

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТКАЦКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ
ИНДИВИДУАЛЬНОЙ БРОНЕЗАЩИТЫ***

**USING WEAVING TECHNOLOGIES TO INCREASE
THE EFFICIENCY OF PERSONAL ARMOR PROTECTION**

П.Н. РУДОВСКИЙ, А.П. ГРЕЧУХИН

P.N. RUDOVSKY, A.P. GRECHUKHIN

(Костромской государственный университет)

(Kostroma State University)

E-mail: pavel_rudovsky@mail.ru

В статье проведен анализ условий эксплуатации средств индивидуальной бронезащиты (СИБЗ) и текстильных элементов, входящих в их состав. Установлено, что многослойные пакеты из арамидных тканей,

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-20162, <https://rscf.ru/project/24-29-20162/>

скрепленные с помощью швейных технологий, в полной мере не удовлетворяют эксплуатационным требованиям. Они имеют низкое сопротивление к сдвигу слоев и не обеспечивают надежной фиксации керамических и стальных элементов в общей структуре бронезилета. Ткацкие технологии позволяют устранить ряд указанных недостатков. Показано, что технологии формирования слоисто-каркасных тканей позволяют получать тканые структуры с рельефной поверхностью. Такие структуры могут использоваться в качестве климатико-амортизационной прокладки (КАП). Эта же технология позволяет формировать ткани с полостями, предназначенными для интегрирования бронезащитных элементов. Слои нитей в ткацких структурах скрепляются нитями в направлении, перпендикулярном направлению основы и утка. Это позволяет создавать структуры, воспринимающие нагрузки от поражающих элементов, образующихся при ricochete. Конструктивные элементы, получаемые по технологии 3D ортогонального ткачества, имеют поглощающую способность, на 20 % большую по сравнению с пакетами тканей, скрепленными по швейным технологиям.

The article analyzes the operating conditions of personal body armor (PBZ) and textile elements included in their composition. It has been established that multilayer packages of aramid fabrics fastened using sewing technologies do not fully meet the operational requirements. They have low resistance to layer shear and do not provide reliable fixation of ceramic and steel elements in the overall structure of the bulletproof vest. Weaving technologies make it possible to eliminate a number of these shortcomings. It has been shown that the technologies for forming layered-frame fabrics make it possible to obtain woven structures with a relief surface. Such structures can be used as a climate-cushioning lining (CCL). The same technology makes it possible to form fabrics with cavities intended for integrating armor elements. Layers of threads in weaving structures are fastened with threads in a direction perpendicular to the directions of the warp and weft. This allows creating structures that can withstand loads from damaging elements formed during a ricochet. Structural elements obtained using 3D orthogonal weaving technology have an absorption capacity that is 20% greater than that of fabric packages fastened using sewing technologies.

Ключевые слова: средства индивидуальной бронезащиты, многослойные пакеты, арамидные ткани, слоисто-каркасные ткани, 3D ортогональные ткани, интегрированные элементы.

Keywords: personal protective equipment, multilayer packages, aramid fabrics, layered frame fabrics, 3D orthogonal fabrics, integrated elements.

В настоящее время ткани из арамидных нитей широко используются для создания средств индивидуальной бронезащиты (СИБЗ) [1...8]. Для этого применяют баллистические пакеты, представляющие собой сложенные в несколько слоев арамидные ткани полотняного переплетения. Их используют для наполнения бронезилетов, дополнительных подвесных защитных

модулей, а также при изготовлении шлемов и комбинированных с керамикой бронепластин [9].

Сами по себе пакеты из арамидных тканей позволяют создавать средства индивидуальной бронезащиты от осколков, вторичных осколков, т. е. с классом защиты не более Бр-1. Для создания изделий более высоких классов защиты использу-

ются керамические или стальные пластины в комбинации с арамидными тканями.

Задача керамики – принять на себя кинетическую энергию пули или быстрого осколка. В месте попадания материал крошится, но при этом эффективно поглощает энергию. За керамикой располагается многослойный пакет арамидной ткани, который улавливает фрагменты разрушенной пули или осколка, практически утратившие энергию. От этого образуется большее или меньшее вздутие на тыльной стороне пластины, но пробития не происходит.

Для купирования последствий такого вздутия используется климатико-амортизационный подпор (КАП), который располагается за керамической пластиной и принимает на себя такое запреградное воздействие (рис. 1). Кроме того, в поперечном сечении КАП имеет чередующиеся выступы и впадины, которые образуют каналы, обеспечивающие достаточно хорошую циркуляцию воздуха в пододежном пространстве, способствующую удалению испарений тела. КАП может изготавливаться из арамидных тканей.



Рис.1

Другим вариантом создания СИБЗ более высокого класса защиты являются стальные бронепластины. Гашение энергии стальной бронепластиной происходит совсем не так, как керамикой. Деформации

пластины минимальны, пластина не крошится и практически не выгибается. Энергия принимается пластиной и вследствие ее высокой жесткости передается на тело по всей площади – жестко и болезненно. Роль КАП при этом возрастает.

Пластины размещают в отсеках бронезилета, выполненных с помощью швейных технологий. Такое размещение не обладает необходимой жесткостью. Тонкая, но очень тяжелая стальная пластина свободно перемещается в отсеке бронезилета, доставляет дискомфорт биением при беге. Это нередко является причиной разрыва чехла. Поэтому нужно добиваться плотности посадки, хорошо подгонять и затягивать сам бронезилет. Слои арамидных тканей перед и за пластиной, соединенные при помощи швейных технологий, должны обеспечивать плотность расположения пластин в отсеке.

Другой проблемой стальных бронепластин является риск рикошетов. Пуля или осколок прилетает, резко тормозится и разрушается прямо на поверхности пластины, не проникая вглубь, как с керамикой, от чего фрагменты пули могут лететь во все стороны, в том числе в подбородок, виски, шею владельцу бронезилета. Поэтому рекомендуется оборачивать стальные бронепластины баллистическими арамидными пакетами спереди и сзади. Слои спереди улавливают фрагменты пули, сзади в случае разрушения пластины защищают тело от проникновения осколков.

Следует отметить, что обычно в составе конструкции бронезилета рассматриваются только пакеты из плоских (однослойных) арамидных тканей полотняного переплетения, в то время как ткацкие технологии позволяют создать структуры, которые больше подходят к эксплуатации в описанных условиях, поскольку имеют множественные перевивочные связи между нитями в ткацкой структуре [2].

На рис. 2 представлены три переплетения многослойных тканей: а – многослойная ткань (перевязка по толщине); б – многослойная ткань (перевязка через слой, показана часть нитей); в – 3D ортогональная ткань [10,11, 12]. За счет наличия перевязки

зочных нитей в вертикальном направлении такие ткани имеют гораздо большее сопротивление сдвигу, чем пакеты однослойных тканей.

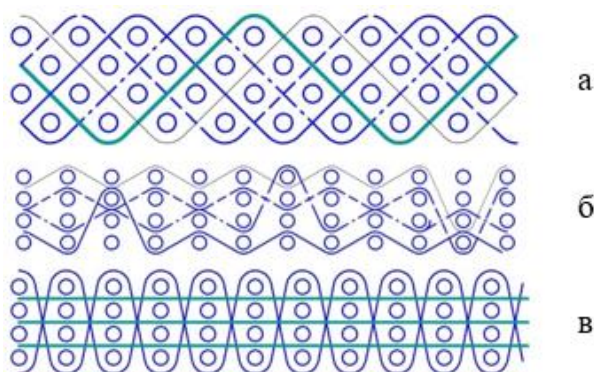


Рис. 2

Как показано в [13, 14], из указанных структур 3D ортогональные ткани (рис. 2, в) обладают наибольшей способностью гасить энергию удара. Структуры, показанные на рис. 2, а и 2, б, могут быть использованы в качестве базовых переплетений при формировании ткани с периодически изменяющейся толщиной, соответствующей форме КАП (рис. 3).



Рис. 3

В рамках традиционной ткацкой технологии возможно получение тканей с полостями. Такую ткань получают на ворсоткацком станке с использованием трех навоев – двух самостоятельных для коренных основных нитей, необходимых для формирования двух тканей, и третьего для дополнительных основных нитей [15, 16].

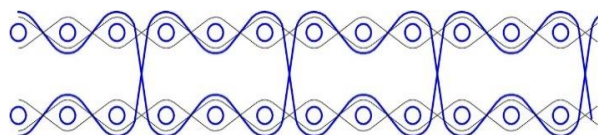


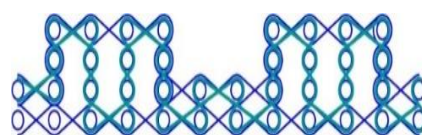
Рис. 4

Для получения дополнительных каналов используется шесть ремизок – четыре ремизки для коренных основ, две для дополнительных. После снятия ткани со станка в

дополнительные каналы вставляются металлические или керамические вкладыши (рис. 4).

Гораздо большие возможности для формирования тканей с крупнорельефной поверхностью и полостями открывает технология получения слоисто-каркасных тканей [17, 18].

Простейший вид слоисто-каркасной ткани состоит из горизонтально расположенных каркасных слоев и расположенных вертикально заполнительных слоев, выполненных обычно в виде тканей плотняного переплетения и соединенных между собой путем переплетения нитей основы заполнительных и каркасных слоев с общими уточными нитями. Изменение длины и чередования заполнительных слоев позволяет создавать ткани с рельефом и полостями, расположенными в несколько рядов, перекрывающих друг друга (рис. 5) [19].



а)



б)

Рис. 5

Преимущество ткацких технологий по сравнению со швейными при создании СИБЗ состоит в возможности получения более плотных структур, позволяющих надежно фиксировать интегрированные в них элементы в виде керамических или стальных пластин или стержней, а также образования на внешней или внутренней стороне изделия слоев необходимой толщины, поскольку нити в таких слоях могут переплетаться не только в плоскости ткани, но и в поперечном по отношению к ней направлении.

ВЫВОДЫ

Показано, что современные ткацкие технологии позволяют получать ткани с пространственной структурой и полостями. Использование 3D тканых изделий в конструкции СИБЗ взамен многослойных пакетов, скрепленных с помощью швейных технологий, позволяет обеспечивать более надежное крепление керамических или стальных бронепластин и создавать вокруг них надежную защиту от вторичных низкоскоростных осколков и рикошета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yu Y.M., Wang X.J., Lim C.W. Ballistic impact of 3D orthogonal woven composite by a spherical bullet: experimental study and numerical simulation // International Journal of Engineering and Applied Sciences. 2009. Vol. 1. P. 1...18.
2. Shi W., Hu H., Sun B., Gu B. Energy absorption of 3D orthogonal woven fabric under ballistic penetration of hemispherical-cylindrical projectile // Journal of the Textile Institute. Vol. 110, 2011. P.875...889.
3. Yang C., Tran P., Ngo T.etc. Effect of textile architecture on energy absorption of woven fabrics subjected to ballistic impact // Applied Mechanics and Materials. 2014.Vol. 553. P. 757...762.
4. Lee B., Kim C.-G. Computational analysis of shear thickening fluid impregnated fabrics subjected to ballistic impacts // Advanced composite materials. 2012.Vol. 21. P.177...192.
5. Kumar B.A., Chavan V.V., Suhail Ahmadetc. Ballistic impact response of Kevlar® reinforced thermoplastic composite armors// International Journal of Impact Engineering 89 (2016): 1-13.
6. Tran P., Ngo T., Yang E.C.etc. Effects of architecture on ballistic resistance of textile fabrics: Numerical study // International Journal of Damage Mechanics. 2014. Vol. 23. P. 359...376.
7. Kudryavtsev O.A., Sapozhnikov S.B. Yarn-level modelling of woven and unidirectional thermoplastic composite materials under ballistic impact // PNRPU Mechanics Bulletin. 2016. 3. P. 108...119.
8. <https://dzen.ru/a/ZS975S48DgYmSe4r>
9. Grechukhin A.P., Seliverstov V.Y., Rudovskiy P.N. The method of determination of yarn bending rigidity and friction factor during interaction of fibers // The Journal of the Textile Institute. 2017. T. 108. № 12. P. 2067...2072.
10. Рудовский П.Н., Гречухин А.П., Палочкин С.В. Рациональное армирование деталей из композиционных материалов тканями с переменной плотностью по утку //Вестник Костромского государственного технологического университета. 2015. № 2 (35). С. 21...23.

11. Гречухин А.П., Рудовский П.Н. Развитие теории строения и формирования однослойных тканей. Кострома: КГУ, 2017. – ISBN 978-5-8285-0917-1.

12. Гречухин А.П., Ушаков С.Н., Рудовский П.Н., Палочкин С.В. Определение рациональных параметров системы заправки нитей при формировании трехмерного ортогонального тканого волокнистого материала //Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 5 (377). С. 111...115.

13. Ушаков С.Н., Гречухин А.П., Рудовский П.Н., Палочкин С.В. Влияние величины смещения слоя горизонтального утка на плотность расположения вертикальных слоев нитей при формировании трехмерных ортогональных тканей //Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 6 (378). С. 96...100.

14. Chen X., Taylor L.W., Tsai L.J. An Overview on Fabrication of Three-Dimensional Woven Textile Preforms for Composites // Textile Research Journal. 2011, Vol. 81, No.96P. 932...944.

15. Пат. RU 17539, D03D 11/00 2001. Многослойная ткань.

16. Селиверстов В.Ю. Строение и проектирование некоторых видов текстильных изделий и основы технологии их получения. Кострома: КГТУ, 2005. 114 с.

17. Chen X., Taylor L.W., Tsai L.J. An Overview on Fabrication of Three-Dimensional Woven Textile Preforms for Composites // Textile Research Journal, 2011. Vol. 81, No.9, P. 932...944.

18. Stig F. An Introduction to the Mechanics of 3D-Woven Fibre Reinforced Composites, Licentiate Thesis, Stockholm, Sweden. 2009.

19. Yilmaz E., Altas S. Development of 3D hollow woven fabrics with superior mechanical properties by using nitinol and steel wire core hybrid yarns // Journal of Indian Textile, 2020, V. 53. P. 1...38.

REFERENCES

1. Yu Y.M., Wang X.J., Lim C.W. Ballistic impact of 3D orthogonal woven composite by a spherical bullet: experimental study and numerical simulation // International Journal of Engineering and Applied Sciences. 2009. Vol. 1. P. 1...18.
2. Shi W., Hu H., Sun B., Gu B. Energy absorption of 3D orthogonal woven fabric under ballistic penetration of hemispherical-cylindrical projectile // Journal of the Textile Institute. 2011. Vol. 110.P. 875...889.
3. Yang C., Tran P., Ngo T.etc. Effect of textile architecture on energy absorption of woven fabrics subjected to ballistic impact // Applied Mechanics and Materials. 2014.Vol. 553. P.757...762.
4. Lee B., Kim C.-G. Computational analysis of shear thickening fluid impregnated fabrics subjected to ballistic impacts // Advanced composite materials. 2012.Vol. 21. P.177...192.
5. Bandaru Aswani Kumar, Vikrant V. Chavan, Suhail Ahmadetc. Ballistic impact response of Kevlar®

reinforced thermoplastic composite armors // International Journal of Impact Engineering 89 (2016): 1-13.

6. *Tran P., Ngo T., Yang E.C. etc.* Effects of architecture on ballistic resistance of textile fabrics: Numerical study // International Journal of Damage Mechanics. 2014. Vol. 23. P. 359...376.

7. *Kudryavtsev O.A., Sapozhnikov S.B.* Yarn-level modelling of woven and unidirectional thermoplastic composite materials under ballistic impact // PNRPU Mechanics Bulletin. 2016. 3. P. 108...119.

8. <https://dzen.ru/a/ZS975S48DgYmSe4r>

9. *Grechukhin A.P., Seliverstov V.Y., Rudovskiy P.N.* The method of determination of yarn bending rigidity and friction factor during interaction of fibers // The Journal of the Textile Institute. 2017. Vol. 108. No. 12. P. 2067...2072.

10. *Rudovskiy P.N., Grechukhin A.P., Palochkin S.V.* Rational reinforcement of parts made of composite materials with fabrics with variable weft density // Bulletin of the Kostroma State Technological University. 2015. No. 2 (35). P. 21...23.

11. *Grechukhin A.P., Rudovskiy P.N.* Development of the theory of structure and formation of single-layer fabrics. Kostroma: Kostroma State University, 2017. – ISBN 978-5-8285-0917-1.

12. *Grechukhin A.P., Ushakov S.N., Rudovskiy P.N., Palochkin S.V.* Determination of rational parameters of the system of filling yarns in the formation of three-dimensional orthogonal woven fibrous material // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2018. No. 5 (377). P. 111...115.

13. *Ushakov S.N., Grechukhin A.P., Rudovskiy P.N., Palochkin S.V.* Influence of the value of displacement of the layer of the horizontal duck on the density of the orientation of vertical layers of threads during formation of 3-d orthogonal tissues // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2018. No. 6 (378). P. 96...100.

14. *Chen X., Taylor L.W., Tsai L.J.* An Overview on Fabrication of Three-Dimensional Woven Textile Preforms for Composites // Textile Research Journal, 2011, Vol. 81, No. 9, P. 932...944.

15. Patent RU 17539, D03D 11/00 2001. Multi-layer fabric.

16. *Seliverstov V.Yu.* Structure and design of some types of textile products and fundamentals of their production technology. Kostroma: Kostroma State Technological University, 2005. 114 p.

17. *Chen X., Taylor L.W., Tsai L.J.* An Overview on Fabrication of Three-Dimensional Woven Textile Preforms for Composites // Textile Research Journal, 2011. Vol. 81, No.9, P. 932...944.

18. *Stig F.* An Introduction to the Mechanics of 3D-Woven Fiber Reinforced Composites, Licentiate Thesis, Stockholm, Sweden. 2009.

19. *Yilmaz E., Altas S.* Development of 3D hollow woven fabrics with superior mechanical properties by using nitinol and steel wire core hybrid yarns // Journal of Indian Textile, 2020, V. 53.P. 1...38.

Рекомендована кафедрой технологии и проектирования ткани и трикотажа КГУ. Поступила 25.10.24.