

УДК: 656.2

ПРОЗРАЧНАЯ БРОНЯ В ИЗДЕЛИЯХ ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ TRANSPARENT ARMOR IN MILITARY EQUIPMENT PRODUCTS

Чл.-корр. РАРАН В.С. Ивановский, Н.Г. Макаренко, Ю.С. Яковлева

Военный инновационный технополис «ЭРА»

V.S. Ivanovskiy, N.G. Makarenko, Yu.S. Yakovleva

В статье рассмотрены элементы защиты вооружения и военной техники на основе прозрачных бронематериалов. Представлены результаты анализа композиционных материалов и их свойств, необходимых для создания высокоэффективной прозрачной брони с малым удельным весом и увеличенной стойкостью к бронепробитию. Определены основные показатели характеристик прозрачных бронематериалов.

Ключевые слова: средства защиты, прозрачная броня, шпинель, шкала Мооса, упрочнение стекла.

The article discusses the elements of protection of weapons and military equipment based on transparent armor materials. The results of the analysis of composite materials and their properties necessary for creating high-performance transparent armor with a low specific weight and increased resistance to armor penetration are presented. The main characteristics of transparent armor materials are determined.

Keywords: protective equipment, transparent armor, spinel, Mohs scale, glass hardening.

Современные тенденции развития систем вооружения требуют поиска путей дальнейшего повышения средств защиты вооружения, военной и специальной техники от поражающих элементов боеприпасов.

Как правило, данная задача решается за счет увеличения массогабаритных характеристик средств защиты (толщины брони), однако традиционные пути повышения тактико-технических характеристик прозрачной брони, ориентированные на использование соответственно металлической основы и силикатного стекла, практически себя исчерпали.

Недостаточно высокие характеристики динамической прочности и трещиностойкости современных конструкционных керамик на основе оксида алюминия, диборида титана и карбида титана, получаемых с использованием традиционных технологий порошковой металлургии, обуславливают низкий уровень защиты элементов образцов ВВСТ [1].

В целом, новое поколение композиционных материалов должно обеспечить создание высокоэффективной прозрачной брони с малым удельным весом и увеличенной в 1,5–2 раза стойкостью к бронепробитию по сравнению с аналогами.

В настоящее время работа лабораторий сконцентрирована на разработку усовершенствованных изделий прозрачной брони для замены существующих стеклянных изделий более твердой керамикой [2, 3], такой как ALON или $MgAl_2O_4$. Зерна прозрачной брони представлены на рис. 1.

Фрактографический анализ показал, что крупные зерна существенно влияют на прочность обоих материалов.

Научно-исследовательская лаборатория ВМС США (NRL) разработала новый тип пуленепробиваемого стекла на основе минерала $MgAl_2O_4$. Шпинель — редкий минерал кубической сингонии, смешанный оксид магния и алюминия.

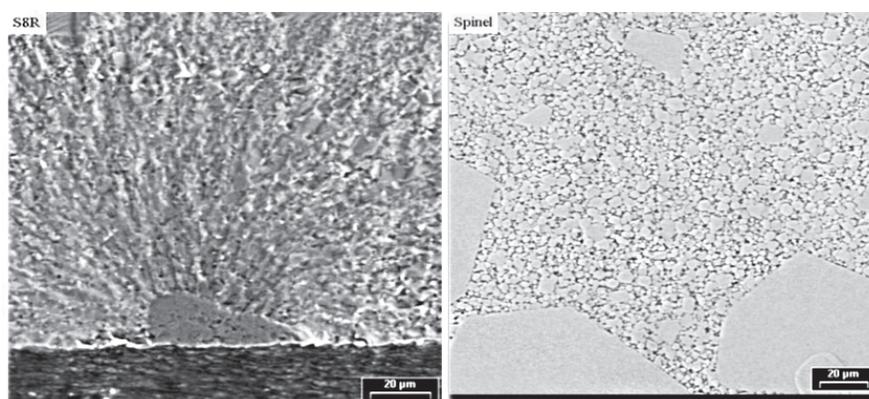


Рис. 1. Фотография размера зерен прозрачной брони

Шпинель хрупка, твёрдость по шкале Мооса составляет 7,5–8, микротвёрдость составляет 1378–1505 кг/мм² при нагрузке 100 г. Удельный вес составляет 3,59–4,12 н/м³.

Некоторые синтетические MgAl₂O₄ подобно александриту меняют свою окраску с зеленой на фиолетово-красную при искусственном освещении.

Искусственные MgAl₂O₄, содержащие избыток Al₂O₃ оксида алюминия (III), обладают иногда аномальным двулучепреломлением. Люминесценция обычно отсутствует, иногда бывает жёлто-зелёная, красная, оранжевая.

Шпинель легко получается путем сплавления и спекания смесей соответствующих чистых окислов при температуре 1400–1920 °С. Присутствие минерализаторов значительно снижает температуру ее образования. Ювелирная разновидность шпинели синтезируется по методу Вернейля: чистые порошки Al₂O₃ и MgO после обработки пламенем гремучего газа при температуре 2500 °С расплавляются, расплав в виде капель падает на дно печи, где помещена туго-

плавкая свечка с заправкой шпинели; постепенно вырастает монокристалл в виде бульки. Известно образование шпинели в шлаках, в магнезитовом кирпиче электроплавильной печи [4].

Внешний вид бронестекла на основе минерала шпинель представлен на рис. 2.

Новое бронестекло отличается от обычных типов пуленепробиваемого стекла меньшей массой. Кроме того, оно пропускает инфракрасное излучение и может быть использовано для защиты тепловизоров на борту беспилотных летательных аппаратов (рис. 3) [12, 13].

В 1971 году в СССР на вооружение принят транспортно-боевой вертолёт Ми-24. Фонари кабин Ми-24 состоят из боковых панелей двойной кривизны из оргстекла и плоских лобовых пулестойких стеклоблоков. Широкие лобовые бронеблоки обеих, расположенных тандемом, кабину экипажа вместе со стальной бронёй кабины толщиной 4–5 мм защищают переднюю проекцию штурмана-оператора и пилота вертолёт от 7,62-мм пуль стрелкового оружия.



Рис. 2. Внешний вид бронестекла



Рис. 3. Примеры применения прозрачной брони для защиты экипажей боевых вертолётов и самолётов

Прозрачная броня применяется для защиты кабины современных ударных вертолётов Ми-28 и Ка-50, передние и боковые окна которых выполнены из броневых стеклоблоков. По данным разработчиков, обеспечивается защита указанных машин от бронебойных пуль калибра 12,7 мм и 20-мм снарядов.

Кабина бронированного самолета-штурмовика Су-25 с передних направлений обстрела также защищена прозрачным бронеблоком ТСК-137 толщиной 65 мм.

Требования к прозрачной броне боевых бронированных машин лёгкой весовой категории определяются действующим в НАТО стандартом STANAG 4569.

Стандартами предусматриваются несколько уровней защиты, переход от первого к следующему

уровням, соответствует увеличению степени защищённости. Представления о применяемых толщинах и массах прозрачной брони дает табл. 1.

Из таблицы FSP — (англ.) fragment simulating projectile — стандартный (в НАТО) осколочный имитатор. Цилиндрический боёк с площадкой притупления и высотой, приблизительно равной диаметру. В калибре 20 мм имитирует типовой осколок 155 мм осколочно-фугасного снаряда. Согласно требованию стандарта, при переходе от уровня 1 к уровню 3 наблюдается увеличение ударной скорости FSP с 550 до 770 м/с, что соответствует уменьшению дистанции подрыва снаряда со 100 до 60 м.

Патрон 7,62×51 мм НАТО с бронебойной пулей Bofors FFV (WC) содержит сердечник из

Таблица 1

Типовая прозрачная броня военного назначения компании GKN Aerospace (Великобритания)

Толщина брони, мм	Национальный стандарт	Оружие/ боеприпас	Калибр	Средство испытания, тип пули	Масса пули, г	Ударная скорость, м/с	Количество зачётных попаданий	Масса брони, кг/м ²	Условия испытаний
40	STANAG 4569 Уровень 1	Винтовка и осколочный имитатор FSP	5,56 мм 5,56 мм 7,62 мм 20 мм	5,56×45 ss109 M193 простая 7,62×51 простая 20 мм FSP	4,00 3,56 9,65 53,8	900 937 833 550	3 попадания в вершинах треугольника 120 мм FSP-1 попадание	90	При <i>t</i> окружающей среды
48								112	<i>t</i> – 19° и + 49 °С
58	STANAG 4569 Уровень 2	Винтовка и осколочный имитатор FSP	7,62 мм 20 мм	7,62×39 мм, пуля «БЗ» и 20 мм FSP	7,77 53,8	695 630	3 попадания в вершинах треугольника 120 мм FSP-1 попадание	132	При <i>t</i> окружающей среды
64								151	«БЗ» при + 75 °С FSP при <i>t</i> окружающей среды
71								161	«БЗ» при + 75° FSP при – 31 °С
96	STANAG 4569 Уровень 3	Винтовка и осколочный имитатор FSP	7,62 мм 20 мм	7,62×54 мм Б-32 и 20 мм FSP	10,04 53,8	854 770	3 попадания в вершинах треугольника 120 мм FSP-1 попадание	224	Б-32 при + 65° FSP при – 40 °С
102								239	FFV при <i>t</i> окружающей среды FSP при – 40 °С

карбида вольфрама. Характеризуется повышенным бронепробивным действием.

Количество зачётных попаданий (требуемое) — определяет живучесть стеклоблока при обстреле.

В последнее десятилетие рядом стран проводятся НИОКР по разработке более эффективной прозрачной брони, обладающей, при сохранении достигнутого уровня противопульной стойкости, меньшей массой и толщиной и базирующейся на принципе построения комбинированной брони с высокотвёрдым лицевым керамическим слоем [14–16].

Одним из перспективных материалов прозрачной керамики для брони является искусственный монокристаллический сапфир.

Сравнительные характеристики прозрачной брони компании Saint-Gobain (США) на основе монокристаллического сапфира, выращенного по технологии EFG™ (Edge-defined Film-fed Growth) представлены в табл. 2.

Характеристики используемых прозрачных материалов [5–11] приведены в табл. 3.

Для изготовления прозрачной брони высокого класса защиты, как правило, используют упрочнённые силикатные стекла [3, 4]. Упрочнение стекла осуществляют сжатием поверхностных слоёв при химико-термической обработке и поверхностной закалке или растворением поверхностного дефектного слоя.

Таковыми способами прочность стекла повышается в 2–4 раза. Однако следует отметить, что

Таблица 2

Сравнительные характеристики прозрачной брони с монослоем сапфира и традиционной прозрачной брони на основе силикатов

Средство испытания, тип пули	Кол-во зачётных попаданий	Толщина бронестекла, мм	Толщина ПБ с сапфиром, мм	Выигрыш по толщине сапфировой брони	Масса бронестекла, кг/м ²	Масса ПБ с сапфиром, кг/м ²	Выигрыш по массе сапфировой брони
7,62×39 мм, БЗ	3	58	20,8	64 %	133	56	58 %
7,62×54 мм Б-32	3	104	33,5	68 %	248	86	65 %
7,62×54 мм Б-32	1	55	24,8	55 %	115	67,5	41 %
20 мм FSP <i>V</i> _{уд} 630 м/с	1	55	44	20 %	132	114	14 %
20 мм FSP <i>V</i> _{уд} 770 м/с	1	70	52	26 %	160	125	22 %

Таблица 3

Механические свойства материалов, используемых для прозрачной брони

№ п/п	Характеристики	Силикатное стекло	Оргстекло ПММА	Поликарбонат	Полиуретан
1	Плотность, г/см ³	2,5	1,19	1,20	1,1
2	Предел прочности на разрыв, МПа	90–120	70	60–70	62
3	Предел прочности при сжатии, МПа	1000	100–124	80-90	72
4	Удлинение при разрыве, %	–	4	80	–
5	Светопропускание, %	87	92	86	80
6	Модуль сдвига, ГПа	33,3	1,15	0,7–1,0	~ 0,8
7	Ударная прочность, кДж/м ²	2	15	не разруш. (~ 1000)	–

закалка эффективна только для листов с толщиной, большей 2,5 мм.

Шлем «Рысь» с кварцевым стеклом был испытан обстрелом пуль Пст к пистолету ТТ, на рис. 4.

В настоящее время в России выпускаются пуленепробиваемые прозрачные преграды.

В настоящее время в ОАО «НИИ стали» проводятся интенсивные работы по изучению материалов и разработке структур для прозрачной брони, имеющие целью снижение массы преграды. Так, например, хороший результат в данном направлении достигается при применении в прозрачных бронеструктурах кварцевого стекла.

Снижение массы прозрачной защиты может быть также осуществлено при использовании в качестве лицевого слоя сапфира (лейкосапфира) на основе монокристаллического оксида алюминия с твёрдостью по шкале Мооса равной 9 и ромбоэдрической кристаллической структурой.

Учитывая большой интерес к разработке слоистой прозрачной брони с применением искусственного лейкосапфира за рубежом (США, Израиль, Украина, Чехия), в ОАО «НИИ стали» проведена работа по оценке эффективности применения лейкосапфиров, производимых в России, в качестве лицевого слоя в прозрачных преградах.

Как показали проведённые испытания, перспективным вариантом при создании прозрачных бронепреград высоких классов защиты может быть использование пластин монокристалла лейкосапфира толщиной 4–8 мм в качестве лицевого слоя, с формированием средних слоёв из силикатного (в т.ч. кварцевого) стекла и тыльного слоя из поликарбоната.



Рис. 4. Шлем «Рысь» с кварцевым стеклом

Указанная многослойная структура позволяет минимум в 1,5 раза уменьшить толщину и массу преграды для защиты от обстрела 7,62-мм пулями из снайперской винтовки Драгунова. Следует заметить, что противопоульная стойкость такой многослойной прозрачной брони зависит от технологии получения лейкосапфира, соотношения слоёв и их методов соединения.

Испытания различных опытных слоистых структур с лицевым слоем из лейкосапфира показали, что экономия по массе и толщине в сравнении с существующими прозрачными преградами составляет не менее 30 %. Сравнительные характеристики прозрачной брони приведены на рис. 5.

Применение горячего изостатического прессования позволяет повысить оптические и физические свойства шпинели за счёт повышения её плотности и уменьшения пористости, что, в свою очередь, происходит из-за уменьшения количества связующего.

По результатам проведенного анализа и обобщения характеристик прозрачных бронематериалов определено, что основными показателями характеристик прозрачных бронематериалов являются:

- плотность, г/см³;
- предел прочности на разрыв, МПа;
- предел прочности при сжатии, МПа;
- светопропускание, %;
- пулестойкость;
- оптические искажения.

В результате изучения состояния нормативно-методической и экспериментальной базы испытаний в России и за рубежом, можно сделать вывод, что межгосударственные стандарты регламентирующие практику оценки пара-

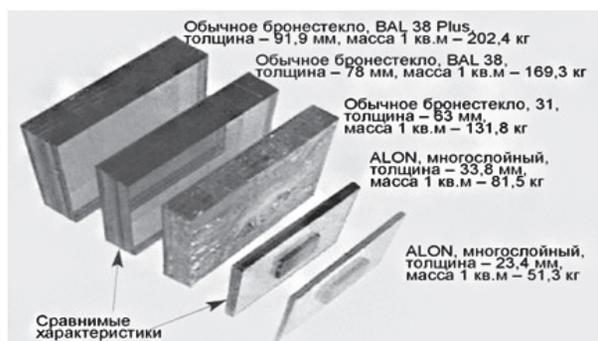


Рис. 5. Сравнение характеристики обычного силикатного броневое стекла и структуры на основе прозрачной керамики

метров бронестекла подходят для определения передовой керамики, которая является упругой, однородной и изотропной. В настоящее время, нет методики, которая позволила бы взять единый образец для различных исходных данных испытаний.

Литература

1. Хасанов О.Л., Бикбаева З.Г. Наноструктурная керамика. Порошковые технологии компактирования конструкционных материалов. Томский политехнический университет. — Томск. 2009. 41 с.

2. Гринберг Е.Е. Керамические материалы для современных микро- и нанотехнологий [текст] / Гринберг Е.Е., Беляков А.В., Вальнин Г.П. // IV международная конференция «Химия твердого тела и современные микро- и нанотехнологии». — Кисловодск-Ставрополь: СевКавГТУ. 2004.

3. Третьяков Ю.Д., Лепис Х. Химия и технология твердофазных материалов. — М.: Изд-во МГУ. 1985. 256 с.

4. Budworth D.W. «Прозрачность поликристаллической керамики», специальная керамика 5. Изд. Поппер, Британская Ассоциация Керамических Исследований. Англия. 186 (1970).

5. ГОСТ EN 13541-2013 Стекло и изделия из него. Метод испытания на стойкость к воздействию взрыва [Текст]. Введ. 2015-01-01. — М.: Стандартинформ. 2014. 16 с.

6. ГОСТ 32529-2013 Стекло и изделия из него. Правила приемки [Текст]. Введ. 2015-01-01. — М.: Стандартинформ. 2014. 10 с.

7. ГОСТ 32566-2013 Стекло и остекление. Методы испытаний на стойкость к огнестрельному оружию [Текст]. Введ. 2015-01-01. — М.: Стандартинформ. 2014. 10 с.

8. ГОСТ 32996-2014 Стекло и изделия из него. Методы испытаний на стойкость к климатическим воздействиям. Испытание на морозостойкость [Текст]. Введ. 2016-04-01. — М.: Стандартинформ. 2015. 7 с.

9. ГОСТ 33000-2014 Стекло и изделия из него. Метод испытания на огнестойкость [Текст]. Введ. 2016-04-01. — М.: Стандартинформ. 2015. 16 с.

10. ГОСТ 33004-2014 Стекло и изделия из него. Характеристики. Термины и определения [Текст]. Введ. 2016-04-01. — М.: Стандартинформ. 2015. 15 с.

11. ГОСТ 33090-2014 Стекло и изделия из него. Метод определения звукоизолирующей способности [Текст]. Введ. 2016-04-01. — М.: Стандартинформ. 2015. 11 с.

12. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. № 1 (34). С. 3–33.

13. Сентюрин Е.Г., Мекалина И.В., Тригуб Т.С., Климова С.Ф. Модифицированные органические стекла для перспективной авиационной техники // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. № 2. С. 2–4.

14. Григорян В.А., Кобылкин И.Ф., Маринин В.М., Чистяков Е.Н. Материалы и защитные структуры для локального и индивидуального бронирования // РадиоСофт. 2008. 406 с.

15. Шайдуллин И.Н., Смелик А.А., Шевченко Я.В., Губанов Е.В. Перспективы дальнейшего развития прозрачных бронематериалов. Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Технологии энергообеспечения. Аппараты и машины жизнеобеспечения» // Сборник статей Всероссийской научно-технической конференции. Федеральное государственное автономное учреждение «Военный инновационный технополис «ЭРА». 2019. С. 196–202.

16. Кобылкин И.Ф., Селиванов В.В. Материалы и структуры легкой бронезащиты. Серия: Взрыв и удар: физика, техника, технологии. Уч. пособие: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. 192 с. ISBN: 978-5-7038-4001-6.