УДК 378.1

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ И КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ БРОНЕЗАЩИТЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Н. С. ВИНОГРАДОВ, Д. В. ГУРЬЯНОВ
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Современные локальные конфликты и миротворческие операции предъявляют к средствам индивидуальной бронезащиты всё более жёсткие требования. Необходимо обеспечивать высокий уровень защиты личного состава от пуль и осколков при одновременном снижении массы снаряжения, чтобы сохранить мобильность и боеспособность военнослужащего. Традиционные металлические броневые системы и чисто полимерные волокнистые ламинаты уже приблизились к пределу своих защитных свойств. В этих условиях ключевое значение приобретает разработка многофазных композитных структур, объединяющих твёрдую керамику и высокопрочные полимерные волокна.

Индивидуальная бронезащита нового поколения представляет собой сложную многослойную систему, в которой каждый элемент выполняет строго определённую функцию. Лицевая керамическая панель принимает удар поражающего элемента и разрушает его, а тыльная композитная подложка поглощает остаточную кинетическую энергию и удерживает осколки керамики. Синергия этих слоёв обеспечивает защиту, недостижимую для каждого материала в отдельности.

Ключевым элементом такой системы является керамическая бронепанель. Наибольшее распространение получили карбид бора, карбид кремния и оксид алюминия. Карбид бора обладает наилучшим соотношением твёрдости и плотности, однако его высокая стоимость и относительно низкая трещиностойкость ограничивают применение. Карбид кремния представляет собой наиболее сбалансированный по критерию «цена – качество» материал и широко используется в бронежилетах среднего и высокого класса защиты. Оксид алюминия дёшев и технологичен, но имеет повышенную плотность. Перспективным направлением является создание наноструктурированной и градиентной керамики, способной перераспределять ударную нагрузку и повышать живучесть панели при многократных попаданиях.

Важнейшую роль играет композитная подложка. Основным материалом для неё служит сверхвысокомолекулярный полиэтилен, удельная прочность которого в десятки раз превышает прочность стали. Однонаправленные структуры на его основе обеспечивают эффективное рассеивание энергии удара. Арамидные волокна применяются там, где необходима повышенная термостойкость и огнезащита. Совместное использование различных типов волокон в много-

слойном пакете позволяет оптимизировать защитные характеристики при заданной массе.

Особое внимание уделяется проектированию границы раздела «керамика – подложка». Согласование акустических импедансов материалов позволяет управлять распространением ударных волн и снижать растягивающие напряжения, приводящие к откольному разрушению керамики. Дополнительный эффект даёт введение ограничивающих слоёв, создающих предварительное сжатие панели. Для расчёта таких конструкций применяются методы численного моделирования, включая конечно-элементный анализ и гидрокоды, а также экспериментальные методы баллистических испытаний с высокоскоростной регистрацией процесса.

Существенный вклад в развитие нового поколения бронезащиты вносит цифровизация исследований и производства. Виртуальное проектирование позволяет ещё на этапе разработки оценивать поведение конструкции при различных сценариях поражения, а также более наглядно продемонстрировать идею без обязательного создания прототипа. Аддитивные технологии открывают возможность изготовления керамических панелей сложной геометрии и топологически оптимизированных ограничивающих структур. Совместные лаборатории и центры коллективного пользования Беларуси и России способны обеспечить полный цикл – от синтеза материала до баллистической сертификации изделия. Данный подход позволяет оцифровать и ускорить процесс разработки и исследования новых материалов, что, конечно же, является важным шагом на пути автоматизации данного процесса.

Практическая реализация этих направлений требует тесной кооперации науки, образования и промышленности. Вузы должны готовить специалистов, владеющих современными методами материаловедения и численного моделирования, а предприятия – обеспечивать внедрение разработанных решений. В рамках Союзного государства целесообразно формирование совместных научно-производственных кластеров, ориентированных на создание новых броневых материалов и изделий. Это позволит объединить компетенции двух стран в области керамических технологий, производства высокопрочных волокон и баллистических испытаний.

Заключение. В итоге разработка перспективных композитных и керамических материалов для средств индивидуальной бронезащиты является стратегически важным направлением обеспечения безопасности военнослужащих. Комплексное решение научных, технологических и организационных задач позволит создать отечественные образцы бронезащиты нового поколения, не уступающие лучшим мировым аналогам. Сейчас самыми распространёнными материалами являются керамические бронепанели (карбиды кремния, бора, оксид алюминия) и полиэтиленовая композитная подложка. Интеграция передовой науки и реального сектора экономики создаёт надёжный фундамент для укрепления обороноспособности и технологического суверенитета Союзного государства.