

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 669; 621.791.13; 620.22

doi: 10.30987/2782-5957-2025-7-35-45

## РАЗРАБОТКА НОВОГО ТИПА ГЕТЕРОГЕННОГО БРОНЕВОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ И ТИТАНА, ПОЛУЧЕННОГО С ПРИМЕНЕНИЕМ СВАРКИ ВЗРЫВОМ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО СВОЙСТВ

Дмитрий Борисович Крюков<sup>1✉</sup>, Алексей Олегович Кривенков<sup>2</sup>, Максим Сергеевич Гуськов<sup>3</sup>, Антон Алексеевич Акимов<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

<sup>1</sup> ddbbk@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0393-9550>

<sup>2</sup> krivenkov80@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1614-2487>

<sup>3</sup> Suralab@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4143-576X>

<sup>4</sup> fanfcban@mail.ru

### Аннотация

Основной целью исследования является получение нового типа гетерогенного броневого материала на основе алюминия и титана сваркой взрывом, обладающего повышенными тактико-техническими характеристиками по сравнению с монометаллическими броневыми материалами. Задачи, решению которых посвящена статья, заключаются в разработке технологии создания указанного композиционного материала и изучению его основных физико-механических свойств. В качестве методов исследования применялся сравнительный анализ на этапе определения актуальности работы, математический расчет параметров сварки взрывом для получения композита, оценка макроструктуры материала, оценка количественного химического состава металлической основы композита и его околосшовной зоны, оценка пулестойкости. Новизна работы заключается в применении новой схемы армирования, благодаря которой повышает-

ся комплекс свойств броневого материала по сравнению с монометаллическими бронями. Результаты исследования показали, что разрабатываемые материалы востребованы как в России, так и за рубежом; наилучшую эффективность на сегодняшний день показывают сложные гетерогенные броневые структуры на основе алюминия; наиболее актуальным способом создания композиционного материала является сварка взрывом. Получен гетерогенный броневой материал, который позволяет снизить вес бронированной техники на 20...25 % при условии сохранения заданного уровня пулестойкости в сравнении с монометаллической алюминиевой броней.

**Ключевые слова:** материал, сварка, микроструктура, интерметаллид, пулестойкость, исследование.

### Ссылка для цитирования:

Крюков Д.Б. Разработка нового типа гетерогенного броневого материала на основе алюминия и титана, полученного с применением сварки взрывом и исследование его свойств / Д.Б. Крюков, А.О. Кривенков, М.С. Гуськов, А.А. Акимов // Транспортное машиностроение. – 2025. - № 7. – С. 35-45. doi: 10.30987/2782-5957-2025-7-35-45.

Original article

Open Access Article

## DEVELOPMENT OF A NEW TYPE OF HETEROGENEOUS ARMOR ALUMINUM AND TITANIUM-BASED MATERIAL OBTAINED USING EXPLOSION WELDING AND STUDY OF ITS PROPERTIES

Dmitry Borisovich Kryukov<sup>1✉</sup>, Aleksey Olegovich Krivenkov<sup>2</sup>, Maksim Sergeevich Guskov<sup>3</sup>, Anton Alekseevich Akimov<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Penza State University, Penza, Russia

<sup>1</sup> ddbbk@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0393-9550>

<sup>2</sup> krivenkov80@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1614-2487>

<sup>3</sup> Suralab@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4143-576X>

<sup>4</sup> fanfcban@mail.ru

## Abstract

The study objective is to obtain a new type of heterogeneous armor material based on aluminum and titanium by explosion welding, which has improved tactical and technical characteristics compared to monometallic armor materials. The paper tasks are to develop a technology for making the specified composite material and to study its basic physical and mechanical properties. The research methods used are comparative analysis at the stage of determining the efficiency of work, mathematical calculation of explosion welding parameters to obtain the composite, assessment of the macrostructure of the material, assessment of the quantitative chemical composition of the composite metal base and its edge zone, and assessment of its bullet resistance. The novelty of the work is in the application

of a new reinforcement scheme, which increases the complex of properties of armored material compared to monometallic armor. The study results show that the materials developed are in demand both in Russia and abroad; complex heterogeneous aluminum-based armor structures currently show the best efficiency; explosion welding is the most relevant way to create a composite material. The heterogeneous armor material is obtained, which makes it possible to reduce the weight of armored vehicles by 20...25 %, provided that the specified level of bullet resistance is maintained in comparison with monomeric aluminum armor.

**Keywords:** material, welding, microstructure, intermetallic compound, bulletproof property, research.

## Reference for citing:

Kryukov DB, Krivenkov AO, Guskov MS, Akimov AA. Development of a new type of heterogeneous armor aluminum and titanium-based material obtained using explosion welding and study of its properties. Transport Engineering. 2025;7:35-45. doi: 10.30987/2782-5957-2025-7-35-45.

## Введение

В последние десятилетия алюминиевая броня стала одним из важнейших материалов в защите боевых машин, обеспечивая высокий уровень безопасности при относительно небольшом весе. Ее ключевое преимущество перед традиционной стальной броней заключается в лучшей стойкости к бронебойным пулям, включая боеприпасы малого и крупного калибра. Кроме того, алюминиевые сплавы обладают высокой технологичностью: они легко поддаются обработке, хорошо свариваются и обеспечивают эффективную противоминную и противоосколочную защиту. Первые шаги в применении алюминия для бронирования были сделаны в США, где разработали специальные сплавы и создали первый бронетранспортер с корпусом из этого материала [1]. Вслед за ними другие страны, включая Россию, Великобританию и Францию, начали разрабатывать собственные алюминиевые бронеконструкции для военной техники. С появлением специализированных сплавов системы Al-Zn-Mg возможности алюминиевой брони значительно возросли. Эти материалы сочетают высокую прочность и пластичность, что делает их востребованными в производстве авиации, танков, бронетранспортеров, боевых роботов, беспилотников и других видов вооружений.

Благодаря низкой плотности алюминиевых сплавов конструкции на их основе, сохраняя свои функциональные и габаритные размеры, имеют меньший вес по сравнению с аналогичным изделием из конструкционной стали. Такое снижение веса может использоваться для улучшения тактико-технических характеристик бронемашин и средств индивидуальной защиты, для повышения пуле и бронестойкости, увеличения степени защиты экипажа, повышения объема полезной нагрузки и степени вооруженности [2].

Алюминиевые брони хорошо зарекомендовали себя в условиях малых и больших углов обстрела. При малом угле обстрела (менее 40°) алюминиевые сплавы эффективно поглощают энергию баллистического объекта, исключая сквозное пробитие бронеконструкции. При большом угле обстрела (свыше 40°) баллистический объект рикошетирует от поверхности изделия, не нарушая целостности брони. Однако несмотря на все указанные выше преимущества основным недостатком алюминиевой брони является невозможность обеспечения сопоставимой со стальной броней противоснарядной стойкости, вследствие чего тяжелая бронированная техника изготавливается по-прежнему на основе стальных моно и многослойных броней.

Другими широко применяемыми бронематериалами являются сплавы на основе титана. Оценка их пулестойкости различными средствами поражения показывает перспективность их использования как для изготовления средств индивидуальной защиты, так и для легкобронированной техники. Общее снижение веса конструкции на их основе по сравнению со стальной может достигать от 10 до 25 %. Однако, ввиду определенных структурных особенностей, связанных с высокой степе-

нью локализации титаном внешнего деформационного воздействия, в чистом виде, в качестве броневых материалов с высокой степенью пулестойкости титановые сплавы ограничены к применению. Невозможность реализации высокой динамической твердости титаном связана с эффектом «среза пробки», который заключается в создании условий для сквозного пробития за счет сдвига комплексов атомов в структуре титана по плоскости скольжения [3].

## Материалы и методы

На сегодняшний день наиболее перспективным является применение комбинированных (гетерогенных) броней на основе сплавов титана и алюминия, сочетающих в себе весь комплекс преимуществ вышеуказанных сплавов. На кафедре «Сварочное, литейное производство и материаловедение» Пензенского государственного университета разработан новый тип композиционных броневых материалов на основе высокопрочного алюминиевого сплава [4–6]. В качестве основы композита предложено использовать броневой алюминиевый сплав марки В95, являющийся одним из наиболее прочных легких конструкционных сплавов, используемых

в том числе и в качестве броневых. На основе сплава В95 изготавливается широкая линейка военной техники легкого класса бронирования, от бронемашин пехоты до катеров и боевых роботов.

В качестве армирующих листов композита было предложено использование титанового сплава марки ВТ1-0. Титановый сплав ВТ1-0 отличается легкостью и жаропрочностью. Изготовленный на его основе прокат имеет небольшую плотность и высокую пластичность. Эти свойства позволяют получать из него изделия любой геометрической формы путем последующего технологического передела.

## Результаты

В армирующих титановых листах предварительно изготавливают перфорации диаметром 25 мм с целью обеспечения процесса формирования через них соединения между слоями металлической алюминиевой основы матрицы композита.

Схема сборки пакета композиционного материала перед сваркой взрывом приведена на рис. 1.

Общее количество слоев броневого композиционного материала составляет 5 и более, при этом промежуточные 2-ой и 4-ый армирующие слои располагают таким образом, чтобы отверстия в них перекрывали друг друга, исключая возможное сквозное прохождение через них баллистического объекта [7].

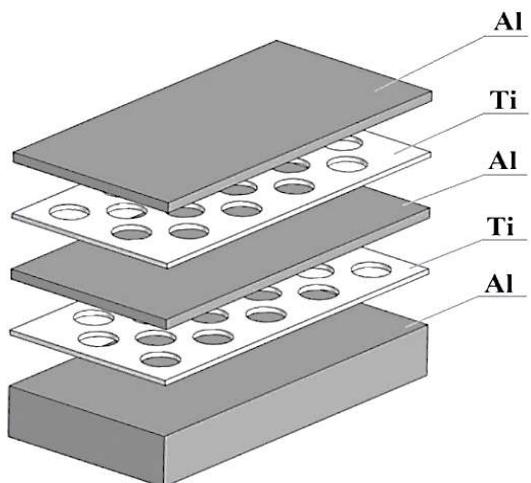


Рис. 1. Схема сборки пакета композиционного материала перед сваркой взрывом

Fig. 1. Assembly diagram of a composite material package before explosion welding

При получении гетерогенных композиционных материалов на основе сплавов алюминия и титана традиционными способами (пакетная прокатка, диффузионная сварка и др.) возникают сложности с обеспечением прочного соединения между исходными материалами из-за их различия в физико-химических и физико-механических свойствах, например, высокой твёрдости и прочности одного материала и высокой пластичности при низкой плотности другого. В этой связи авторами

было предложено в качестве способа получения композиционного материала использовать технологию сварки материалов взрывом, не имеющую вышеуказанных ограничений [8–10].

На основе анализа технологических схем получения сваркой взрывом композиционных металлических материалов для изготовления композиционного материала было предложено использование плоско-параллельной схемы сварки взрывом, представленной на рис. 2.

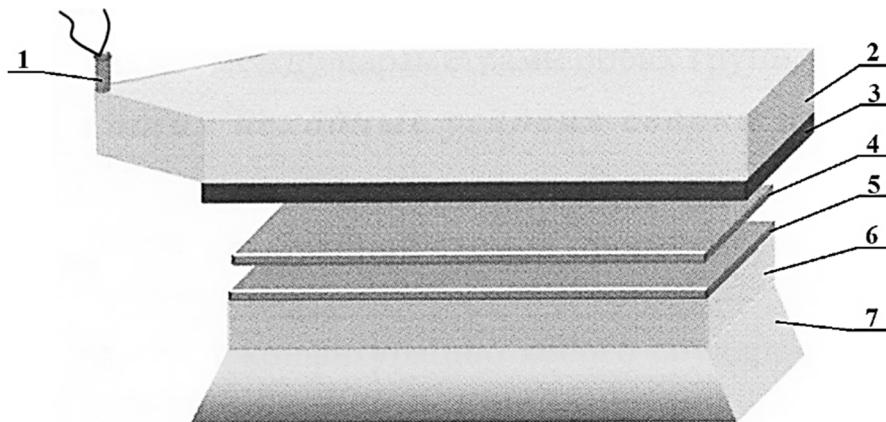


Рис. 2. Схема сварки композиционного материала взрывом:  
1 – электродетонатор, 2 – контейнер с взрывчатым веществом,  
3 – метаемая пластина, 4 – промежуточная пластина, 5 – неподвижная

пластина, 6 – металлическое основание, 7 – грунт

*Fig. 2. Explosion welding scheme of composite material:*

*1 – electric detonator, 2 – explosive container, 3 – throwable plate,  
4 – intermediate plate, 5 – fixed plate, 6 – metal base, 7 – ground*

Сварку взрывом производили с использованием взрывчатого вещества марки «Игданит» представляющего собой смесь аммиачной селитры с дизельным топливом. На основе анализа состояния композиционного материала после сварки взрывом посредством визуально-измерительного контроля, а также результатов ультразвукового исследования материала был определен рациональный диапазон технологических параметров ударно-волнового нагружения, обеспечивающий получение качественного композита.

Дальнейший спектр исследований композиционного материала был направлен на изучение его микроструктуры. В ходе исследования было показано, что сваренный на рациональном режиме композиционный материал имеет преимущественно безволновой характер зоны соеди-

нения слоев с отсутствием непроваров и интерметаллических включений. Макрошлиф композиционного армированного материала после сварки взрывом представлен на рис. 3.



Рис. 3. Макрошлиф композиционного материала  
*Fig. 3. Macro-graph of composite material*

Выбор композиции сплавов алюминия и титана для изготовления броневого материала был обусловлен также тем обстоятельством, что на заключительной стадии формирования комплекса свойств композита в структуре материала термической обработкой формируются высокотвердые интерметаллические слои, которые выполняют роль дробящих баллистический объект преград.

Анализ литературных данных и диаграммы состояний бинарной системы Ti-Al показал, что основным типом интерметаллида, возникающим при взаимной термодиффузии в зоне контакта алюминия и титана является  $TiAl_3$  [11].

Интерметаллид  $TiAl_3$  имеет самую низкую плотность 3,4 г/см<sup>3</sup>, высокую микротвердость 465...670 кг/мм<sup>2</sup>.

Полный цикл термической обработки броневого композиционного материала заключается в отжиге на интерметаллид путем нагрева от 550 до 625 °C с последующей выдержкой в печи от 6 до 300 часов. Далее следует закалка образцов при температуре от 460 до 470 °C, с последующим охлаждением в воде, подогретой до 100 °C. После проводится искусственное старение образцов при температуре 110 °C с выдержкой в печи в течении 10-ти часов, с последующим охлаждением в печи. Ряд

параметров режима старения композита является предметом ноу-хау и не приводится в данной статье.

Слои интерметаллида формируются в результате термодиффузионных процессов на границах сваренных слоев композита, при этом скорость роста и толщина интерметаллических прослоек регулируется величиной температуры отжига и временем выдержки материала в печи. Исследование диффузионных процессов на различных температурах позволило определить зависимость скорости роста интерметаллида. Анализируя полученные результаты можно сделать вывод о том, что максимальная толщина прослойки интерметаллида порядка 90...100 мкм может быть получена при условии выдержки композита в печи с температурой 625 °C в течение 300 часов. Однако дальнейшая выдержка в печи не показывает существенного увеличения толщины слоя интерметаллида, что свидетельствует о существенном замедлении термодиффузионных процессов.

Исследование химического состава прослоек интерметаллида методом рентгенофазового анализа позволило идентифицировать их как соединение  $TiAl_3$  [12].

Фазовый состав композита в зависимости от времени выдержки в печи приведен на рис. 4.

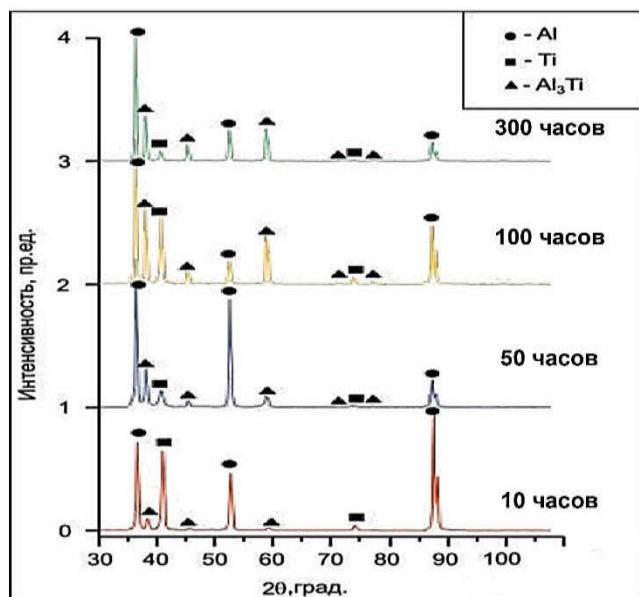


Рис. 4. Фазовый состав композита после отжига при температуре 625 °C с различным временем выдержки в печи

*Fig. 4. The phase composition of the composite after annealing at a temperature of 625 °C with different holding times in the furnace*

На рис. 5 представлена микроструктура граничной зоны соединения композиционного гетерогенного материала прошедшего термообработку.

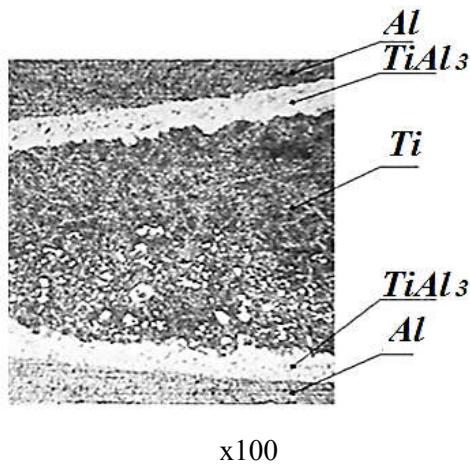


Рис. 5. Микроструктура граничной зоны соединения композиционного гетерогенного броневого материала

*Fig. 5. Microstructure of the boundary zone of the composite heterogeneous armor material*

Обладая высоким значением твердости, сопоставимой с твердостью закаленной стали интерметаллические  $TiAl_3$  слои в составе композиционного гетерогенного материала будут способствовать гашению кинетической энергии баллистического объекта тем самым фрагментируя его на более мелкие осколки, которые в свою очередь будут удерживаться высоковязкими алюминиевыми слоями металлической основы матрицы композита.

Результатами макроскопического анализа структуры материала в месте баллистического воздействия после оценки пулестойкости показано, что наличие перфораций в промежуточных титановых слоях между основными слоями алюминиевой матрицы композита позволило локализовать механизм развития хрупких трещин при баллистическом воздействии на материал, тем самым повысив живучесть самой алюминиевой брони. При взаимодействии с баллистическим объектом в материале образуются хрупкие трещины, которые преимущественно формируются и растут в высокотвердых интерметаллических слоях, расположенных вдоль границы соединения алюминия и титана. Эти трещины

распространяются от точки контакта с баллистическим объектом и, достигнув области перехода от края перфорации к зоне сварки вязкой металлической основы композитной матрицы, останавливаются, что приводит к прекращению их дальнейшего развития. Последний факт обеспечивает условие выхода на максимальный уровень прочности соединения, соответствующий прочности металлической основы матрицы композита. Проведенные испытания по оценке прочности показали, что по сравнению с монометаллом матрицы основы композита увеличение прочности композита составило более 20 %.

Таким образом, разрабатываемый композиционный материал представляет собой многослойную композицию (рис. 6), состоящую из нечетного количества слоев.

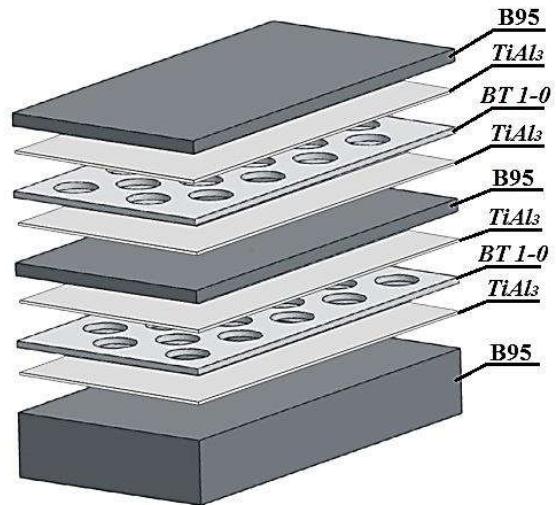


Рис. 6. Внешний вид модели композиционного гетерогенного броневого материала на основе сплавов титана и алюминия

*Fig. 6. Appearance of a composite heterogeneous armor material based on titanium and aluminum alloys*

Требуемые характеристики материала обеспечиваются особенностью его структуры, представляющей собой чередование в определенной последовательности прочных титановых, высокотвердых интерметаллических и вязких алюминиевых слоев, а также контактом между слоями металлической матрицы композита через перфорации заданной геометрии в армирующих слоях. Упрочнение композицион-

ного материала достигается как за счет наличия в схеме армирования перфораций, обеспечивающих высокопрочное соединение матрицы, так и за счет формирования в его структуре на границах матрицы и перфорированного армирующего элемента интерметаллических высокотвердых слоев регулируемой толщины последующей термической обработкой [4, 5].

С целью оценки броневых характеристик композиционного материала были проведены оценочные испытания на пулестойкость экспериментальных образцов. Испытания проводились в Государственной испытательной станции Российской Федерации по испытаниям ручного огнестрельного оружия и патронов к нему и технических средств защиты (АО «ЦНИИТОЧМАШ», г. Москва).

Для проведения оценочных испытаний экспериментальных образцов композиционного броневого материала на пулестойкость допускается применение как ГОСТ Р 51112-97 так и ГОСТ 34286-2017. Это возможно в связи с тем, что в данных нормативных документах предъявляются одинаковые требования к регламентированным средствам поражения, а так же допускается проведение оценочных испытаний экспериментальных образцов.

При проведении испытаний допускается использование баллистических стволов или огнестрельного оружия, перечисленного в указанных нормативно-технических документах, имеющих аналогичные значения (оружию, перечисленному определяющих параметров – длина ствола, количество, глубина и угол наклона нарезов.

Испытания проводились в нормальных климатических условиях. Испытаниям подвергались экспериментальные образцы композиционных броневых материалов, прошедшие полный цикл термической обработки.

Размеры образцов для испытания на пулестойкость составляли 120×120 мм (рис. 7). Крестами на образцах обозначались места для попадания соответствующих поражающих элементов.

Для оценки пулестойкости по классу защиты Бр3 образцы закреплялись на

стенде неподвижно с углом встречи с пулей 90°. По классу защитной структуры Бр3 обстрел образцов производился с дальности 5±0,1 метров. Для оценки пулестойкости по классу защитной структуры Бр4 обстрел образцов производился с дальности 10±0,1 метров. Замер расстояния осуществлялся дальномером лазерным



Рис. 7. Внешний вид подготовленного для испытания на пулестойкость экспериментального образца композиционного броневого материала

*The appearance of an experimental sample of composite armor material prepared for testing for bullet resistance*

При обстреле производилось фиксирование скорости полета пуль V3, измеренной на расстоянии 3-х метров от дульного среза оружия. Замер скорости пули осуществлялся регистратором скорости полета пули РС-4М.

Обстрел экспериментальных образцов по классу защиты Бр3 производился баллистическим стволов пистолетом Ярыгина (ПЯ), калибром 9 мм. Средствами поражения являлись патроны калибра 9×19 мм, инд. 7Н21 с пулей Пст, п. Г.83-13-539 (тип сердечника - стальной термоупрочненный). Характеристики поражающего элемента – масса 7,0 г; средняя скорость полета пули V3 = 410±10 м/с.

Обстрел экспериментальных образцов по классу защиты Бр4 производился баллистическим стволов автомат АКМ,

калибром 7,62 мм. Средствами поражения являлись патроны калибра 7,62×39 мм, 57-Н-231, с пулей ПС (тип сердечника - стальной термоупрочненный). Характеристики поражающего элемента – масса 7,9 г; средняя скорость полета пуль  $V_3 = 720 \pm 15$  м/с.

После каждого выстрела оценивался результат воздействия пули (Пробитие/Непробитие). Образец считают выдержавшим испытания, если отсутствуют сквозное пробитие образца, в том числе при скорости пули выше предельного значения, для данного типа баллистического ствола или огнестрельного оружия; следы пробития экрана-свидетеля вторичными поражающими элементами. Результаты

оценочных испытаний на класс защитной структуры представлены на рисунках 8 и 9.

Результаты оценочных испытаний показали, что при обстреле пятислойных экспериментальных образцов композиционных броневых материалов по классу защитной структуры Бр3 в нормальных климатических условиях, пробития не получены патроном 9×19 мм инд. 7Н21, с пулей Пст. Следовательно, образцы соответствуют классу защитной структуры Бр3.

При оценочных испытаниях пятислойных экспериментальных образцов композиционных броневых материалов по классу защитной структуры Бр4 в нормальных климатических условиях, получены пробития патроном 7,62×39 мм инд. 57-Н-231, с пулей с пулей ПС (ТУС).

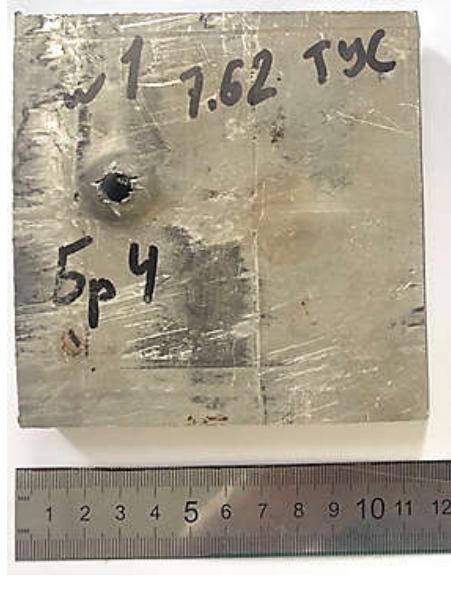


Рис. 8. Результат оценочных испытаний по классу защиты по пулестойкости Бр3 и Бр4 по ГОСТ 34286-2017 (вид сверху): а – лицевая сторона; б – тыльная сторона

*Fig. 8. The result of evaluation tests for the bullet resistance class Br3 and Br4 according to GOST 34286-2017 (top view): a) the front side; b) the back side*

Следует отметить, что согласно доступным данным для защиты экипажа бронированных машин от бронебойных пуль калибра 7,62 мм на практике толщина брони составляет порядка 40 мм и обстрел ведется с расстояния 75...150 метров<sup>[2]</sup>. При оценочных испытаниях, разработанного композиционного броневого материала толщиной 17 мм обстрел калибром 7,62 мм производился с расстояния 10 метров,

то есть практически в упор. Данное обстоятельство свидетельствует о высокой боевой эффективности композиционного материала и предложенного в нем нового способа армирования. Суммарное снижение веса бронированной конструкции при этом составляет порядка от 20 до 25 % при условии сохранения заданного уровня пулестойкости.



Рис. 9. Результат оценочных испытаний по классу защиты по пулестойкости Бр3 и Бр4 по ГОСТ 34286-2017 (вид сбоку)  
*Fig. 9. The result of evaluation tests for the bullet resistance class Br3 and Br4 according to GOST 34286-2017 (side view)*

## Заключение

Исследование научно-технической литературы выявило ключевые недостатки традиционных монометаллических алюминиевых броневых материалов, такие как чрезмерная масса и большая толщина, что ухудшает тактико-технические характеристики изделий. Для устранения этих проблем была разработана новая технология армирования композитов с применением сварки взрывом. На её основе создан гетерогенный материал, сочетающий алюминиевые и титановые сплавы. Определены оптимальные параметры ударно-волнового воздействия, обеспечивающие требуемое качество материала. С целью повышения эксплуатационных характеристик предложено формирование в структуре композиционного материала высокотвердых ин-

терметаллических прослоек путём термической обработки. Установлены режимы отжига, позволяющие контролировать их толщину. Изучен фазовый состав интерметаллидов и описан механизм, который препятствует распространению трещин при баллистическом воздействии на материал. Проведённые тесты на пулестойкость подтвердили, что разработанный композит соответствует классу защиты Бр3. Полученные данные свидетельствуют о перспективности предложенной технологии армирования. Это создаёт основу для разработки новых видов броневых материалов, обладающих высокой стойкостью к поражению, конструкционной прочностью и малым весом, что расширяет сферу их применения.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Скляров В.А., Гребенников С.Ф. Бронетанковая техника: история, конструкция, применение. Москва: Воениздат, 2005. 320 с.
- Федосеев С.В. Боевые машины пехоты и бронетранспортеры. Москва: Экспринт, 2003. 256 с.
- Jane's Armour and Artillery. 2020 Edition: Jane's Information Group, 2020. 720 р.
- Крюков Д.Б. Структурные особенности и технология получения легких броневых композиционных материалов с механизмом локализации хрупких трещин // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2022. – Т. 24, № 3. – С. 103–111.
- Крюков Д.Б. Перспективные легкие трещиностойкие брони, полученные с применением технологии сварки взрывом. Упрочняющие технологии и покрытия. 2022. Т. 18. № 10 (214). С. 440-443.
- Крюков Д.Б. Аспекты получения легких броневых композиционных материалов с механизмом локализации хрупких трещин в структуре при баллистическом воздействии. Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Материалы. Конструкции. Технологии». 2023. № 1 (25). С. 20–28.
- Патент № 2606134 Российской Федерации, МПК B23K 20/08 (2006.01) B32B 7/04 (2006.01) Способ получения композиционного материала: № 2015134788 : заявл. 18.08.2015 : опубл. 10.01.2017 / Первухин Л.Б., Казанцев С.Н., Крюков Д.Б., Чугунов С.Н., Кривенков А.О., Розен А.Е.; заявитель ФГБОУ ВО "Пензенский государственный университет" – 9 с.
- Конон Ю.А., Первухин Л.Б., Чудновский А.Д. Сварка взрывом. Москва: Машиностроение, 1987. 216 с.
- Захаренко И.Д. Сварка металлов взрывом. Минск: Наука и техника, 1990. 205 с.
- Дерибас А.А. Физика упрочнения и сварки взрывом. Новосибирск: Наука, 1980. 220 с.

11. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. Учебник для высших учебных заведений. Москва: Машиностроение, 1990. - 528 с.
12. Pervukhin L.B., Kryukov D.B., Krivenkov A.O., and Chugunov S.N. Structural Transformations and Properties of Titanium-Aluminum Composite during Heat Treatment. *Physics of Metals and Metallography*. 2017; Vol. 118, (No.8): 759–763.

## REFERENCES

1. Sklyarov VA, Grebennikov SF. Armored vehicles: history, design, application. Moscow: Voenizdat.;2005.
2. Fedoseev SV. Infantry fighting vehicles and armored personnel carriers. Moscow: Exprint; 2003.
3. Jane's Armour and Artillery. 2020 Edition: Jane's Information Group; 2020.
4. Kryukov DB. Structural features and technology of light armor composite materials with mechanism of brittle cracks localization. *Metal Working and Material Science*. 2022;24(3):103-111.
5. Kryukov DB. Promising light crack-resistant armor obtained using explosion welding technology. *Strengthening Technologies and Coatings*. 2022;18(10(214)):440-443.
6. Kryukov DB. Aspects of obtaining light armor composite materials with a mechanism for localizing brittle cracks in the structure under ballistic impact. *Vestnik of Volga State University. Th of Technology. Series "Materials. Constructions. Technologies"*. 2023;1(25):20-28.
7. Pervukhin LB, Kazantsev SN, Kryukov DB, Chugunov SN, Krivenkov AO, Rosen AE RF Patent No. 2606134. МПК B23K 20/08 (2006.01) B32B 7/04 (2006.01). Method for obtaining composite material. 2017 Jan 10.
8. Konon YuA, Pervukhin LB, Chudnovsky AD. Explosion welding. Moscow: Mashinostroenie; 1987.
9. Zakharenko ID. Welding of metals by explosion. Minsk: Nauka I Tekhnika; 1990.
10. Deribas AA. Physics of hardening and welding by explosion. Novosibirsk: Nauka; 1980.
11. Lakhtin YuM, Leontyeva VP. Materials science: textbook for higher education institutions. Moscow: Mashinostroenie; 1990.
12. Pervukhin LB, Kryukov DB, Krivenkov AO, Chugunov SN. Structural transformations and properties of titanium-aluminum composite during heat treatment. *Physics of Metals and Metallography*. 2017;118(8):759–763.
13. GOST R 51112-97. Equipment for bank protection. Bullet-proof requirements and test methods. Moscow: Publishing House of Standards; 1998.
14. GOST 34286-2017. Armored clothing. Classification and general specifications. Moscow: Publishing House of Standards; 2018.

## Информация об авторах:

**Крюков Дмитрий Борисович** – кандидат технических наук, доцент, 89033249734, доцент кафедры СЛПиМ Пензенского государственного университета.

**Кривенков Алексей Олегович** – кандидат технических наук, доцент, 89053652342, доцент кафедры СЛПиМ Пензенского государственного университета.

**Kryukov Dmitry Borisovich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, 89033249734, Department of Welding, Foundry and Materials Science at Penza State University;

**Krivenkov Aleksey Olegovich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, 89053652342, Department of Welding, Foundry and Materials Science at Penza State University;

**Гуськов Максим Сергеевич** – кандидат технических наук, 89603294929, доцент кафедры КИИМ Пензенского государственного университета.

**Акимов Антон Алексеевич** – бакалавр кафедры СЛПиМ Пензенского государственного университета, тел. 89272874507.

**Guskov Maksim Sergeevich** – Candidate of Technical Sciences, 89603294929, Associate Professor of the Department of Control and Testing of Materials at Penza State University;

**Akimov Anton Alekseevich** - Student of the Department of Welding, Foundry and Materials Science at Penza State University; phone: 89272874507.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**

**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья опубликована в режиме Open Access.  
Article published in Open Access mode.**

**Статья поступила в редакцию 11.04.2025; одобрена после рецензирования 15.05.2025; принята к публикации 26.06.2025. Рецензент – Макаренко К.В., доктор технических наук, профессор Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».**

**The article was submitted to the editorial office on 11.04.2025; approved after review on 15.05.2025; accepted for publication on 26.06.2025. The reviewer is Makarenko K.V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering and Material Science at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.**



## **НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ БАКАЛАВРОВ!**

**В Брянском государственном техническом университете с 2025 года открывается приём на новое направление подготовки бакалавров  
09.03.03 – Прикладная информатика,  
профиль «Компьютерное проектирование и дизайн»**

*Развитие техники и технологий в современном мире предъявляют к промышленным машинам и механизмам не только требования в обеспечении надёжности, долговечности и безопасности, но и требования современного дизайна, эстетичности, удобства пользования и оптимальной конструкции. Современные системы 3D моделирования и виртуализации позволяют на новом уровне переосмыслить промышленный дизайн и создавать инновационную футуристичную продукцию, притягивающую взгляд!*

*В современной динамично развивающейся России, имеется недостаток в высококвалифицированных специалистах в области компьютерного проектирования и дизайна, которые способны на основе инженерных расчётов разработать инновационный дизайн промышленных объектов с применением самых современных инструментов – промышленных пакетов программ, CAD / CAM / CAE систем, а также 3D прототипирования, систем виртуальной реальности и прикладного программирования.*

*Объектом профессиональной деятельности выпускника является промышленный дизайн и проектирование технических систем, машин и механизмов с помощью современных ИТ технологий, 3D прототипирования и виртуализации. Областью знаний будущих выпускников является способность выполнять расчёт и проектирование машин и механизмов, применять прикладное программирование для решения технических задач и создавать современный дизайн промышленных объектов с помощью ИТ технологий.*

*Будущий выпускник будет востребован конструкторскими организациями, промышленными предприятиями, научно-исследовательскими учреждениями, высшими учебными заведениями в качестве инженера-проектировщика, прикладного программиста или дизайнера технических систем, а материально-техническая база университета и кафедры, квалифицированный преподавательский состав и продуманный учебный план подготовки бакалавра гарантирует получение студентами глубоких знаний в области промышленного дизайна, прикладного программирования и проектирования современных промышленных машин, комплексов и оборудования.*

### **Контактная информация**

Сайт университета:

[www.tu-bryansk.ru](http://www.tu-bryansk.ru)

Тел.: 8 (4832) 58-82-64,

Приемная комиссия:

[pk@tu-bryansk.ru](mailto:pk@tu-bryansk.ru)

8 (4832) 51-03-57