

УДК: 621.315.223

DOI: 10.53816/20753608_2022_2_125

НОВАЯ МОДИФИКАЦИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ КОМПОЗИТНЫХ БРОНЕМАТЕРИАЛОВ

NEW MODIFICATION OF HIGH-PERFORMANCE COMPOSITE ARMOR MATERIALS

Академик РАРАН Е.Ф. Харченко

АО ЦБМ «Армоком»

E.F. Kharchenko

Одним из самых совершенных видов бронезащиты является керамокомпозитная броня. Она состоит из двух частей — особотвёрдого керамического экрана и энергоёмкой подложки из многих слоёв арамидной ткани, склеенной полимерным связующим. Несмотря на значительное превосходство в весе над всеми типами металлической брони, существенным недостатком керамокомпозитной брони является значительная толщина. В данной работе показана возможность её усовершенствования в части значительного — до 30–35 % — уменьшения толщины, а также массы за счет применения компрессионно-намоточной технологии.

Ключевые слова: керамический экран, подложка, керамокомпозитная броня, компрессионно-намоточный способ.

One of the most perfect types of armored protection is ceramic composite armor. It consists of two parts: an extra-hard ceramic screen and an energy-consuming substrate of many layers of aramid fabric adhered with a polymer binder. Despite the significant superiority in weight over all types of metal armor, an essential disadvantage of ceramic composite armor is a significant thickness. This paper shows the possibility of its improvement in terms of a significant reduction in thickness — up to 30–35 %, as well as in mass due to the use of compression-winding technology.

Keywords: ceramic screen, substrate, ceramic-composite armor, compression-winding method.

Одним из самых значительных достижений в деле создания новых броневых материалов является разработка керамокомпозитной брони, которая в упрощенном виде представляет из себя гибридный композитный материал с твердым керамическим слоем (экраном) на фронтальной стороне и слоистым полимерным органопластиковым слоем (подложкой) на тыльной стороне. Функция керамического экрана заключается в том, чтобы раздробить поражающий элемент, а энергоёмкой подложки — затормозить и остановить продукты дробления пули и экрана.

При неоспоримых преимуществах керамокомпозитной брони над стальной, главным из ко-

торых является (более чем в два раза) меньшая поверхностная плотность — вес 1 м², новая броня имеет и существенные недостатки. Первый — это значительно большая толщина до 20 мм, второй — меньшая живучесть (как правило, допустимое расстояние между ближайшими попаданиями пуль не должно быть меньше 80 мм). Ну и стоимость ее существенно больше, чем у стальной.

Понятно, что там, где весовые преимущества играют главную роль, как например в средствах индивидуальной бронезащиты (СИБ) военнослужащих, перечисленными недостатками пренебрегают. Однако любой разработчик СИБ стремится к тому, чтобы керамокомпозит-

ная броня стала существенно тоньше. Ибо с этим связана маневренность солдата, его подвижность, способность проникать в люки, преодолевать препятствия и др.

Долгие годы считалось аксиомой, что основные улучшения массо-габаритных параметров брони возможны в основном за счет керамического экрана, вследствие чего разработчики стремились применять вместо оксидно-алюминиевой керамики с уд. весом $3,9 \text{ г/см}^3$ более легкие карбиды кремния и бора с уд. весом до $2,6 \text{ г/см}^3$. Однако с уменьшением плотности применяемой керамики, как правило, приходится увеличивать её толщину, что делает этот прием не вполне эффективным.

Бронепанели для массово выпускаемых в нашей стране бронежилетов в своем составе имеют оксидную (иногда карбидную) керамику толщиной 9–10 мм и органопластиковую подложку толщиной не менее 9 мм. Органопластиковую подложку изготавливают, как правило, из слоев арамидной ткани около 60 % по массе и полимерного связующего — около 40 %.

Впервые за много лет нами предпринята попытка существенно уменьшить толщину и одновременно массу бронеэлементов за счет усовершенствования подложки. Как установлено, главным недостатком армирующего материала в виде ткани является извитость (переплетение) нитей в её структуре — рис. 1, а. Именно в зонах переплетения изогнутых и зафиксированных связующим нитей происходит разрушение от воздействия продуктов дробления пули и керамического экрана. Тканая арматура разрушает структуру композита, и для обеспе-

чения монолитности требуется весьма большое содержание связующего. Кроме того, тканые армирующие материалы значительно снижают изгибную прочность и модуль упругости подложки, а это весьма негативный фактор [1].

В качестве альтернативы нами впервые разработаны плоскоориентированные защитные структуры композитной подложки, в которых ортогонально уложены некрученные нити — рис. 1, б. Эффект оказался поразительным. По данным таблицы можно сделать вывод, что бронепанель новой структуры не только существенно легче, но и её надежность гораздо выше — доля пробитых слоев составляет в среднем около 12 % при толщине 4 мм, тогда как в штатной панели более 40 % при толщине 9,5 мм. Исследование защитных свойств с помощью методов, изложенных в работе [2], также подтверждает эффективность новой брони.

На рис. 2 показан фронтальный вид бронепанели после обстрела, а также её тыльная сторона.

На фотографиях видно, что при условии 100 % непробития и использовании подложки рекордно низкой толщины, допустимые расстояния между ближайшими попаданиями пуль почти во всех случаях очень невелики, в том числе и менее 50 мм.

Это свидетельствует о том, что эффективная работа подложки заключается не только в поглощении (задержании) продуктов уже разрушенных пули и экрана, но и в обеспечении совместной деформации пары экран — подложка как до разрушения пули, так и после [1]. Отметим, что прочность этой подложки при изгибе очень близка к

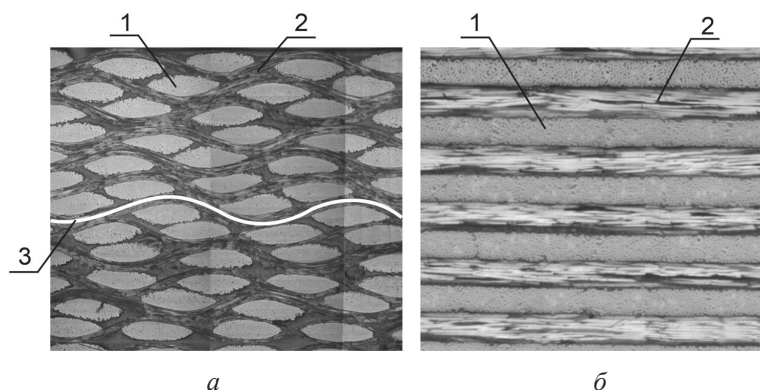


Рис. 1. Микроструктура органопластиковой подложки бронематериала, армированной тканью из арамидной нити 58 текс — а; органопластик на основе плоскоориентированных в ортогональных направлениях без переплетения нитей — б; 1 — поперечное сечение нитей; 2 — продольное сечение нитей; 3 — волнообразная траектория укладки нитей

Таблица

Результаты обстрела бронепанелей на основе оксидной керамики боеприпасами повышенной пробиваемости 7Н39 (1, 2) и 7Н13 (3) с дистанции 10 м

№	Тип брони	Толщина брони, мм	Толщина подложки, мм	Пробито слоев подложки, %	Поверхн. плотность, кг/м ²
1	Стандартная с использованием ткани	19	9,5	45	46
2	С плоскоориентированной подложкой	14	4	12	40,8
3	С плоскоориентированной подложкой и тонким экраном	13	4	18	36,7

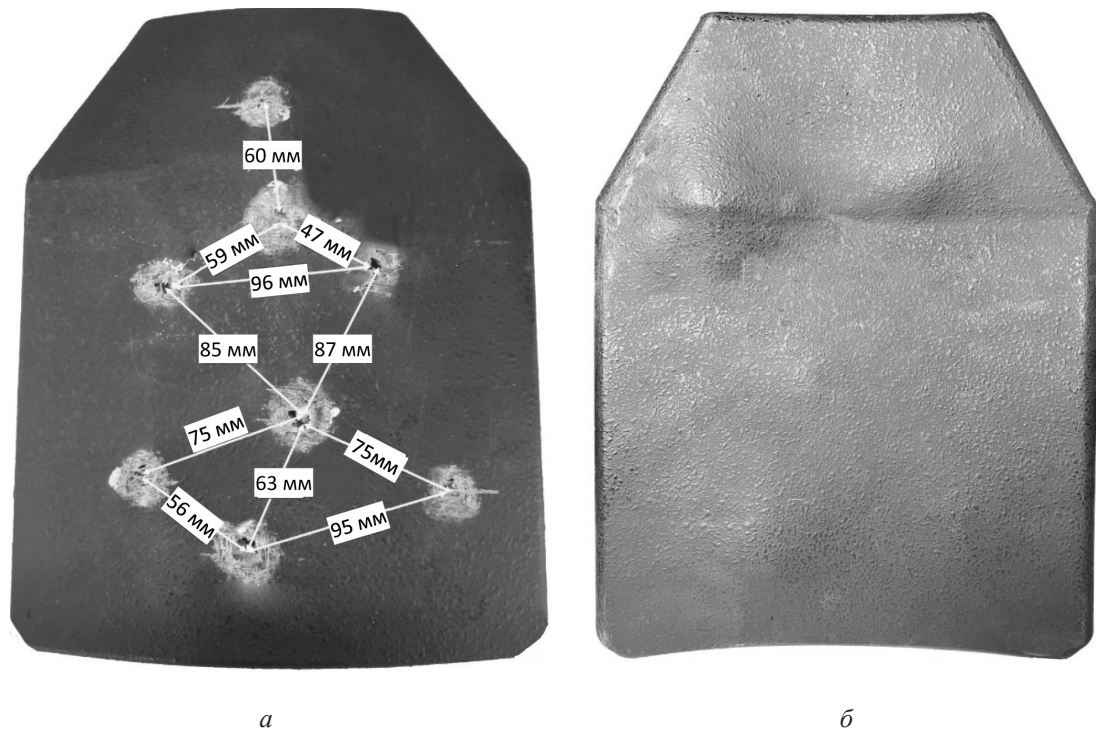


Рис. 2. Внешний вид грудной бронепанели после массированного обстрела боеприпасами повышенной пробиваемости 7Н39 и 7Н13 — а, и её тыльная сторона — б; цифры на стрелках показывают расстояние между ближайшими выстрелами

свойствам плиток керамического экрана. Остатки подложки на экране, которые не удалось отделить (рис. 3 — поз. 3) свидетельствуют о прочной адгезионной связи указанной пары, обеспечивающей их эффективную совместную работу.

Полученные результаты позволили уменьшить толщину экрана оксидной керамики со стандартных 9 мм до 8 мм. Результаты обстрела боеприпасом 7Н13 представлены в строке 3 таблицы. Как видно, получены рекордные результаты: толщина керамокомпозитной брони — «сэндвича» около 13 мм и поверхностная плотность брони на основе оксида алюминия составляет 36,7 кг/м², которая обычно свойственна легкой и в два раза более дорогой карбидоборной керамике.

Весьма перспективным является применение новых керамокомпозитных материалов для бронирования техники или в виде самостоятельных бронированных элементов индивидуальной бронезащиты [3]. Так, на рис. 4 представлен сверхлегкий штурмовой щит «Заслон» производства Центра «Армоком», масса которого составляет всего 10,7 кг, тогда как масса аналогичного щита из легированной стали более 15 кг. Как видно на рис. 4, после обстрела бронебойными и бронебойно-зажигательными пулями практически не образуется запреградного выступа. Очень важным достоинством материала является также отсутствие рикошета пуль при непробитии: образующиеся при ударе осколки пули и керамики



Рис. 3. Тыльная сторона экрана после препарирования: 1 — отверстие от пули; 2 — отслоившаяся часть экрана (конус Герца); 3 — приклеенная к экрану подложка

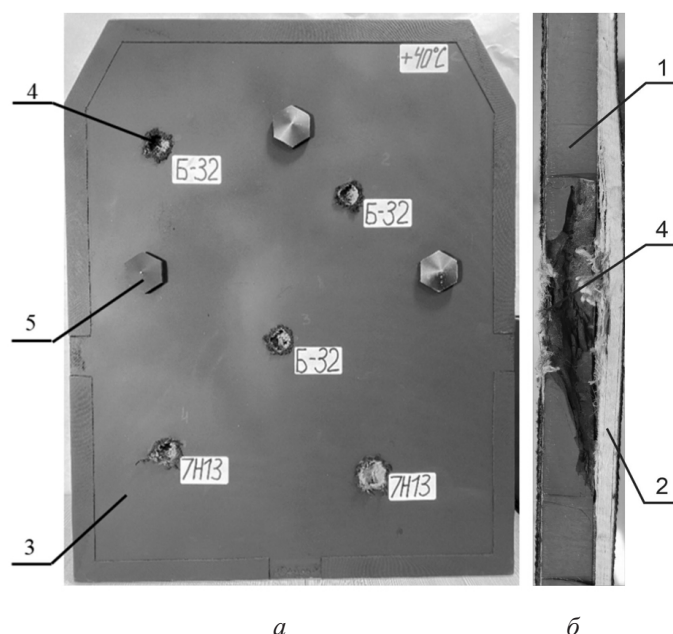


Рис. 4. Сверхлегкий штурмовой бронещит «Заслон» (а) и поперечный срез бронеструктуры щита (б) после обстрела: 1 — керамический экран; 2 — органокомпозитная подложка; 3 — корпус щита; 4 — входное отверстие пули; 5 — элементы крепления подвесной системы щита, обеспечивают пулестойкость по Бр 5 классу защиты

поглощаются в полости между экраном и подложкой — позиция 4 на рис. 4, б.

Весьма эффективным оказалось применение сверхвысокоармированного органопластика (СВАО) в керамокомпозитных бронематериалах и по классу защиты Бр 5. Если в традиционной броне этого типа для защиты от бронебойных пуль с энергией более 3500 Дж применяется органопластиковая подложка на основе арамидных тканей толщиной 9–10 мм, то при использовании СВАО ее толщина в два раза меньше.

На рис. 5 приведены поперечные срезы брони обоих типов — видны разительные отличия поперечных размеров. Толщина бронепанелей

с использованием нового материала до 30% меньше, чем у штатных пластин, поверхностная плотность брони на основе СВАО на 16% меньше, а доля пробитых слоев подложки не превышает 40% от их общей толщины.

Таким образом, изменение защитной структуры тканearмированной подложки керамокомпозитной брони на плоскоориентированно-армированную взамен тканой позволило получить броню значительно тоньше и легче. При этом, видимо, существенно изменился механизм взаимодействия бронебойных боеприпасов, поскольку функции задержания продуктов дробления пули и экрана выполняет органопластик с толщиной в

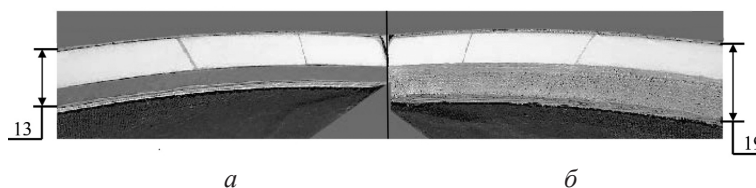


Рис. 5. Поперечные срезы бронематериалов: а — керамокомпозит на основе СВАО; б — штатный керамокомпозит

2,2 раза тоньше, чем стандартные, армированные тканью и подробно описанные нами в работах [4–6]. Уникальная броня, особенность её структуры и взаимодействие с бронебойными боеприпасами неоднократно обсуждались на конференциях по бронезащитным и композитным материалам, проводимых под эгидой РАРАН [7, 8].

В результате применения новой модификации и технологии композитной брони получен следующий дополнительный технико-экономический эффект.

Первое. Из цикла производства исключена стадия ткачества, при которой происходит до 10 % потери прочности нитей из-за интенсивного знакопеременного динамического воздействия, а также устраняется так называемый «угар» или отходы ткачества, составляющие 4–5 %.

Второе. Уменьшается расход очень дорогого арамидного волокна для изготовления подложки до 25 % за счет более высокой реализации прочности.

Третье. Улучшаются экологические условия труда, т.к. более чем в 2,5 раза сокращается объем применения полимерного, обычно эпоксидного, связующего.

В заключение следует отметить, что поверхностная плотность разработанной нами брони для защиты от бронебойных боеприпасов из оружия калибром 7,62 мм находится в пределах 40 кг/м², в то время как аналогичный показатель стальной брони составляет не менее 90 кг/м². Преимущество более чем 2-кратное!

Литература

1. Ермоленко А.Ф. Модель взаимодействия керамико-композитной брони с бронебойными пулями, учитывающая изгибные эффекты в композитной тыльной панели // Вопросы оборонной техники. 2016. Серия 15. Выпуск 3–4 (182–183). С. 26–45.

2. Харченко Е.Ф., Приходько В.А., Гавриков И.С. Метод определения скорости потока осколков для оценки эффективности защитной композиции на стадии разработки // Вопросы оборонной техники. 2015. Серия 15. Выпуск 4 (179). С. 65–68.

3. Харченко Е.Ф., Медвецкий С.В. Применение композитных материалов в средствах коллективной защиты // Композитные, текстильные и комбинированные материалы. Том 4. Боевая экипировка подразделений антитеррора. 2018. С. 121–131.

4. Харченко Е.Ф., Ермоленко Е.Ф. Механизмы взаимодействия с баллистическими поражающими элементами // Композитные, текстильные и комбинированные бронематериалы. Том 1. 2013. 294 с.

5. Харченко Е.Ф. Современные защитные структуры и средства индивидуальной бронезащиты // Композитные, текстильные и комбинированные бронематериалы. Том 2. 2014. С. 133–137.

6. Харченко Е.Ф. Особенности крупнопанельного бронирования вооружения и техники // Композитные, текстильные и комбинированные бронематериалы. Том 3. 2015. С. 140–148.

7. Харченко Е.Ф., Кормаков А.В., Данилин Ю.Д. Бронематериалы на основе сверхвысокоармированного органопластика // Сборник трудов XVIII Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы разработки и применения бронезащитных и конструкционных композитных материалов». 2021. С. 51–56.

8. Харченко Е.Ф., Кормаков А.В. Исследование защитных свойств керамокомпозитных бронезащитных элементов минимальной толщины при воздействии бронебойных пуль повышенной пробиваемости // Сборник трудов XVIII Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы разработки и применения бронезащитных и конструкционных композитных материалов». 2021. С. 57–58.