодо головного мажор-а галузі – ОДХК та його «місії» у цьому процесі; то держкомпанія цілком могла б запровадити нові технології, створити нові виробництва та виконати завдання щодо створення замкнутого циклу виробництва металевого титану, як залишаючись у власності держави, так і будучи приватизованою.

У першому випадку для розвитку могли б бути використані допомога з боку держави та реінвестований власний прибуток. За такого підходу за кілька років цілком реально створити завод із прямого відновлення титанового порошку, який завершить цикл виробництва металевого титану в Україні. Залишаючись у власності держави, такий серйозний актив на базі ОДХК міг би увійти до портфелю Суверенного фонду, з ідеєю якого нещодавно виступив новий керівник ФДМ Рустем Умеров.



Рис. 2. Іршанське рудовище титанових руд [5]

На даний момент часу приватний завод «БІБУС» готовий виготовити в найкоротші строки від 3 тон продукції з титану марки ВТ-23.

Отже, попри складнощі та війну, титанова галузь металургії України розвивається. Було розроблено новий спосіб отримання металевого титану, завдяки якому собівартість чистого титану стала майже така сама, як і у нержавіючої сталі. В наслідок цього знизилась ціна і на сплави на основі титану. Цей величезний прорив відкриває нові можливості його використання в оборонній, медичній, авіа- та ракетно-космічній та інших галузях, пов'язаних з металургією.

Україна має величезний потенціал стати найпрогресивнішою країною завдяки титану, адже у нас найголовніші складові для цього.

1. Рудовища багаті на титанову руду.
2. Технології виробництва з цієї руди металевого титану.
3. Потужні заводи, що здатні виготовляти будь яку продукцію з титану та сплавів на його основі.
4. Товари та вироби, що дійсно потрібні.