

Влияние свойств материала подложки на баллистическую стойкость текстильных бронепакетов

При экспериментальном определении баллистической стойкости текстильные бронепакеты располагают либо на малоплотных подложках из войлока или эластичного пенопласта, например пенополиэтилена (ППЭ), имитирующих антитравматическую подкладку бронежилетов, либо на плотных сплошных подложках из пластилина или желатиновых блоков, имитирующих защищаемый объект. Баллистическая стойкость текстильных бронепакетов, характеризуемая, например, баллистическим пределом v_{50} , зависит от свойств материала подложки.

В частности, баллистический предел v_{50} текстильных бронепакетов, располагаемых на пластилиновых подложках, оказывается заметно ниже v_{50} для тех же бронепакетов, располагаемых на войлочных подложках. Особенно это различие значимо при малом числе слоев ткани. Несколько неожиданным явилось то, что баллистический предел бронепакетов v_{50} располагаемых на тонких (5...8мм) и легких подкладках из ППЭ, оказалась близкой к скорости пробития бронепакетов, располагаемых на пластилине, а не на малоплотном войлоке. Поскольку баллистическая стойкость текстильных бронепакетов является главной характеристикой защищающей способности бронежилетов, необходимо разобраться в понимании физической сущности ее зависимости от свойств материала подложки.

Баллистическая стойкость текстильной брони определяется ее способностью преобразовывать кинетическую энергию ударника в энергию упругого растяжения нитей слоев ткани, из которых состоит бронепакет. Такое преобразование энергии при поперечном ударе по текстильному пакету осуществляется системой продольных и поперечных волн, распространяющихся в нитях. Для реализации механизма деформирования нитей в продольных и поперечных волнах необходимо согласованное движение нитей и ударника. Вовлечение в движение первоначально покоящихся слоев ткани осуществляется волной сжатия, образующейся в пакете на начальной стадии взаимодействия ударника с текстильным пакетом. В этой волне происходит не только ускорение слоев ткани, но и уплотнение пакета, выборка зазоров, начальное натяжение нитей, образование крестообразной структуры, формирующей силу

сопротивления движению ударника. Максимальное давление $p = p_0 V^2 p_m / (p_m - p_0)$, где p_0 – плотность текстильного пакета; p_m – плотность полимера, из которого изготавливаются нити; v – скорость ударника. В диапазоне значений скорости 300...500 м/с максимальное давление в волне сжатия достигает 0,1...1,25 ГПа.

Путем совместного рассмотрения процессов распространения продольных и поперечных волн в нитях и волны сжатия в текстильном пакете установлено, что время формирования t_Φ системы из продольных и поперечных волн $t_\Phi = \frac{r_n}{v} (1 - \sqrt{1 - (v/b)^2})$, где r_n – радиус пули или шарика; b – скорость поперечных волн в нитях. При $t < t_\Phi$ лицевые слои ткани текстильного пакета будут подвергаться сжатию до давления p и интенсивному сдвиговому деформированию без растяжения нитей. При этом, как правило, происходит разрушение нескольких лицевых слоев ткани вследствие интенсивного сдвигового деформирования, которое иногда ассоциируется с «раздавливанием» волокон.

По истечении времени t_Φ поперечные волны в нитях отрываются от поверхности пули и нити ткани вовлекаются в поперечное движение еще до того, как достигнет поверхность головной части пули. Распространяющаяся в нитях продольная волна растяжения поставляет материал в очаг деформации, предотвращая их обрыв.

При выходе волны сжатия на границу раздела текстильного бронепакета с подложкой в зависимости от сжимаемости и инерционности материала подложки возможно отражение волны сжатия или волны разрежения.

Отраженная волна сжатия тормозит движение слоев ткани, что приводит к увеличению давления в зоне воздействия ударника и, как следствие, к возможности пробития по сдвиговому механизму нескольких дополнительных слоев ткани. В итоге – ослабление бронепакета, уменьшение его баллистической стойкости. В последующие моменты времени наличие плотного инерционного материала подложки также затрудняет образование деформационного купола, что отрицательно сказывается на баллистической стойкости бронепакета, поскольку ограничивает основной механизм поглощения кинетической энергии ударника путем ее преобразования в упругую энергию растяжения нитей.

Отраженная волна разрежения, наоборот, ускоряет движение тыльных слоев ткани, что приводит к расслоению текстильного пакета, уменьшает коллективность сопротивления слоев ткани. В итоге – также ослабление баллистической стойкости текстильного бронепакета.

Для обеспечения максимальной баллистической стойкости текстильных бронепакетов сжимаемость материала подложки, точнее антитравматического амортизатора, должна быть максимально близка к сжимаемости текстильного бронепакета. В этом случае амплитуда отраженных волн будет мала и их ослабляющим влиянием на баллистическую стойкость бронепакетов можно пренебречь. Войлок, повидимому, в наибольшей степени из исследованных материалов соответствует этому условию и поэтому обеспечивает максимальную скорость пробития v_{50} бронепакетов среди других исследованных материалов подложки.