УДК 621.791.13

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-11-246-14-18

*В. И. Кузьмин, канд. техн. наук, В. И. Лысак, академик РАН, С. В. Кузьмин, д-р техн. наук,
Е. В. Кузьмин, канд. техн. наук, В. О. Харламов, канд. техн. наук, Я. В. Мельников*

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ СВАРКОЙ ВЗРЫВОМ ДИСКРЕТНО-АРМИРОВАННЫХ БРОНЕВЫХ КОМПОЗИТОВ

Волгоградский государственный технический университет, weld@vstu.ru

В работе представлены результаты исследований по созданию сваркой взрывом дискретно-армированной композиционной брони (ДАК). Приведены преимущества композитной брони нового поколения и сравнительные данные с лучшими аналогами отечественных бронежилетов и бронепанелей. На основе результатов баллистических испытаний установлено, что броня ДАК соответствует уровню защиты по 5 классу, т. е. не пробивается пулями повышенной твердости. Показано, что даже после многократных пулевых попаданий броня ДАК сохраняет свою целостность и прочность.

Ключевые слова: сварка взрывом, броневые материалы, композит, баллистические испытания, микроструктура

V. I. Kuz'min, V. I. Lysak, S. V. Kuz'min, E. V. Kuz'min, V. O. Kharlamov, Ya. V. Mel'nikov

PROSPECTS FOR CREATING DISCRETE-REINFORCED ARMOR COMPOSITES BY EXPLOSION WELDING

Volgograd State Technical University, weld@vstu.ru

The paper presents the results of research on the creation of discrete-reinforced composite armor (DAC) by explosion welding. The advantages of new-generation composite armor and comparative data with the best analogues of domestic bullet-proof vests and armor panels are presented. Based on the results of ballistic tests, it was found that the DAC armor corresponds to the level of protection for class 5, i.e. it is not penetrated by bullets of increased hardness. It is shown that even after multiple bullet hits, the DAC armor retains its integrity and strength.

Keywords: explosion welding, armor materials, composite, ballistic testing, microstructure

Важнейшей задачей по созданию надежных и эффективных средств защиты личного состава и военной техники от проникновения поражающих элементов (пуль, снарядов, осколков) является разработка принципиально новых конкурентоспособных броневых материалов и конструкций, сочетающих высокую живучесть, долговечность при минимальной массе и стоимости изготовления. Современные броневые материалы условно классифицируются на четыре основные группы (рис. 1): металлическая броня, керамическая броня, полимерная (текстильная) броня и комбинированная броня [1 ... 4].

Несмотря на бурное развитие военного научно-технического прогресса и разработки новых технологий в области защиты личного состава и военной техники сталь и ее сплавы все еще остаются одними из основных броневых материалов в вооружен-

ных силах РФ (производители брони: НИИ Стали, НПП Класс, НПО Специальных материалов, фирма Форт-технология, компания СПЛАВ). Основным недостатком стальной брони является ее большая масса. Так, при защите от стрелкового оружия по 5 классу (ГОСТ Р 50744-95) средняя поверхностная плотность стальной брони составляет 60-65 кг/м², а по 6 классу защиты – более 80 кг/м². К другим недостаткам следует отнести разлет осколков в результате разрушения (или рикошета) пули при встрече ее со стальной броней и отсутствие полноценной защиты от пуль с бронебойным термоупрочненным сердечником.

В последние годы большой интерес проявляется к керамической брони (производители брони: ООО «Алокс», ООО «Вириал», ОАО «НЭВЗ-керамикс», ЦНИИМ, TenCate Armor – США, Barat – Германия). Керамические броневые материалы обладают меньшей

плотностью и более высокой твердостью по сравнению с броневыми сталями, обеспечивая при этом максимальный уровень защиты. Однако керамика обладает низкой ударной вязкостью, что приводит, как правило, к разрушению броневых элементов уже после

брони обычно не превышают 3 класса защиты).

Следует отметить, что каждый вид из рассмотренных броневых материалов обладает своими преимуществами и недостатками. Вместе с тем в последние годы особую

Рис. 1. Классификация броневых материалов

первого его поражения баллистическим индентером, т. е. такая броня имеет низкую живучесть. При этом цена керамической брони достаточно высока по сравнению со стальной броней.

С приходом в 21-ом веке нанотехнологий появилось новое поколение текстильной (полимерной) брони на основе арамидных волокон и сверхвысокомодульного полиэтилена. Основой такой брони являются ткани различной структуры, пропитанные металлическими или керамическими частицами: kevlar, spectra (США), twaron, dyneema (Нидерланды), СВМПЭ, РУСАР (Россия) и др. К основным преимуществам тканевой брони следует отнести ее малый вес, гибкость, комфортность при эксплуатации изделия, а к недостаткам – ее высокую стоимость и ограничения по степени защиты (тканевые

актуальность приобретает проблема защиты от средств поражения, обладающих высокой проникающей способностью, например, бронебойных пуль с термоупрочненными сердечниками.

Целью данной работы являлось создание дискретно-армированной композиционной брони (ДАК) нового поколения на основе оптимизации весовых и баллистических характеристик, рационального конструирования структуры, сочетания слоев и ингредиентов, входящих в броневой композит.

В настоящее время наиболее перспективный путь совершенствования средств защиты личного состава и военной техники от проникновения поражающих элементов – это создание комбинированной (композитной) брони [5 ... 7]. Данная группа брони основана на комбинации базовых подходов

при конструировании средств защиты с применением слоистых, армированных и супергибридных броневых материалов (рис. 1). Поэтому при разработке новой брони за основу был выбран вариант комбинированной брони ДАК с применением современных материалов и рациональном конструировании структуры броневоего композита.

Основные принципы проектирования брони ДАК заключаются в рациональном конструировании структуры, слоев и ингредиентов, выполняющих различные функциональные задачи. Так, металлические (керамические) тела качения изменяют траекторию полета, тормозят и сплющивают пулю; «мягкая» алюминиевая матрица (наполни-

тель) запрещает разлет осколков и делает броню ремонтноспособной в боевых условиях; высокопрочный титановый слой осуществляет функции окончательного поглощения кинетической энергии пули и ее полную остановку. При этом очень важно, чтобы все элементы и ингредиенты брони составляли единую цельную конструкцию и имели прочную связь между собой. С учетом того, что все составные элементы брони выполнены из разнородных материалов, то наиболее перспективным технологическим процессом ее изготовления является метод сварки взрывом, позволяющий получать прочно-плотные соединения с различным сочетанием слоев и ингредиентов (металли-

а)

б)

Рис. 2. Фотографии фронтальной (а) и тыльной (б) стороны опытного образца брони после стрелковых испытаний из автомата АКМ термоупрочненной пулей калибра 7,62 мм (темным квадратом выделен участок композитной брони ДАК):
1,2,5 – сквозные отверстия от пули; 3, 4 – вмятины от застрявшей в броне пули

а)

б)

Рис. 3. Макрошлиф участка брони ДАК (а) и микроструктура границы соединения композита (б) после стрелковых испытаний (×50):
1 – застрявшая в броне пуля; 2 – тело качения (шарик); 3 – слой матрицы; 4 – основной слой

ческих и неметаллических).

На базе результатов проведенных исследований на кафедре «Оборудование и технология сварочного производства» ВолгГТУ создана дискретно-армированная компози-

е. не пробивается пулями повышенной твердости. При этом следует отметить высокую живучесть и быструю ремонтноспособность брони ДАК в боевых условиях. Так, отверстия от застрявших в броне пуль до-

Сравнение отечественных бронежилетов и бронепанелей с новой броней ДАК

Наименование бронежилета (бронепанели)	Класс защиты по ГОСТ Р 50744-95	Площадь броневых панелей, дм ²	Вес брони, кг	Толщина брони, мм	Материал брони
Спецназ	4 класс (Бр4)	6,4	5,1	–	керамика
6Б23-2		8+8	7,2	–	керамика+сталь
Кираса универсал		13,5	8,1	–	сталь
Бронепанель		7,5	3,8	6,5	сталь 44С
Бронепанель		7,5	3,8-5,9	6,5-10	сталь С-500
ДАК-4		7,5	3,7-3,9	18-20	дискретно-армированный композит
ДАК-4к (в перспективе)		7,5	3,1-3,5	15-17	дискретно-армированный керамо-композит
Миротворец	5 класс (Бр5)	16	10,7	–	керамика
Штурм-ВВ		18	14,5	–	сталь
Бронепанель		7,5	7,0-8,2	12-14	сталь С-500
Бронепанель		7,5	8,2	14	сталь 37У
ДАК-5		7,5	4,9-5,6	21-23	дискретно-армированный композит
ДАК-5к (в перспективе)		7,5	4,2-4,7	18-20	дискретно-армированный керамо-композит
6Б43 (Ратник)		7,2+8,2	9	–	органо-керамика
Корунд-ВМК	6 класс (Бр6)	6+2,2	10,9	–	керамика+сталь
Бронепанель		7,5	9,4-14,6	16-25	сталь С-500
Бронепанель		7,5	11,7	20	сталь 37У
ДАК-6		7,5	6,3-6,9	24-26	дискретно-армированный композит
ДАК-6к (в перспективе)		7,5	5,7-6,1	21-23	дискретно-армированный керамо-композит

ционная броня ДАК нового поколения, сочетающая высокую живучесть, прочность, долговечность при минимальной поверхностной плотности брони [8, 9].

Изготовленные сваркой взрывом опытные образцы брони ДАК были подвергнуты баллистическим испытаниям на базе Волгоградской академии МВД из автомата АКМ пулями калибра 7,62 мм с термоупрочненным стальным сердечником. Результаты стрелковых испытаний показали (рис. 2), что броня ДАК соответствует уровню защиты по 5 классу согласно ГОСТ Р 50744-95, т.

статочно легко и быстро зачеканиваются молотком со стороны «мягкого» алюминиевого слоя. Для полного восстановления поврежденной брони в отверстия от пуль можно вставить высокопрочные металлические или керамические тела качения (шарики) с последующей их запрессовкой молотком.

На рис. 3, а представлен макрошлиф участка брони ДАК, где четко видно, что пуля при встрече с шариком меняет свое направление, тормозится и полностью останавливается, упрочняя тем самым кон-

струкцию брони, а осколки застревают в алюминиевом слое матрицы. Металлографические исследования микроструктуры показали, что даже после многократных пулевых попаданий броня ДАК сохраняет свою целостность и прочность (рис. 3, б).

Броня нового поколения ДАК благодаря уникальности разработок обладает рядом преимуществ:

- возможность создания брони разных степеней защиты (от класса защиты Бр3 до Бр6) за счет конструирования брони заданной структурой, с различным сочетанием слоев, толщин и ингредиентов;

- универсальность брони, предназначенной как для защиты личного состава, так и для защиты жизненно важных узлов военной техники (бронемашин, мобильных ракетных и радиолокационных установок, катеров и др.);

- поверхностная плотность брони не превышает $45\text{--}50\text{ кг/м}^2$, что существенно меньше лучших отечественных аналогов броневых сталей (более 60 кг/м^2);

- высокая степень защиты и живучесть брони (до 7 попаданий на квадратный дециметр, «пуля в пулю»);

- отсутствие возможности рикошета пули и разлета осколков за счет применения в конструкции «мягкой» матрицы;

- возможность быстрой ремонтноспособности брони в боевых условиях;

- в перспективе возможность существенно уменьшить вес брони (на 20-30 %) за счет введения облегченных керамических и армированных элементов.

Сравнение лучших отечественных бронешитов и бронепанелей с броней ДАК показывает (таблица), что изготовленная с помощью сварки взрывом композитная броня по весовым характеристикам значительно легче защитных средств из броневых сталей и практически не уступает лучшим

аналогам керамической брони, существенно превосходя ее в живучести и долговечности.

Выводы:

1. На базе результатов исследований создана дискретно-армированная композиционная броня ДАК нового поколения, сочетающая высокую живучесть, прочность, долговечность при минимальной поверхностной плотности брони.

2. Баллистические испытания показали, что броня ДАК соответствует уровню защиты по 5 классу согласно ГОСТ Р 50744-95, при этом даже после многократных пулевых попаданий новая композитная броня сохраняет свою целостность и прочность.

Библиографический список

1. Кобылкин, И. Ф. Материалы и структуры легкой бронезащиты / И. Ф. Кобылкин, В. В. Селиванов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 191 с.
2. Материалы и защитные структуры для локального и индивидуального бронирования / В. А. Григорян, И. Ф. Кобылкин, В. М. Маринин, Е. Н. Чистяков. – М.: РадиоСофт, 2008. – 406 с.
3. Чистяков, Е. Н. Броневые материалы на основе полимерных волокон / Е. Н. Чистяков // Мир и безопасность. – 2014. – № 4. – С. 19-25.
4. Гаршин, А. П. Ударопрочные материалы на основе технической керамики: достижения и перспективы повышения их баллистической эффективности / А. П. Гаршин, В. И. Кулик, А. С. Нилов // Новые огнеупоры. – 2016. – № 4. – С. 53-67.
5. Алексеев, М. О. Современное состояние броневых материалов / М. О. Алексеев, Е. Н. Чистяков, Д. Г. Купрюнин // Экспорт вооружений. – 2017. – Спец. выпуск. – С. 50-56.
6. Чернышов, Е. А. Создание металлокерамических элементов баллистической защиты с применением керамики на основе алюминия / Е. А. Чернышов, В. В. Мыльников, М. В. Мыльникова, А. Д. Романов, Е. А. Романова // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 4. – С. 97-101.
7. Templeton, D. W. Computational study of a functionally graded ceramic-metallic armor / D. W. Templeton, T. J. Gorsich, T. J. Holmquist // 23-International symposium on ballistics. – Tarragona, Spain, 16-20 april, 2007. – Pp. 1155-1164.
8. Пат. 2315257 РФ, МПК F 41 H 5/04. Броневой элемент / А. Н. Кривенцов, В. И. Лысак, В. И. Кузьмин, С. В. Кузьмин; ВолгГТУ. – 2008.
9. П. М. 141199 РФ, МПК F41H5/04. Броневой дискретно-армированный элемент / В. И. Кузьмин, В. И. Лысак, С. В. Кузьмин, Ю. В. Снежко, А. А. Курин, Н. В. Павличенко; ВолгГТУ. – 2014.