

УДК 621.315.223

В.А. Анискович<sup>1</sup>, А.Ф. Ермоленко<sup>1</sup>, А.А. Кульков<sup>1</sup>**КОМПЛЕКСНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД  
К СОЗДАНИЮ ЛЕГКОЙ ПОЛИМЕРКЕРАМИЧЕСКОЙ БРОНИ**

DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-4-45-54

*Представлены исследования по разработке комбинированной брони. Разработан технологический принцип изготовления комбинированной брони с керамическим лицевым слоем. Определены значительные преимущества использования многослойных материалов на основе высокоориентированных нитей по сравнению с композитами на основе традиционно применяемых тканей. Созданная математическая модель проникания жестких сердечников бронебойных пуль в полимеркерамическую броню дает возможность прогнозировать состав и структуру брони без проведения дорогостоящих огнестрельных испытаний.*

**Ключевые слова:** полимеркерамическая броня, высокоориентированные нити, полиуретановое реактопластичное связующее.

V.A. Aniskovich<sup>1</sup>, A.F. Yermolenko<sup>1</sup>, A.A. Kulkov<sup>1</sup>**COMPLEX SCIENTIFIC-TECHNOLOGICAL APPROACH  
TO DEVELOPING LIGHT POLYMERKERAMIC ARMOR**

*This paper presents researches on development of the combined armor. The technological principle of producing the combined armor with a ceramic facing layer has been developed. Considerable advantages of using multi-layered materials based on high-oriented yarns in compared with composites on the basis of traditionally used fabrics have been determined. The developed mathematical model of depositing hard cores of armor-piercing bullets into the polymerceramic armor gives a possibility to forecast a composition and a structure of the armor without conducting high-cost firing tests.*

**Keywords:** polymerceramic armor, high-oriented yarns, polyurethane thermosetting-plastic binder.

<sup>1</sup>Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения» [Joint Stock Company «Central Research Institute for Special Machinery»]; e-mail: tsniism@tsniism.ru

Появление новых типов эффективных бронебойных боеприпасов выдвинуло перед разработчиками легкобронированной и небронированной техники актуальную задачу – повышение ее защищенности, а также защищенности людей, находящихся в ней. Бронева защита как в военной области, так и в гражданской отрасли развивается в направлении получения и использования материалов с высокими защитными свойствами и более низкой, чем у традиционно используемой металлической брони, плотностью [1, 2].

Перспективным путем решения проблемы повышения стойкости и снижения массы броневой защиты, наряду с традиционными методами, стала разработка комбинированной брони с керамическим лицевым слоем и подложкой из композита или металла, обладающей повышенной стойкостью к действию бронебойных пуль. Такая структура брони позволяет в 2–3 раза снизить массу изделия из нее по сравнению с массой изделия из равностойкой стальной брони высокой твердости [3, 4].

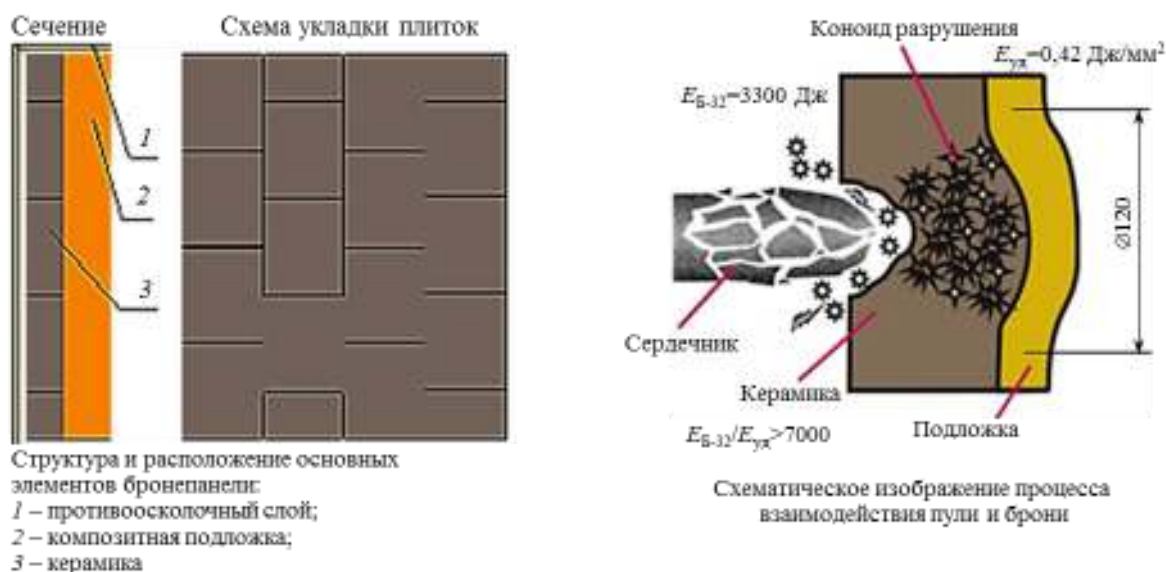
Исходя из анализа мировых тенденций в области создания высокоэффективной комбинированной брони на основе неметаллических материалов, необходимо создать новую облегченную комбинированную броню, состоящую из керами-

ческой основы, арамидной подложки с заданной ориентацией армирующих нитей и полимерной матрицы с низкой температурой отверждения.

Строение комбинированной брони и принцип ее работы по разрушению пуль стрелкового оружия с термоупрочненным сердечником представлены на рис. 1. Видно, что керамика является жертвенным слоем, который, разрушаясь сам, разрушает термоупрочненный сердечник, а подложка улавливает фрагменты разрушенной керамики и поражающего элемента [5, 6].

Для изготовления новой керамики был определен технологический принцип изготовления – реакционное спекание. Такой способ получения керамики является единственным воспроизводимым в серийном производстве при минимальных температурах термообработки и, как следствие, имеющий минимальную себестоимость продукции [7]. При разработке технологии руководствовались опытом и технологией изготовления серийно выпускаемой бронеплитки на основе карбида кремния, которая включала следующие этапы [8]:

– формирование шихты из зерен карбидов кремния и бора, смеси бакелитового лака с изопропиловым спиртом; выбраны пропорции по крупной, средней и



Непробитие бронезлемента с экраном из керамической плитки после воздействия пули типа Б-32, выпущенной из винтовки СВД



Фрагмент сердечника пули Б-32 после ее взаимодействия с керамической преградой

Рис. 1. Строение комбинированной брони и принцип ее работы

мелкой фракциям порошков, которые позволили получить заготовку с плотностью 1,7 г/см<sup>3</sup> при содержании связующего 12% от их массы;  
 – прессование заготовок под давлением 55–70 МПа при температуре 18–25°С с выдержкой 1–2 мин с последующей полимеризацией при термообработке (плотность заготовки – не менее 1,7 г/см<sup>3</sup>);  
 – загрузка заготовок в печь с добавлением в избытке кускового технического кремния высокой чистоты;  
 – реакционное спекание.

В табл. 1 приведены характеристики разработанной керамики по сравнению с обобщенными характеристиками серийно выпускаемых броневых керамик различных производителей [8]. Параметры

материала определяли в соответствии с принятыми методиками и государственными стандартами.

Видно, что новая разработанная керамика по основным показателям не уступает соответствующим характеристикам оксида алюминия и карбида кремния, а по некоторым – даже превосходит их [9].

Для ранжирования армирующих наполнителей по способности к энергопоглощению фрагментов разрушенной керамики разработан оригинальный метод продавливания композитной подложки шаром\*. Диаметр шара выбирали из условия:  $d_0 > d_{ш} + h_{пл}$ , где  $d_0$  – внутренний диаметр обоймы, в которой крепится композитная подложка;  $d_{ш}$  – диаметр шара;  $h_{пл}$  – толщина композитной подложки. Нагружение проводили со скоростью 10 мм/мин [10].

\* Исследования проводились совместно с А.Б. Синани (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе).

Таблица 1

Физико-механические характеристики броневых керамик

Материал	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Твердость, ГПа	Предел прочности при изгибе, МПа	Вязкость разрушения, МПа√м	Модуль упругости, ГПа	Критерий Стиглица, (ГПа <sup>2</sup> ·м <sup>3</sup> )/кг
Оксид алюминия (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3,9	12÷16	250÷350	2,5÷3,4	200÷300	0,6÷1,2
Реакционноспеченный карбид кремния (SiC)	3,1	18÷20	260÷320	2,2÷3,5	360÷380	2,1÷2,5
Карбид бора (B <sub>4</sub> C)	2,5	28÷34	320÷400	3,3	360÷400	4,0÷5,4
Разработанная карбидная керамика	2,7	25÷28	280÷380	2,0÷2,5	380÷400	3,5÷4,1

Данный метод позволяет значительно снизить продолжительность испытаний и их стоимость по сравнению с проведением полномасштабных огнестрельных испытаний различных вариантов полимеркерамической брони. На рис. 2 представлены диаграммы деформирования различных композитных образцов, сгруппированных по значениям их толщины.

Анализ результатов проведенных испытаний показал, что наилучшие показатели по энергопоглощению продемонстрировали образцы 4, 5 и 8, в которых в качестве армирующего материала использованы однонаправленные арамидные и по-

лиэтиленовые структуры, а также их комбинации с укладкой слоев под углами [0°/90°] [11]. В этих образцах отсутствуют искривления нитей в местах переплетения, что имеет место в тканях, у которых в этих зонах инициируется разрушение материала при поперечном нагружении, в результате чего исходная прочность нитей снижается до 20% [12].

Исследования по разработке структуры однонаправленных материалов проведены на модельных образцах. В качестве исходного взят зарубежный материал LFT на основе арамидных нитей Тварон с линейной плотностью 93 текс, который представляет собой систему высокоориентированных кордных

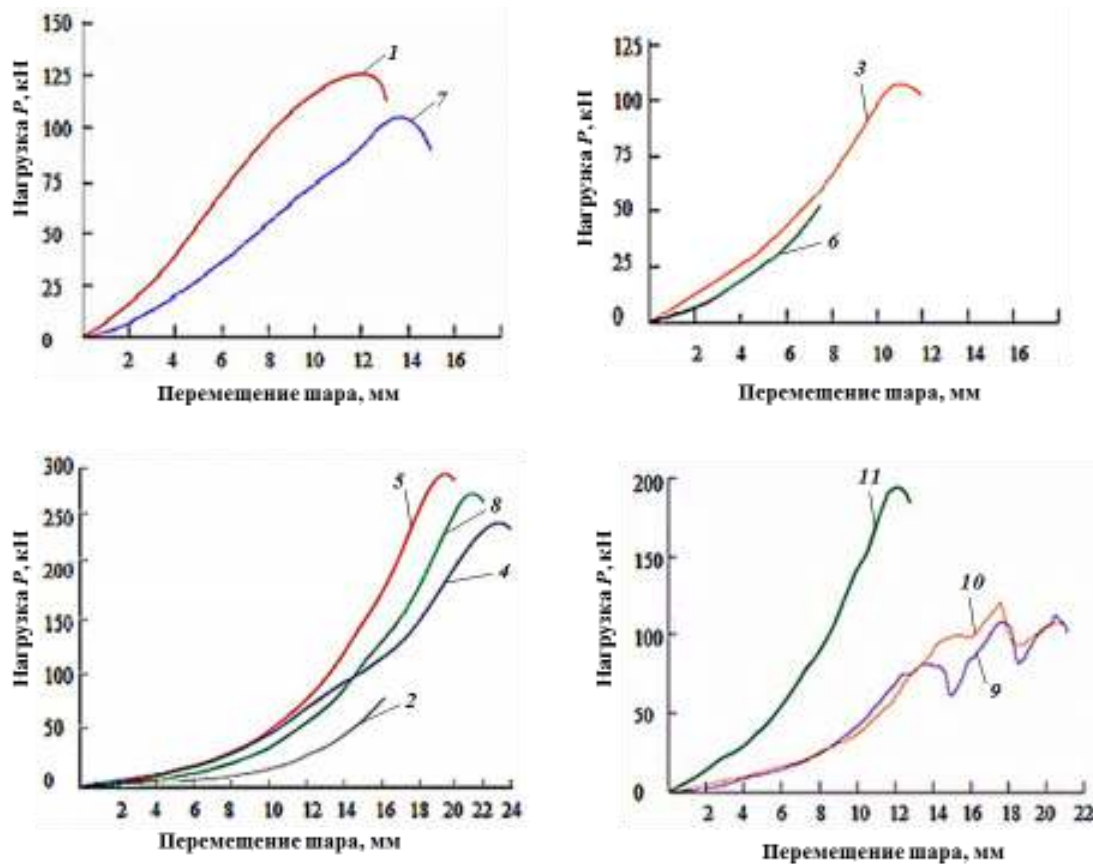


Рис. 2. Диаграммы деформирования испытанных композитных образцов на основе тканых (1–3, 6, 7, 9–11) и однонаправленных (4, 5, 8) материалов

Таблица 2

Структура модельных образцов однонаправленных материалов (поверхностная плотность испытываемых пакетов 4 кг/м<sup>2</sup>) и их противоосколочная стойкость\*

Условный номер образца	Структура модельных образцов	Степень анизотропии по количеству слоев 45°, %	V <sub>50% нпрб</sub> , м/с
1	[0°/±45°/90°] <sub>n</sub>	50	478
2	[0°/±45°/90°/±45°] <sub>n</sub>	67	482
3	[0°/+45°/90°/0°/-45°/90°] <sub>n</sub>	83	493
4	[0°/+45°/90°/-45°] <sub>n</sub>	100	508
5	[0°/90°] <sub>n</sub>	0	444

\* Для бронепакета с той же поверхностной плотностью, изготовленного из серийно выпускаемой ткани арт. 5363/11, V<sub>50% нпрб</sub>=450 м/с.

тканей со слабым полиэфирным утком, соединенных в двухслойное полотно с укладкой [0°/90°] термопластичной пленкой.

Броневые пакеты возможных вариантов структур собирали с расположением нитей под углами 0°, ±45° и 90°. Путем изменения ориентации нитей в соседних слоях варьировали степень анизотропии бронепакета от максимальной [±45°] до минимальной [0°/90°]. Испытания на противоосколочную стойкость проводили путем обстрела имитаторами осколков – стальными шариками диаметром 6,35 мм и массой 1,05 г. В бронепакет произвели 20 выстрелов. Скорость 50%-ного непробития (V<sub>50% нпрб</sub>) определяли по ГОСТ Р 50744. В табл. 2 представлены варианты структуры модельных образцов и их противоосколочная стойкость.

На рис. 3 приведена зависимость противоосколочной стойкости бронепакета от степени анизотропии составляющих его слоев, расположенных под углом 45° друг к другу. Видно, что с увеличением степени анизотропии бронепакета его противоосколочная стойкость возрастает на ~14%. Это обусловлено «псевдоувеличением» калибра имитатора осколков за счет нитей, следующих за ним через толщину образца вследствие его регулярной структуры. Снижение линейной плотности нитей в таком бронематериале может существенно повысить его бронезащитные свойства.

С учетом полученных данных проведена оптимизация структуры многослойных материалов на основе однонаправленных нитей с точки зрения противоосколочной стойкости. Результаты приведены в табл. 3.

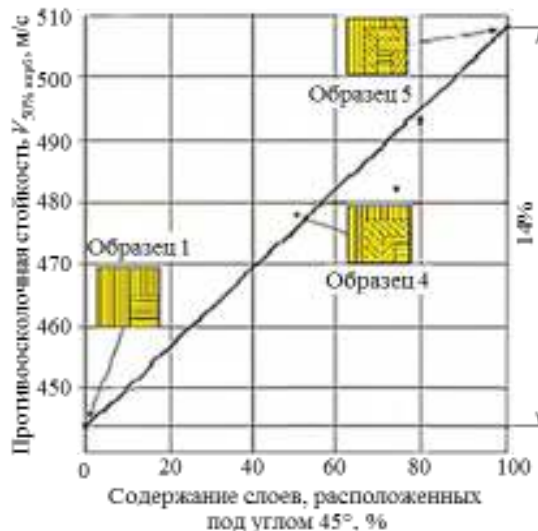


Рис. 3. Зависимость V<sub>50% нпрб</sub> бронепакета из 19 слоев материала LFT (поверхностная плотность 4 кг/м<sup>2</sup>) от содержания в пакете слоев, расположенных под углом 45° (показана структура слоев бронепакетов образцов 1, 4 и 5 – см. табл. 2)

Таблица 3

Противоосколочные свойства многослойных материалов разной структуры на основе высокоориентированных нитей и тканых бронематериалов

Структура бронематериалов	Ориентация нитей в слоях бронепакета и способ их соединения	Поверхностная плотность текстильной структуры, кг/м <sup>2</sup>	Противоосколочная стойкость V <sub>50% нпрб</sub> , м/с	
			мягкого бронепакета	композиата с содержанием связующего 40%
Тканые 	[0°/90°] <sub>n</sub> , переплетение	4,0 (арамидная ткань)	480	370
		6,5 (стеклоткань)	375	265
Двухслойные (LFT) 	[0°/90°] <sub>n</sub> , полиэфирный уток; двухслойное полотно, соединенное полиэтиленовой пленкой	4,0	508	416
Многослойные (четырёхслойные) 	[0°/+45°/90°/-45°] <sub>n</sub> , прошивные нити	4,0	528	453

Таблица 4

Влияние количества Диамета X на свойства эластомера СКУ-ПФЛ

Свойства	Значения свойств при соотношении СКУ-ПФЛ:Диамет X		
	100:19	100:14	100:10
Напряжение при удлинении 100%, МПа	2,4	3,0	3,8
Прочность при разрыве, МПа	3,9	4,5	4,7
Относительное удлинение, %	300	220	170

Таким образом, использование многослойных материалов на основе высокоориентированных нитей имеет значительные преимущества по сравнению с традиционно применяемыми тканями – как по прочности на осесимметричный изгиб, так и по защитным характеристикам.

Эффективная работа армирующих элементов в составе композитной подложки выполняется благодаря оптимальным свойствам матричного материала – связующего, которое должно обеспечивать форму, конструкционную жесткость изделия и вместе с тем позволять ему деформироваться без разрушения [13]. Анализ результатов исследований физико-механических характеристик матричных материалов, их влияния на аналогичные характеристики композита, а также способности обеспечить конструкционную жесткость бронезлемента и его высокие защитные характеристики показал преимущество полиуретанового реактопластичного связующего.

Разработку высокоэластичного полимерного связующего проводили с использованием уретанового эластомера СКУ-ПФЛ. Для его отверждения применяли 3,3'-дихлор-4,4'-диаминодифенилметан (Диамет X) [14]. Влияние количества Диамета X на свойства связующего представлено в табл. 4.

Для улучшения жесткости подложки без снижения ее упруго-прочностных свойств, обеспечивающих эффективное поглощение энергии разрушенных фрагментов пули и керамики, проведена оптимизация содержания в связующем модифика-

тора (эпоксидно-диановая смола ЭД-20, отвердителем для которой является Диаметр X). Экспериментально установлено оптимальное содержание модификатора: 10 мас. ч.

На рис. 4 представлена зависимость межслойной прочности органокомпозита для уретанового эластомера с различным количеством Диамета X от содержания модификатора. Для снижения технологической вязкости связующее разбавляли органическим полярным растворителем – ацетоном.

Массовая доля ацетона выбрана экспериментальным путем и составляет то минимальное количество, которое необходимо для растворения Диамета X и обеспечения нужной вязкости связующего. Выбор ацетона в качестве растворителя обусловлен тем, что он выпускается в промышленных объемах, обладает высокой летучестью при комнатной температуре и практически полностью испаряется из пропитанной связующим заготовки к моменту смыкания пуансона с матрицей. Процесс нанесения связующего составляет не более 45 мин при температуре 30°C.

Выбор режима отверждения полимерной матрицы проведен с помощью инфракрасной Фурье-спектроскопии и составил 72 ч при комнатной температуре. Проведены также измерения расхода ионизированных групп.

На рис. 5 представлена зависимость противоосколочной стойкости образцов, изготовленных при разном давлении прессования, от содержания

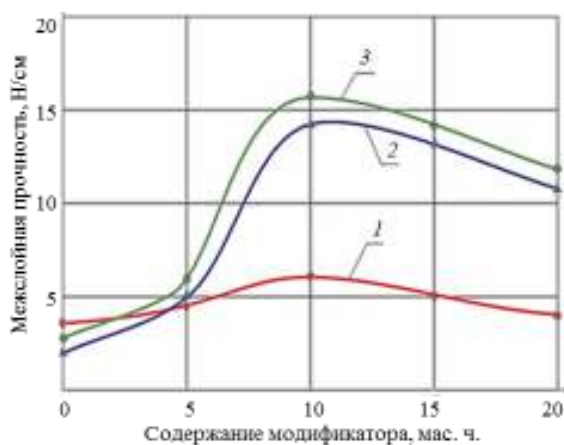


Рис. 4. Зависимость межслойной прочности композита (ткань – полотно) для уретанового эластомера с различным количеством Диамета X от содержания модификатора (см. табл. 4), мас. ч.: 19 (1), 14 (2) и 10 (3)

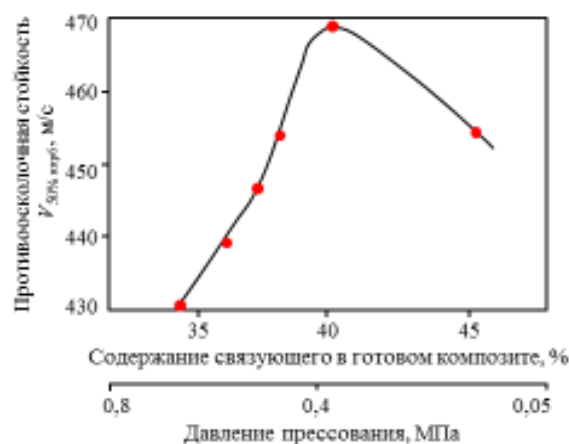


Рис. 5. Зависимость противоосколочной стойкости органокомпозита от содержания связующего и давления прессования

Физико-механические характеристики композитов на основе эпоксидного и вновь разработанного связующих (ткань – саржа)

Свойства*	Значения свойств композитов на основе связующего	
	разработанного	эпоксидного
Предел прочности при растяжении, МПа	397	452
Модуль упругости при растяжении, ГПа	3	12
Предел прочности при изгибе, МПа	79	385
Модуль упругости при изгибе, ГПа	13	27
Предел прочности при сжатии, МПа	149	502
Прочность при расслаивании двух слоев композита, кН/м	1,6	0,4
Противоосколочная стойкость $V_{50\% \text{ нпрб}}$ , м/с (при поверхностной плотности арамидной ткани 4 кг/м <sup>2</sup> )	472	391

\* Значения определяли согласно требованиям соответствующих методик и государственных стандартов.

связующего в композите. В качестве имитатора осколка использовали стальной шарик массой 1,05 г.

Исследования показали, что для обеспечения качества полимеркерамической брони содержание полимерного связующего в композитной подложке должно быть на уровне 40%, режим отверждения композита следующий: выдержка под давлением при температуре от 15 до 30°C в течение 72 ч. Определены оптимальные режимы прессования при создании контактного давления 0,35 МПа.

В табл. 5 для сравнения приведены физико-механические характеристики композитов, изготовленных по аналогичной технологии на основе различных связующих.

Видно, что по основным характеристикам, влияющим на защитные свойства комбинированной брони, композит на основе разработанного связующего значительно превосходит композит на основе эпоксидного связующего: по противоосколочной стойкости – на 20%, по прочности на расслаивание – в 4 раза.

Исходя из конструктивных особенностей брони (структура, габариты, форма) определен способ изготовления – прессование без термообработки. Этот способ не требует сложной и дорогостоящей оснастки и оборудования, прост, доступен, в достаточной степени отработан.

Влияние шероховатости поверхности керамической плитки на адгезию с композитом представлено на рис. 6. Видно, что с увеличением класса шероховатости поверхности керамической плитки прочность склеивания плавно возрастает и при шероховатости, соответствующей 3-му классу, становится практически постоянной и не зависящей от шероховатости. Поэтому оптимальная шероховатость поверхности ( $R_z$ ) керамической плитки лежит между 3-м и 4-м классами, при этом высота неровностей находится в интервале от 80–40 до 40–20 мкм.

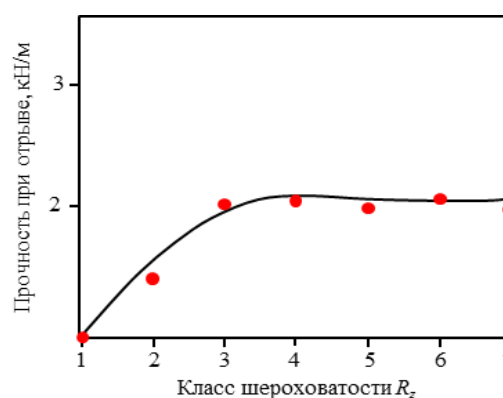


Рис. 6. Экспериментальная зависимость прочности склеивания композита с керамической плиткой от параметра шероховатости поверхности керамики

Исследованы возможность и целесообразность проведения восстановления полимеркерамической брони в случае ее поражения из ручного стрелкового оружия. Результаты представлены в табл. 6. Критерии пригодности брони для восстановления подтверждены экспериментально.

Для выбора рационального состава и структуры брони проведено математическое моделирование проникания жестких сердечников бронебойных пуль в полимеркерамическую броню [15]. Модель основана на предположении о том, что время дробления керамики, т. е. время ее перехода из монолитного в раздробленное состояние в зоне контакта с поражающим элементом, мало по сравнению с общим временем взаимодействия поражающего элемента с броневым пакетом.

Предполагается, что процесс проникания жесткого сердечника бронебойной пули в полимеркерамическую броню может быть условно разделен на три стадии (рис. 7):

– стадия *A*: все волновые процессы в керамическом слое и в сердечнике пули завершены;

Таблица 6

Критерии пригодности полимеркерамической брони для восстановления при поражении пулями калибра 7,62 мм

Вид и характер дефекта	Заключение о пригодности
Визуальный контроль изделия	
Сквозное пробитие	Утилизация
Три и менее пулевых попаданий без пробития в площадь не менее 0,5 м <sup>2</sup>	Восстановление
Четыре и более пулевых попаданий без пробития в площадь менее 0,5 м <sup>2</sup>	Утилизация
Подложка без повреждений	Восстановление
Повреждение (раскрытие) подложки	Утилизация
Расстояние между центрами ближайших попаданий более 200 мм	Восстановление
Расстояние между центрами ближайших попаданий менее 200 мм	Утилизация
Рентгеновский контроль пораженных участков изделия	
Количество разрушенных керамических плиток в зоне поражения 3 шт. и менее	Восстановление
Количество разрушенных керамических плиток в зоне поражения более 3 шт.	Утилизация
Визуальный осмотр композитной подложки после вскрытия противоосколочных слоев и извлечения поврежденной керамической плитки	
Целостность подложки не нарушена	Восстановление
Нарушение целостности подложки	Утилизация

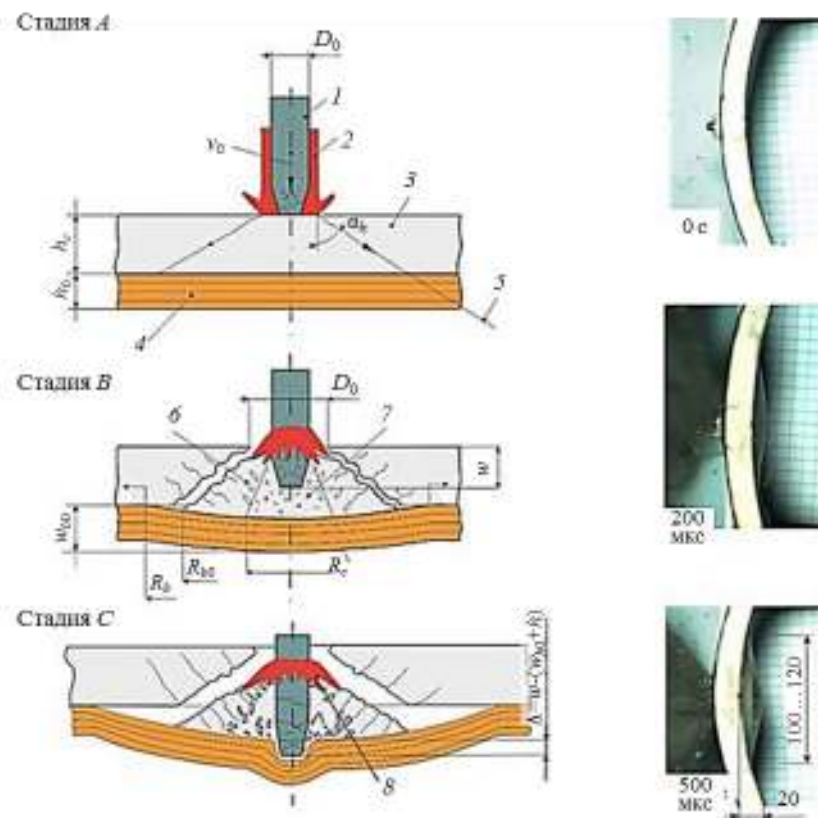


Рис. 7. Схема взаимодействия бронебойной пули с полимеркерамической броневаой структурой: 1 – сердечник; 2 – мягкие элементы пули; 3 – керамическая броневаой панель; 4 – композитная тыльная панель; 5 – коническая трещина (граница конуса Герца); 6 – разрушенная керамика, отделившаяся от броневаой панели; 7 – мелкодисперсная раздробленная керамика; 8 – условная граница. Справа представлены снимки, сделанные в режиме реального времени скоростной видеокамерой с частотой кадров 167 мкс

– стадия *B*: коническая трещина, отделяющая поврежденную керамику от броневых слоев, а также зоны дробления керамики сформировались;  
 – стадия *C*: начальной глубиной проникновения сердечника в броневую панель можно пренебречь.

При проникании сердечника в бронепанель участвуют три элемента: тыльная панель (прогиб), сердечник и разрушенная керамика. Рассмотрим уравнения движения этой системы.

Уравнение движения тыльной панели:

$$\alpha m_b \ddot{w}_{b0} + F_{br} + F_{be} - P = 0,$$

начальные условия:  $w_{b0}(0)=0, \dot{w}_{b0}(0)=0$ ,  
 где  $\alpha=1/3$  – коэффициент для принятой формы прогиба тыльной панели;  $m_b$  – масса тыльной панели, вовлеченная в движение;  $w_{b0}$  – прогиб тыльной панели;  $F_{br}$  – реактивная сила, тормозящая движение и возникающая при ее отслоении от керамического броневых слоев;  $F_{be}$  – сила упругого сопротивления тыльной панели;  $P$  – сила давления раздробленной керамики на тыльную панель.

Уравнение движения сердечника:

$$m \ddot{w} + F = 0,$$

начальные условия:  $w(0)=0, \dot{w}(0)=v_0$ ,  
 где  $m$  – масса сердечника;  $v_0$  – начальная скорость сердечника;  $F$  – суммарная сила, действующая на сердечник;  $w$  – максимальное перемещение сердечника.

Уравнение движения отделившейся и вовлеченной в движение керамики:

$$(m_c + m_0) \ddot{w}_c + F_c = 0,$$

начальные условия:  $w_c(0)=0, \dot{w}_c(0)=\frac{v_0}{1+m_c/m_0}$ ,

где  $m_c$  – масса отделившейся от броневой керамической панели и вовлеченной в движение керамики;  $m_0$  – масса мягких элементов пули;  $w_c$  – максимальное перемещение отделившейся керамики;  $F_c$  – суммарная сила, действующая на отделившуюся керамику.

Решение задачи о проникании сердечника в полимеркерамическую броню свелось к системе трех обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений с начальными условиями (задача Коши) относительно перемещений сердечника, раздробленной керамики и тыльной панели. Решение такой задачи осуществляется методом Эйлера или Рунге–Кутты.

Адекватность математической модели взаимодействия поражающего элемента с полимеркерамической броней доказана сравнением результатов расчетов с экспериментальными данными. Это дало возможность проводить прогнозирование состава и структуры брони без проведения дорогостоящих огнестрельных испытаний. На рис. 8–10 приведены расчетные зависимости прогиба, скорости перемещения, радиуса отслоения и деформации растяжения тыльной (композитной) панели от времени воздействия пули, которые практически полностью соответствуют результатам скоростной видеосъемки и известным результатам экспериментальных исследований.

На рис. 11 приведены расчетные зависимости поверхностной плотности  $\rho_s^{95}$  от толщины керамической панели для полимеркерамических броневых пакетов, стойких к воздействию пули ПС-43 с термоупрочненным сердечником и с начальной скоростью 750 м/с. Для всех рассмотренных типов керамики (табл. 1) поверхностная плотность броневых пакетов при некотором значении толщины керамической панели принимает минимальное значение, т. е. из всех возможных вариантов пакетов с заданной пулестойкостью может

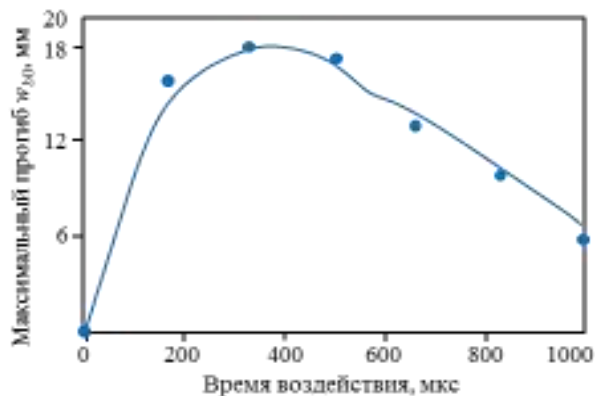
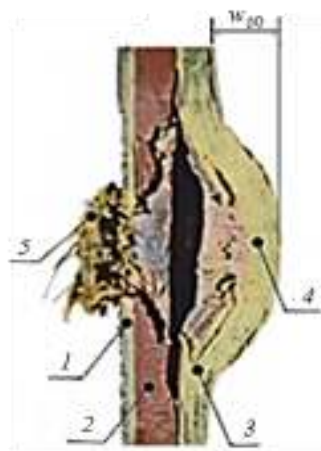


Рис. 8. Зависимость прогиба ( $w_{b0}$ ) тыльной панели от времени воздействия:

1 – фронтальный слой (органопластик); 2 – керамический экран; 3 – органопластиковая подложка – тыльная панель; 4 – запреградный выступ; 5 – зона поражения. Точками на графике обозначены результаты скоростной видеосъемки



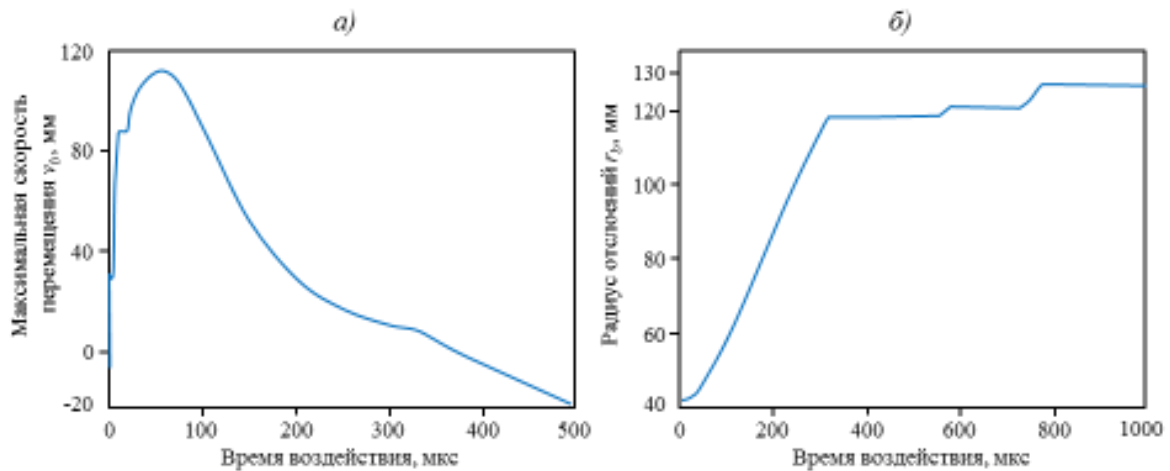


Рис. 9. Расчетные зависимости скорости перемещения  $v_b$  (а) и радиуса отслоения  $r_b$  (б) тыльной панели керамики от времени воздействия

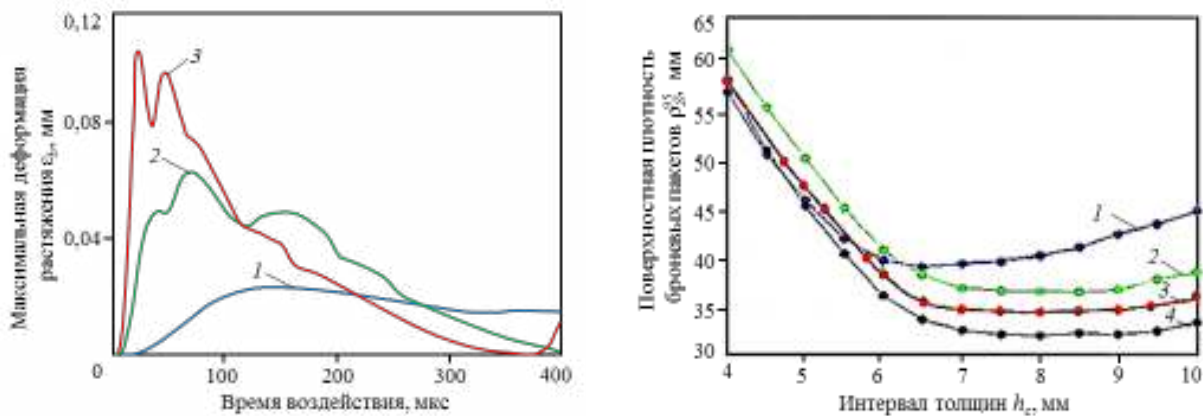


Рис. 10. Расчетные зависимости деформации растяжения  $\epsilon_b$  тыльной панели от времени воздействия для различных углов раскрытия конуса отделившейся керамики  $\alpha_b$ , градус: 155 (1), 130 (2) и 110 (3)

Рис. 11. Расчетные зависимости поверхностной плотности броневых пакетов от толщины керамической фронтальной панели при вероятности непробития  $P=0,95$  (поражающий элемент – пуля ПС-43 с термоупрочненным сердечником и начальной скоростью 750 м/с): 1 – оксид алюминия; 2 – реакционноспеченный карбид кремния; 3 – композиционная керамика на основе карбида кремния и карбида бора; 4 – карбид бора

быть выбрана конструкция, обладающая минимальными весовыми характеристиками. В то же время зависимости  $\rho_s^{05}(h_c)$  слабо изменяются в окрестности точки минимума, что позволяет выбирать толщину керамической панели исходя из экономических соображений и имеющихся возможностей, не оказывая существенного влияния на весовые характеристики брони.

Таким образом, с учетом критериев эффективного использования многослойных материалов с заданной ориентацией однонаправленных нитей и математической модели проникания жестких сердечников в броню, решена комплексная задача по созданию новой облегченной комбинированной брони на основе полимеркерамических материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Харченко Е.Ф. Композитные, текстильные и комбинированные бронематериалы // Современные защитные структуры и средства индивидуальной бронезащиты. М.: ЦНИИСМ, 2014. Т. 2. 332 с.
2. Материалы и защитные структуры для локального и индивидуального бронирования / под ред. В.А. Григоряна. М.: РадиоСофт, 2008. 406 с.
3. Кулаков И.В., Сидоров И.И., Сулягин К.А. Интегральная бронезащита на основе керамических композиций от высокоэнергетических стрелковых снарядов // Вопросы оборонной техники. Сер. 15: Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. 1996. Вып. 3 (115)–4 (116). С. 24–27.

4. Синани А.Б., Пугачев Г.С., Емельянов Ю.А. и др. Использование высокотвердых материалов в легкой бронезащите // Вопросы оборонной техники. Сер. 15: Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. 1996. Вып. 1 (113)–2 (114). С. 14–19.
5. Гриневич А.В., Ярош В.В. Особенности разрушения керамики при ударном воздействии // Вопросы оборонной техники. Сер. 15: Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. 1999. Вып. 1 (120)–2 (121). С. 31–34.
6. Гриневич А.В., Ярош В.В. Дробящий эффект керамического слоя комбинированной брони // Вопросы оборонной техники. Сер. 15: Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. 1999. Вып. 1 (120)–2 (121). С. 35–37.
7. Актуальные проблемы технологии производства современных керамических материалов: сб. тр. науч. семинара. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. 244 с.
8. Керамический бронематериал на основе карбида кремния и карбида бора и способ изготовления керамического бронематериала на основе карбида кремния и карбида бора: пат. 2440956 Рос. Федерация; опубл. 27.01.12.
9. Анискович В.А., Гавриков И.С., Быков В.А. Перспективы создания брони на основе смесевой карбидной керамики // Вопросы оборонной техники. Сер. 15: Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. 2011. Вып. 1 (160)–2 (161). С. 39–40.
10. Анискович В.А. Разработка и исследование композитной подложки для комбинированной брони на основе керамических материалов // Оборонная техника. 2013. №3–4. С. 66–72.
11. Гримберг Дж.Х., Ван Дингненен Дж.Л.Дж., Пессерс В.А.Р.М. Нетканые материалы и ткани Дайнема в баллистической защите // Вопросы оборонной техники. Сер. 15: Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. 1996. Вып. 3 (115)–4 (116). 69 с.
12. Харченко Е.Ф. Анализ реализации прочности полимерных волокон в защитных материалах // Тез. докл. 1-й Межотрас. науч.-практич. конф. Хотьково, 1995. С. 6–7.
13. Анискович В.А., Зайцева Л.В., Червяков А.С. Разработка и исследование композитных материалов на основе термопластичных матриц для средств бронезащиты // IX Междунар. научн.-практ. конф. «Новейшие тенденции в области конструирования и применения баллистических материалов и средств защиты». М., 2007. С. 96–97.
14. Анискович В.А., Гавриков И.С. Разработка и исследование высокоэластичного полимерного связующего для композитно-керамической брони // Вопросы оборонной техники. Сер. 15: Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. 2014. Вып. 3 (174). С. 49–55.
15. Анискович В.А. Научно-технологические аспекты создания комбинированной полимеркерамической брони. М.: Спектр, 2015. 75 с.