

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОТИВОУДАРНЫХ СТРУКТУР В АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКЕ

А. А. Мишин¹, А. С. Люев², М. Н. Мануйлов³

¹ Преподаватель кафедры средств наземного обеспечения полетов военного факультета Белорусской государственной академии авиации, Минск, Беларусь, e-mail: SNOBPBAA@gmail.com

² Начальник кафедры средств наземного обеспечения полетов военного факультета Белорусской государственной академии авиации, Минск, Беларусь, e-mail: SNOBPBAA@gmail.com

³ Старший преподаватель кафедры средств наземного обеспечения полетов военного факультета Белорусской государственной академии авиации, Минск, Беларусь, e-mail: SNOBPBAA@gmail.com

Реферат

Выполнен анализ современного состояния и направлений развития способов создания противоударных защитных структур для авиационной техники. Обосновано применение структурированных слоев из сверхвысокомолекулярного полиэтилена. Показано, что применение сверхвысокомолекулярного полиэтилена позволит существенно сократить массу баллистической защиты, что положительно повлияет на тактико-технические характеристики и возможности вертолетов как грузовых судов.

Ключевые слова: сверхвысокомолекулярный полиэтилен, бронезащита.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF USING SHOCKPROOF STRUCTURES IN AVIATION TECHNOLOGY

A. A. Mishin, A. S. Lyuev, M. N. Manuilov

Abstract

The analysis of the current state and directions of development of methods for creating anti-shock protective structures for aircraft. The use of structured layers made of ultrahigh molecular weight polyethylene is substantiated. It is shown that the use of ultrahigh molecular weight polyethylene will significantly reduce the mass of ballistic protection, which will positively affect the tactical and technical characteristics and capabilities of helicopters as cargo ships.

Keywords: ultrahigh molecular weight polyethylene, armor.

Начиная с проведения специальных операций за линией фронта и заканчивая гуманитарными и спасательными операциями, в условиях современных кризисов вертолеты необходимы для военных служб. Однако характер угроз, с которыми они сталкиваются, делает их легкой мишенью для вражеских сил. Летательным аппаратам угрожает не только легкое стрелковое оружие и осколки, но и оружие среднего и крупного калибра, пулеметы, а также зенитные орудия. Случайное попадание в двигатель, хвостовой винт или в пилота может привести к тому, что вертолет станет неуправляемым, что в свою очередь может стать причиной падения и возможных потерь среди экипажа и пехотных войск. Это обуславливает необходимость в большей баллистической защите вертолетов.

Баллистическая защита вертолетов может быть улучшена путем использования решений брони в критически важных областях фюзеляжа и места пилота. Однако установка на одном воздушном судне дополнительной брони стоит сотни тысяч долларов. Броня сильно увеличивает вес, что влияет на характеристики и грузоподъемность вертолета. Помимо этого, внесение каких-либо структурных изменений в фюзеляж может отрицательно повлиять на аэродинамику вертолета. Поэтому требуется повторная сертификация воздушного судна на предмет полетопригодности.

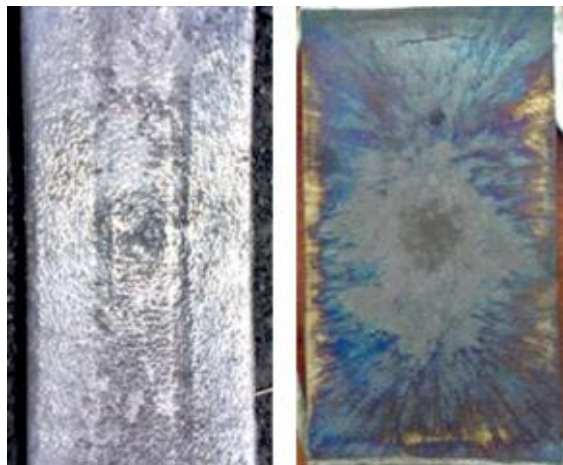
Однако усовершенствованные решения брони могут играть важную роль в модернизации целого флота схожих вертолетов, позволяя адаптировать вертолеты в зависимости от назначения. Если вертолет применяется для спасательных операций или боевого поиска, может быть установлена дополнительная броня для обеспечения баллистической защиты. Для гуманитарных и спасательных операций эта дополнительная броня может быть снята с вертолета с целью увеличения грузоподъемности. Это позволяет варьировать грузоподъемность.

В настоящее время является актуальной задача определения варианта исполнения средств баллистической бронезащиты, обеспечивающего заданный уровень защищенности техники при ограничениях на общую массу. При обеспечении баллистической защиты для вертолетов важен каждый килограмм веса, благодаря экономии веса летательного аппарата можно перемещать больше людей

и боеприпасов на гораздо большее расстояние с максимальной баллистической защитой. В результате возникает задача определения варианта, при котором обеспечивается заданный уровень защищенности при ограничениях на общую массу бронезащиты, которые определяются заданной продолжительностью его боевого функционирования.

Современные средства бронезащиты, как правило, представляют собой двухслойную структуру, состоящую из бронепанели и многослойного пакета баллистических тканей за ней (рисунок 1, 2). Снижение общей массы возможно по двум основным направлениям. Первое направление связано с применением в конструкции бронепанелей неметаллических материалов и технической керамики (Al_2O_3 , B_4C , SiC , AlN , Si_3N_4), плотность которой в 2–3 раза меньше стали. Полученные в настоящее время результаты свидетельствуют о перспективности данного подхода [1]. Второе направление связано с повышением пулевой стойкости стальной бронепанели, поглощающей кинетическую энергию пули при ударе, а также использованием в ее конструкции легких металлов. Однако возможности снижения веса бронепанелей за счет повышения пулевой стойкости стали в результате легирования и термообработки довольно ограничены (приблизительно на 10 %) [2]. Также при твердости стальных защитных элементов выше 52 HRC повышается хрупкость и, как следствие, вероятность пролома или раскола. В свою очередь применение легких металлов, в частности титановых и алюминиевых сплавов, позволяет добиться заметного снижения веса панелей (приблизительно на 20 %), но при этом повышает стоимость комплекта. Альтернативным способом создания элементов защиты является оптимизация распределения свойств материала металлической бронепанели. Примером реализации данного подхода является гетерогенная броня, имеющая наружный (воспринимающий удар средства поражения) слой высокой твердости и тыльный (или тыльные) вязкий, пластичный слой, который не создает осколков или так называемого тыльного скола, поражающих запреградное пространство [2, 3]. Фактически данная конструкция является примером градиентного материала. Для создания гетерогенных защитных элементов в настоящее время применяются сварка взрывом и пакетная

прокатка. Основными ограничениями применяемых способов являются номенклатура соединяемых материалов, ограничения по форме поверхности (в первую очередь кривизне), необходимость использования уникального оборудования, проведения работ в заводских условиях и использования взрывчатых веществ.



а) пластины стали 65Г, плакированные листовым алюминием;
б) лист алюминия, плакированного титаном

Рисунок 1 – Композиции, полученные сваркой взрывом



а) пластины стали 65Г, плакированные листовым алюминием и сталью 3; б) лист алюминия, плакированного титаном

Рисунок 2 – Композиции, полученные сваркой взрывом, после прострела

Аналогичный подход принят при конструировании баллистического пакета из высокопрочных синтетических арамидных тканей на основе волокон CBM, Kevlar™, Twaron™, Dyneema™, Spectra™, которые обеспечивает быстрое превращение кинетической энергии пули в работу деформирования достаточно большого объема защитного материала. Преимущества данных тканей в том, что они состоят из арамидных нитей или нитей из сверхвысокомолекулярного полиэтилена, которые обладают наибольшими значениями удельного модуля упругости или удельной прочности среди известных конструкционных материалов. Такие материалы эффективно распределяют кинетическую энергию пули за счет высокой скорости звука в нитях, однако при постепенном торможении пули динамические процессы в нитях затухают и наступает стадия сравнительно медленного фрикционного взаимодействия нитей внутри каждого слоя ткани. При проектировании защитных структур необходимо учитывать не только динамическую, но и фрикционную фазу работы слоев тканей, что обеспечит снижение прогиба тыльной стороны защитной структуры и соответствующее снижение травмирования человека [4]. В наружных слоях бронезилета, контактирующих с высокоскоростной пулей, превалирует динамическая фаза работы тканей, а в тыльных слоях – фрикционная, низкоскоростная. Такое

деление бронеструктуры заставляет по-разному относиться к взаимодействию нитей в тканевых слоях: снижать трение в наружных и повышать трение между нитями в тыльных слоях или применять ткани с различными типами переплетения (сатин, саржа, полотно) по толщине бронеструктуры. В работе [4] представлен технологичный способ управления процессом сухого трения между нитями – поверхностная обработка различными составами (суспензия ПВА, канифоль, силиконовая смазка) с незначительным утяжелением ткани. Известны также конструктивные способы усиления фрикционного взаимодействия нитей в слоях за счет плотной просточки пакета из нескольких тыльных слоев, покрытие тканей слоем полимера [5], использование неньютоновских жидкостей. На основании данного анализа нами сформулирована гипотеза о перспективности создания материалов на основе арамидных тканей, которые имеют области динамического и фрикционного взаимодействия нитей, т. е. «дискретных» материалов.

Перспективными направлениями являются создание защитных структур на основе максимального использования энергетической поглотившей способности разрушаемого материала [6] и использование новых материалов, в частности современных полимеров. Во всех неструктурированных материалах скорость напряжения уменьшается с увеличением деформации из-за развития дефектов, открытия микротрещин и других механизмов. Эти явления приводят к концентрациям напряжений, которые в конечном итоге разрушают материал. Концентрация напряжений может быть уменьшена с помощью бистабильных структур (рисунок 3). В отличие от обычных структур, бистабильная структура преобразует энергию удара в направленные бегущие волны, которые рассеивают энергию по большей области. Делокализация повреждения достигается за счет того, что частичный внутренний отказ предшествует окончательному отказу. Такие структуры будут равномерно распределять напряжение, и будет стабильным даже при частичном разрушении. Структуры с внутренней нестабильностью создают многочисленные внутренние разрывы, которые приводят к устойчивой структурной трансформации, а также транспортируют повреждения от зоны воздействия. В результате структура может выдерживать большие деформации.



(а) решетка с избыточными направлениями нагрузки;
(б) трубка и цилиндр; (в) трубка и конус; (г) многослойная структура;
(д) структура со спиралями («белковая» структура)

Рисунок 3 – Структуры, которые поглощают энергию при частичном повреждении с сохранением структурной целостности

Перспективным материалом для создания покрытий в настоящее время является сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ). Полиэтилен высокой плотности с молекулярной массой более 1500000 принято считать СВМПЭ (UHMWPE – Ultrahight Molecular Weight Polyethylene). Это полимер линейной структуры с очень длинными цепями, не имеющими боковых ответвлений [7, 8]. Основными производителями СВМПЭ являются Германия, Голландия, Япония: Mitsui Petrochemical Ind., Япония; Allied-Signal Fibers Co., Allied-Signal Inc., Chemical Research Center, Petersburg (Питсбург, Вирджиния), Ticona Engineering Polymers for Technical Solutions (Германия) и др.

Основной особенностью СВМПЭ являются длинные линейные параллельно ориентированные цепочки полиэтилена со сверхвысокой массой молекул (до 6 млн) и относительно слабыми связями между (10–20 кДж/моль) [9] по сравнению, например, с кевларом, имеющим короткие молекулы и сильные связи между ними. Это способствует более эффективной передаче и распределению нагрузки на материал, что обеспечивает его высокую жесткость и ударопрочность, превосходящую по данному показателю любой другой термопластичный полиэтилен.

В целом СВМПЭ можно определить как конструкционный полимерный материал с уникальными физико-механическими свойствами для разнообразных областей применения, в том числе в экстремальных условиях [9].

Применение сверхвысокомолекулярного полиэтилена ограничивается трудностями, возникающими при его переработке в изделия вследствие высокой вязкости расплава. Материал при температуре выше точки плавления его кристаллической фазы не переходит в вязкотекучее состояние, а остается деформационно-упругим. В результате исследований, посвященных разработке и совершенствованию технологий переработки СВМПЭ, в промышленном масштабе освоены такие способы переработки, как горячее прессование, спекание, рэм-экструзия, напыление (горячепламенное, электростатическое), а для получения волокна – гель-формование. Некоторые предприятия освоили нанесение пленочных защитных покрытий из СВМПЭ методом газопламенного и газоплазменного напыления. Данный метод отличается простотой и универсальностью применяемого оборудования, позволяющий создавать покрытия из широкой номенклатуры материалов (металлы, полимеры, керамика). Так, Институт физики прочности и материаловедения СО РАН установил влияние нано-размерных керамических наполнителей на физико-механические свойства покрытий из СВМПЭ [10]. В работе [11] представлены результаты исследований физико-механических свойств композиционных газопламенных покрытий на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена с добавлением карбида кремния. Напыление покрытий на стальные подложки проводили газопламенным методом. Показано, что данное композиционное покрытие на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена характеризуется значительной прочностью при ударе. Результаты данных исследований подтверждают целесообразность использования газопламенного напыления для создания покрытий из СВМПЭ. Вместе с тем необходимо отметить недостаточность информации о влиянии параметров процесса напыления на свойства полученных покрытий, в первую очередь на параметры молекулярной цепи.

Выполнен анализ современного состояния и перспектив развития способов создания защитных противоударных структур. Установлено, что в настоящее время повышение стойкости возможно в результате формирования градиентных структур, в которых наружный слой и тыльный внутренний обладают различными свойствами. Для пакета баллистических тканей реализация данного подхода выражается в повышении трения между нитями тыльных слоев пакета, что обеспечивает фрикционную (низкоскоростную) фазу работы. Возможные технологические способы управления процессом сухого трения между нитями – поверхностная обработка различными составами, покрытие тканей слоем полимера, использование неньютоновских жидкостей. Сформулирована гипотеза о перспективности создания дискретных материалов на основе арамидных тканей, которые имеют области динамического и фрикционного взаимодействия нитей.

Решение брони из СВМПЭ и арамидных тканей обеспечивает универсальность применения, поскольку оно может просто устанавливаться в тех случаях, когда необходима дополнительная баллистическая защита вертолета. По завершении операции бронеконтакт может быть снят и быстро установлен на другом готовом к бою вертолете для повышения его баллистической защиты. Данное решение подходит для широкого ряда вертолетов. Кроме того, поскольку комплект может применяться для различных вертолетов одного типа, стоимость владения значительно снижается.

Список цитированных источников

1. Толочко, Н. К. Конструктивные особенности броневых панелей на основе керамики / Н. К. Толочко // Перспективные материалы. – 2011. – № 3. – С. 59–66.
2. Беспалов, И. А. Легкие защитные структуры / И. А. Беспалов, М. О. Алексеев, Д. Г. Купрюнин. – М.: РадиоСофт, 2017. – С. 368.
3. Драгобецкий, В. В. Разработка элементов средств индивидуальной защиты нового поколения на основе слоистых металлических композиций / В. В. Драгобецкий, А. А. Шаповал, В. Г. Загорянский // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2015. – Том 58, № 1. – С. 44–48.
4. Поверхностная обработка арамидной ткани и ее влияние на механику фрикционного взаимодействия нитей / А. В. Игнатова [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика, 2017. – № 4. – С. 121–137.
5. Gawandi, A. Tow pullout behavior of polymer-coated Kevlar fabric / A. Gawandi // Journal of Materials Science. – 2011. – Vol. 46. No. 1. – P. 77–89.

6. Cherkaev, A. Principles of Optimization of Structures Against an Impact / A. Cherkaev // Journal of Physics: Conference Series 319. – 2011.
7. Ашпина, О. Сверхвысокомолекулярный проект / О. Ашпина // The Chemical Journal. – Сентябрь 2006 – С. 30–33.
8. Свойства композита на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена / С. В. Адашкевич [и др.] // Приборостроение-2016 : материалы 9-й Международной научно-технической конференции, Минск, 23–25 ноября 2016 г. / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: О. К. Гусев [и др.]. – Минск, 2016. – С. 246–247.
9. Композиционные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена: свойства, перспективы использования / Г. Е. Селютин [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. – 2010. – № 18. – С. 375–388.
10. Белоцерковский, М. А. Получение композиционных покрытий на основе полиэтилена газопламенным методом / М. А. Белоцерковский, В. И. Дубкова, И. И. Таран // Актуальные вопросы машиноведения. – 2015. – Выпуск 4. – С. 327–330.
11. Modeling and Simulation of Impact and Perforation in Fiber Reinforced Composites / M. Tehrani, A. Y. Boroujeni, M. S. Al-Haik / Conference: 29th Annual American Society for Composites Technical Conference, September 8, 2014 – September 10, 2014, At San Diego, CA, United states. – <https://www.researchgate.net/publication/272478466>.

References

1. Tolochko, N. K. Konstruktivnye osobennosti bronevyyh panelej na osnove keramiki / N. K. Tolochko // Perspektivnye materialy. – 2011. – № 3. – S. 59–66.
2. Bespalov, I. A. Legkie zashchitnye struktury / I. A. Bespalov, M. O. Alekseev, D. G. Kupryunin. – M.: RadioSoft, 2017. – S. 368.
3. Dragobekij, V. V. Razrabotka elementov sredstv individual'noj zashchity novogo pokoleniya na osnove sloistyyh metallicheskikh kompozicij / V. V. Dragobekij, A. A. SHapo-val, V. G. Zagoryanskij // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenii. Chernaya metallurgiya. – 2015. – Tom 58, № 1. – S. 44–48.
4. Poverhnostnaya obrabotka aramidnoj tkani i ee vliyanie na mekhaniku frikcionno-go vzaimodejstviya nitej / A. V. Ignatova [i dr.] // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mekhanika, 2017. – № 4. – S. 121–137.
5. Gawandi, A. Tow pullout behavior of polymer-coated Kevlar fabric / A. Gawandi // Journal of Materials Science. – 2011. – Vol. 46. No. 1. – P. 77–89.
6. Cherkaev, A. Principles of Optimization of Structures Against an Impact / A. Cherkaev // Journal of Physics: Conference Series 319. – 2011.
7. Ashpina, O. Sverhvysokomolekulyarnyj proekt / O. Ashpina // The Chemical Journal. – Sentyabr' 2006 – S. 30–33.
8. Svoystva kompozita na osnove sverhvysokomolekulyarnogo polietilena / S. V. Adashkevich [i dr.] // Priborostroenie-2016 : materialy 9-j Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, Minsk, 23–25 noyabrya 2016 g. / Belorusskij nacional'nyj tekhnicheskij universitet ; redkol.: O. K. Gusev [i dr.]. – Minsk, 2016. – S. 246–247.
9. Kompozicionnye materialy na osnove sverhvysokomolekulyarnogo polietilena: svoystva, perspektivy ispol'zovaniya / G. E. Selyutin [i dr.] // Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya. – 2010. – № 18. – S. 375–388.
10. Belocerkovskij, M. A. Poluchenie kompozicionnyh pokrytij na osnove polietilena gazoplammennym metodom / M. A. Belocerkovskij, V. I. Dubkova, I. I. Taran // Aktual'nye voprosy mashinovedeniya. – 2015. – Vypusk 4. – S. 327–330.
11. Modeling and Simulation of Impact and Perforation in Fiber Reinforced Composites / M. Tehrani, A. Y. Boroujeni, M. S. Al-Haik / Conference: 29th Annual American Society for Composites Technical Conference, September 8, 2014 – September 10, 2014, At San Diego, CA, United states. – <https://www.researchgate.net/publication/272478466>.

Материал поступил в редакцию 01.03.2022