

УДК 666.3/7

DOI 10.47367/0021-3497_2023_4_230

**РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ЗАЩИТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЛАСТИН
ДЛЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ****WORKING-OUT OF A STRUCTURE OF PROTECTIVE COMPOSITE PLATES
FOR PERSONAL PROTECTION EQUIPMENT***М.А. ФАРУХ¹, М.В. КИСЕЛЕВ¹, Д.А. САМОЙЛОВ²**M.A. FARUH¹, M.V. KISELEV¹, D.A. SAMOYLOV²**(¹ООО НПО "Программируемые Композиты", г. Кострома)
(²ООО "Центр инжиниринга и проектирования "Аванс" г. Ростов-на-Дону)**(¹ООО NPO "Programmable Composites" LLC, Kostroma)
(²ООО Center of engineering and design "Advance" Rostov-on-Don)**E-mail: faruh_mihail@mail.ru, kisselev50@mail.ru, dmitrii_samoilov@mail.ru*

Статья посвящена разработке защитных композиционных пластин для средств индивидуальной бронезащиты с целью повышения их баллистической стойкости. В рамках проведенного исследования спроектированы и изготовлены оригинальные броневставка и бронеплита, являющиеся основными элементами бронезиления. Броневставка изготовлена из арамидного композита на основе отечественной ткани Русар®. Основными материалами для изготовления бронеплиты стала бронекерамика на основе оксида алюминия и карбида бора в сочетании с подложкой из арамида для энергопоглощения. Представлен разработанный оригинальный образец структуры защитных композиционных пластин для средств индивидуальной защиты. Сочетание материалов изготовленного образца наиболее точно приблизило его к заданным характеристикам по всем показателям.

The article is devoted to the working-out of protective composite plates for personal armor protection equipment in order to increase their ballistic resistance. Within the framework of the conducted research, the original armor plate and armor plate, which are the main elements of the bulletproof vest, were designed and manufactured. The armor plate is made of aramid composite based on Russian Rusar ® fabric. The main materials for the manufacture of the armor plate were armored ceramics based on aluminum oxide and boron carbide in combination with an aramid substrate for energy absorption. The developed original sample of the structure of protective composite plates for personal protective equipment is presented. The combination of materials of the manufactured sample most accurately brought it closer to the specified characteristics for all indicators.

Ключевые слова: средства индивидуальной защиты, противоосколочный пакет, бронеплита, арамидный композиционный материал.

Keywords: personal protective equipment, anti-shatter package, armor plate, aramid composite material.

Активное развитие современных средств внешнего динамического воздействия на биообъект требует совершенствования и разработки новых образцов средств индивидуальной бронезащиты (СИБ) и их отдельных элементов.

Совершенствование СИБ идёт в направлениях поиска новых материалов, создания композитных и металлокерамических элементов защитных систем, оптимизации формы и структуры элементов СИБ, в том числе на микро- и наноуровне, что позволит эффективно рассеивать энергию внешнего динамического объекта на различном уровне кинематического и динамического состояния. Прорабатываются и более экзотические решения, такие, как синтез защитных систем на основе неньютоновских жидкостей [1].

Наиболее прочные и устойчивые защитные материалы в настоящее время изготавливают на основе волокнистого состава, используя, например, углеволокно, арамиды или сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ, UHMWPE). В течение последних десятилетий созданы или усовершенствованы композитные материалы зарубежных фирм KEVLAR, TWARON, DYNEEMA, SPECTRA, а также отечественные Руслан и Русар-С. Они изготавливаются в виде многослойных непропитанных пакетов либо в качестве армирующего компонента в составе композита, получаемого путем химического связывания волокон арамидных структур или высокопрочного полиэтилена [2].

Важнейшую роль для создания бронезащит, отвечающих конкретным условиям эксплуатации и назначению, играет выбор текстильных материалов [3]. Практически все известные текстильные структуры тканей полотняного, саржевого и других видов переплетения, изготовленные из высокопрочных арамидных нитей, могут

быть применены в качестве средств индивидуальной бронезащиты с большей или меньшей эффективностью [4].

Совершенно очевидно, что максимальное проявление защитных свойств тканой структуры может быть достигнуто при оптимальной структуре ткани и с учетом основных физико-механических характеристик образующих ткань нитей. Именно поэтому моделирование структуры ткани является еще одним важным этапом при исследовании баллистических свойств текстильных материалов [3, 5, 12]. Оптимальные многослойные тканевые пакеты с различными поверхностными обработками позволяют эффективно противодействовать внешнему ударному динамическому воздействию [5].

Как преграда, текстильная броня представляет собой сложную дискретную структуру с внутренними степенями свободы, поскольку нити, из которых состоит средство индивидуальной защиты, обладают способностью к смещению и деформации в направлении как основного внешнего воздействия, так и многоосевого поведения полимерного волокнистого материала под действием ударной нагрузки. Именно способность нитей ткани испытывать смещение при ударно-проникающем внешнем динамическом воздействии обеспечивает возможность преобразования кинетической энергии в энергию упругого растяжения нитей ткани [6]. В исследованиях изучаются зависимости баллистической стойкости текстильного конструкционного материала, используемого в основе средства индивидуальной защиты, от различных видов переплетения нитей в тканях, от текстуры составляющих нитей, а также от количества элементарных составляющих в нитях, используемых для производства армирующего материала [7].

Постоянно растут требования к целевым свойствам защитных материалов, в частности к повышению уровня их энергетических демпфирующих характеристик.

Одним из основных эксплуатационных свойств средств индивидуальной защиты от воздействия внешних динамических ударных нагрузок является их баллистическая стойкость, обеспечиваемая многослойным защитным тканым материалом, представляющим собой конструктивное целое, состоящее из взаимосвязанных компонентов защитного пакета, предназначенного для защиты от разных видов механического воздействия на него [8].

При этом перспективными задачами при синтезе СИБ в настоящее время и в будущем будут являться задачи повышения предела баллистической стойкости при неизменной массе, снижения веса СИБ без уменьшения предела динамической стойкости или повышения предела стойкости с одновременным снижением массы.

В ближайшее десятилетие ожидается разработка принципиально новых материалов для решения обозначенной проблемы: от текстильных структур из высокомолекулярных и высокопрочных полиарамидных или полиэтиленовых нитей до сверхпрочных металлических, керамических и композитных материалов с применением новейших нанотехнологий. Однако комбинированные многослойные защитные преграды с внешним керамическим слоем и тогда сохраняют свою актуальность для защиты от средств внешнего динамического ударного воздействия [6].

При разработке структуры защитных композиционных пластин для средств индивидуальной защиты нами предусмотрено совершенствование их традиционных конструктивных параметров за счет усиления вставками из перспективных композитных и керамических материалов. Бронеэлементы могут быть алюминиевыми, титановыми, стальными, а бронепанели могут представлять собой монолитные керамико-органопластиковые преграды и др.

Для исследования баллистической стойкости СИБ спроектированы и изготовлены оригинальные противоосколочный пакет и

бронеплата. Противоосколочный пакет (броневставка) класса защиты БР-2 состоит из композита на основе арамидного волокна.

При создании противоосколочного пакета (броневставки) использована отечественная ткань Тогилен поверхностной плотностью 250 г/м^2 , со средней разрывной нагрузкой (основа/уток) 1500 Н и средней раздирающей нагрузкой (основа/уток) 110 Н с добавлением пакета СВМПЭ плотностью $0,93 \text{ г/см}^3$, имеющего растягивающее или изгибающее напряжение 4 кгс/мм^2 , а также высокую ударную прочность во всем рабочем диапазоне температур. Готовый противоосколочный пакет помещается в чехол из ткани. Внешний вид образца защитного пакета представлен на рис. 1.



Рис. 1

В состав каждого гибкого защитного элемента входит подложка из ткани из арамидных волокон с расположенным на ней абразивным слоем для максимальной защиты от проникающего действия средств поражения и покровным слоем из эластичного материала для изоляции абразивного слоя.

Для создания СИБ от поражающих высокоэнергетических механических воздействий применения только гибких броневставок недостаточно. Одним из основных элементов таких СИБ является бронеплата – жесткий элемент, устанавливаемый поверх пакета из синтетической ткани, повышающий защитную функцию средства индивидуальной защиты и улучшающий поглощение кинетической энергии поражающего элемента. Важными свойствами для данных изделий являются плотность, твердость, прочность и трещиностойкость. Основными материалами для изготовления бронеплит на сегодняшний день являются специальные сорта металлических сплавов

и сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМП) [9].

Проблема живучести баллистической системы с применением керамических элементов решена за счет использования подложки, обеспечивающей конструктивную целостность и воспринимающей энергетический поток разрушенной керамики и поражающего элемента [10].



Рис. 2

При формировании структуры защитной композиционной пластины, созданной в процессе исследования, использовалась подложка из арамидной ткани до 10 слоев из нитей номинальной линейной плотностью 29,4 текс и поверхностной плотностью 140 г/м². Для дальнейшего оптимального сочетания с керамическим слоем арамидная ткань выступала как энергопоглощающая подложка. Заготовленные заранее керамические плиты представлены на рис. 2.

Керамические плиты изготовлены на основе оксида алюминия (Al₂O₃) и карбида бора (B₄C) размерами 50*50 мм и 100*100 мм, вес самой большей части 386 г, плотность 3860 кг/м³. При дальнейшей подготовке бронекерамики керамические плиты выкладывали на подложку из арамидной ткани с клеевой подготовкой поверхности, получая в результате клееварную конструкцию с высоким ресурсом и надежностью после застывания. Технические характеристики бронекерамики, изготовленной в рамках исследования, представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Наименование	Нормируемое значение по ТУ
Содержание Al ₂ O ₃ , %	≥ 95,5
Кажущаяся плотность, г/см ³	≥ 3,8
Модуль упругости, ГПа	≥ 300
Предел прочности при изгибе, МПа	≥ 250
Микротвердость, ГПа	≥ 15
Твердость, HRA	≥ 76
Трещиностойкость, МПа м ^{1/2}	≥ 3,0

После застывания основы пластины на внутреннюю ее часть помещался гибкий пакет из арамидных нитей, который в образце составлял 8 слоев. Далее повторялась процедура приклеивания с оставлением пакета на 12 часов под прессом до полного застывания. На застывшую плиту с тыльной стороны добавлялось углеродное волокно с полимерным связующим, которое придаст общей конструкции упругость. Полученную плиту под воздействием пресса оставляли на 24 часа.

Арамидная подложка должна препятствовать разрушению ткани от внешнего

динамического воздействия на разрыв, а композит на основе углеродного волокна будет влиять на упругость и демпфировать кинетическую энергию от внешнего удара.

По данным разработчиков ткани из микрофиламентных нитей, именно малый диаметр филаментов в сочетании с химической структурой полимера позволяет нитям выдерживать значительные напряжения при изгибе без разрушения и обеспечивать высокие баллистические характеристики ткани [11]. Практическим путем подбиралось оптимальное процентное соотношение углеродного волокна к пласти-

фикаторам. Бронеплита в конечном виде показана на рис. 3. Общий ее вес после застывания составил не более 2,95 кг в форм-факторе Гранит-2 с размером (L) 260*340 мм.

Технические характеристики разработанной композитной бронеплиты и имеющихся аналогов представлены в табл. 2.



Рис. 3

Т а б л и ц а 2

Марка (название) бронезилета	Вес бронеплиты, кг	Класс защиты
Разработанный бронезилет	2,95	6 по ГОСТ Р 50744-95
Штурмовой бронезилет "ББ43"	5	6 по ГОСТ Р 50744-95
ЮТВ Gen II (Improved Outer Tactical Vest)	3,25	IV (NIJ) (6 по ГОСТ Р 50744-95)

Анализ данных табл. 2 показывает уменьшение веса разработанной бронеплиты по сравнению с имеющимися аналогами на 10-69%. При этом необходимо отметить, что класс защиты имеющихся бронеплит 6 соответствует ГОСТ Р 50744-95.

Следующим этапом исследования запланированы натурные эксперименты прямого баллистического воздействия высокоскоростного индентора для проверки защитных свойств баллистической преграды созданного образца средства индивидуальной защиты в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 34286-2017 и ГОСТ Р 50744-95.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны элементы СИБ в виде гибкой броневставки и бронеплиты.

2. Элементы гибкой броневставки рекомендуются к применению для персонала министерства внутренних дел и сотрудников служб исправительных учреждений.

3. Разработанный элемент бронеплиты показал снижение массы по сравнению с имеющимися аналогами на величину от 10 до 69%. Предназначен для изготовления СИБ военнослужащих.

4. Актуальной задачей дальнейших исследований является определение баллистической стойкости разработанной бронеплиты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Митрофанов А. Доспехи бога: технологии для перспективных средств индивидуальной бронезащиты // Военное обозрение. – <https://topwar.ru/165719-dospehi-boga-tehnologii-dlja-perspektivnyh-sredstv-individualnoj-bronezaschity.html> (дата обращения: 18.11. 2022).

2. Романовский В.С., Мелихов К.В., Извергин Н.Д. Сравнительный анализ существующих материалов из защитных структур и технико-экономическая оценка конструкции бронезащиты // Известия ТулГУ. Технические науки. 2022. №6. С.87...97.

3. Долганина Н.Ю., Сапожников С.Б. Исследования влияния типа переплетения нитей на прочность тканевых преград при локальном ударе // Вестник ЮурГУ. Серия: Машиностроение. 2013. Т. 13, №2. С. 95...104.

4. Бова В.Г., Федоров В.А., Тихонов И.В. и др. Ткань для баллистической защиты и баллистический защитный тканевой пакет на ее основе // Патентный поиск РФ. – <https://www.freepatent.ru/patents/2175035> (дата обращения 20.11. 2022).

5. Игнатова А.В., Сапожников С.Б., Шаблей А.А. Поверхностная обработка арамидной ткани и ее влияние на механику фрикционного взаимодействия нитей // Вестник ПНИПУ. Механика. 2017. №4. С. 121...137. DOI: 10.15593/perm.mech/2017.4.09.

6. Кобылкин И.Ф., Селиванов В.В. Материалы и структуры легкой бронезащиты. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 191, [1] с.: ил.

7. Морозова Т.В., Дворцевая А.М., Зайцева Л.В., Осипчик В.С. Свойства композитных материалов, используемых в средствах бронезащиты // Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. Т. XXXII, № 6 (202). М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2018. С. 94...96.

8. Беспалов И.А. Научно-методические основы проектирования легкой бронезащиты // Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. №5. С. 404...413.

9. Мыльников В.В., Абросимов А.А., Романов И.Д., Романов А.Д. Анализ материалов и их свойств, применяемых для средств индивидуальной бронезащиты // Успехи современного естествознания. 2014. №9, ч. 2. С. 143...147.

10. Гриневич А.В., Лавров А.В. Оценка баллистических характеристик керамических материалов // Труды ВИАМ. 2018. №3 (63). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-3-95-102.

11. Шульдешова П.М., Железина Г.Ф. Арамидный слоисто-тканый материал для защиты от баллистических и ударных воздействий // Труды ВИАМ. 2014. №9. DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-9-6-6.

12. Киселев М.В., Фарух М.А. Исследование динамического поведения ткани "русар" при ударных воздействиях // Сб-к науч. тр. междунар. науч. конф., посвященной 110-летию со дня рождения проф. А.Г. Севостьянова, Москва, 10 марта 2020 г. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2020. Ч. 1. С. 251...256.

REFERENCES

1. Mitrofanov, A. Armor of God: technologies for advanced personal armor protection / A. Mitrofanov // Military Review. – URL: <https://topwar.ru/165719-dospehi-boga-tehnologii-dlja-perspektivnyh-sredstv-individualnoj-bronezaschity.html> (date of access: 11/18/2022).

2. Romanovsky, V.S. Comparative analysis of existing materials for the protective structures and feasibility study for the armored structures / V.S. Romanovsky, K.V. Melikhov, N.D. Izergin // Proceedings of TulSU. Technical science. 2022. No. 6. P.87...97.

3. Dolganina, N.Yu. Study of the influence of type weave for strength of the textile armor panel at the local impact / N.Yu Dolganina, S.B. Sapozhnikov // Bulletin of SUSU. Series Engineering. 2013. Vol. 13, No. 2. P.95...104.

4. Bova, V.G. Fabric for ballistic protection and a ballistic protective fabric package based on it / V.G. Bova, V.A. Fedorov, I.V. Tikhonov [et al] // Patent search of the Russian Federation. –

<https://www.freepatent.ru/patents/2175035> (date of access 11/20/2022).

5. Ignatova, A.V. Aramid fabric surface treatment and its impact on the mechanics of yarn's frictional interaction / A.V. Ignatova, N.Yu. Dolganina, S.B. Sapozhnikov, A.A. Shabley // of PNRPU Mechanics Bulletin. 2017. No. 4. P. 121...137. DOI: 10.15593/perm.mech/2017.4.09.

6. Kobylkin, I.F. Materials and structures of light armor protection: textbook / I.F. Kobylkin, V.V. Selivanov. Moscow: Publishing house of MSTU im. N.E. Bauman, 2014. 191, [1] p.: ill.

7. Morozova, T.V. Properties of composite materials used in the means of armor protection / T.V. Morozova, A.M. Dvortsevaya, L.V. Zaitseva, V.S. Osipchik // Advances in chemistry and chemical technology: Scientific works. Vol. XXXII, No. 6 (202). M.: RKhTU im. D.I. Mendeleev, 2018. P. 94...96.

8. Bespalov, I.A. Scientific and methodical basis of lightweight armor development / I.A. Bespalov // Proceedings of TulSU. Technical science. 2019. No. 5. P. 404...413.

9. Mylnikov, V.V. Analysis of materials and their properties used for personal armor protection / V.V. Mylnikov, A.A. Abrosimov, I.D. Romanov, A.D. Romanov // Advances in current natural sciences. 2014. No. 9, part 2. P. 143...147.

10. Grinevich, A.V. The estimation of ballistic properties of ceramic materials / A.V. Grinevich, A.V. Lavrov // Trudy VIAM. 2018. No. 3 (63). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-3-95-102.

11. Shuldeshova, P.M. The aramid layered and woven material for protection against impact and ballistic influences / P.M. Shuldeshova, G.F. Zhelezina // Trudy VIAM. 2014. No. 9. DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-9-6-6.

12. Kiselev, M.V., Farukh, M.A. Investigation of the dynamic behavior of the "rusar" fabric under shock impacts / M.V. Kiselev, M.A. Sevostyanova (March 10, 2020). M.: RGU im. A.N. Kosygin, 2020. Part 1. P. 251...256.

Поступила 16.01.23.