

Металлическая броня

Для защиты от средств поражения, обладающих большей кинетической энергией (автоматные и винтовочные пули), необходимо использовать чисто металлические или комбинированные защитные структуры, включающие в себя металлические, композиционные или керамические бронеэлементы.

Металлическая броня как класс включает в себя броневые стали, высоко-прочные алюминиевые и титановые сплавы. Наиболее широко используется стальная броня. С ее помощью можно обеспечить защиту вплоть до 5-го класса при толщине бронеэлемента 5,0...6,5 мм, что соответствует поверхностной плотности 39...51 кг/м². Большие толщины стальных бронеэлементов в индивидуальной бронезащите недопустимы из-за их чрезмерно большого веса.

Броневая сталь представляет собой среднеуглеродистую, среднелегированную сталь мартенситного класса. Высокие прочностные характеристики броневых сталей для СИБ достигаются в результате термообработки, включающей в себя закалку на мартенсит и низкий отпуск.

Как известно, основой стали является сплав железа с углеродом. Железо имеет две полиморфные модификации α и γ . Модификация α «имеет объемно-центрированную кубическую (ОЦК) решетку и существует в двух интервалах значений температуры: до 911 °С и 1392 ... 1539 °С. Модификация γ имеет гранецентрированную кубическую (ГЦК) решетку и существует в интервале значений температуры 911...1392 °С. ГЦК-решетка более компактна, чем ОЦК-решетка. В связи с этим при фазовом переходе $\alpha \rightarrow \gamma$ объем железа уменьшается приблизительно на 1 %. В составе стали железо и углерод присутствуют в виде растворов и химических соединений, представляющих собой следующие фазы: феррит, аустенит, цементит.

В СИБ применяются так называемые противопульные броневые стали высокой твердости, в которых в качестве легирующих элементов могут использовать Cr, Ni, Mo, V, Si. Сложность создания таких сталей обусловлена необходимостью сочетания экстремально высоких значений твердости и прочности, обеспечивающих сопротивление прониканию пули, и достаточного уровня пластичности и вязкости для предотвращения хрупкого разрушения стальных бронеэлементов. Как высокотвердые

хрупкие, так и вязкие пластичные стали, обладающие невысокой твердостью, характеризуются низкой противопулевой стойкостью.

В России основными серийными броневыми сталями, широко применяемыми в противопулевой защите, являются среднелегированные стали марок 44, Ц-85, СПС-43, 96. Из новых разработок следует отметить стали 56, 44С и Ф-110. Прочность этих броневых сталей находится в пределах 1750...2300 МПа, твердость 50...58 HRC, относительное удлинение 8...12 %.

Применяемые в СИБ бронезащитные элементы из стали 44 толщиной 5,5 мм обеспечивают защиту при обстреле в упор обычными пулями АКМ, АК-74 и СВД. Для защиты от пуль с термоупрочненными сердечниками с твердостью, большей 60 HRC, требуется увеличение защищающей толщины бронезащитных элементов на 15...20 %.

Механика процесса пробивания металлической преграды существенно зависит от соотношения ее толщины b и диаметра пули d или сердечника. При соотношении $b/d < 1$, характерном для бронезащитных элементов СИБ, преграда считается тонкой, а сам процесс пробивания - многофакторным, трудно поддающимся теоретическому анализу.

Взаимодействие пули или ее сердечника начинается с ударно-волновой стадии, которая характеризуется наличием ударных волн и волн разрежения как в преграде, так и в сердечнике. Поскольку сердечник пули имеет, как правило, головную часть в форме усеченного конуса, то длительность начальной стадии мала и возникающие ударные волны быстро затухают. Обычно в задачах конечной баллистики ударно-волновую стадию не рассматривают.

Последующая стадия - стадия проникновения сердечника в преграду. В зависимости от соотношения прочностных характеристик материалов сердечника пули и преграды и скорости взаимодействия различают проникновение деформируемых и недеформируемых тел. Проникновение стальных неупрочненных сердечников сопровождается интенсивным динамическим деформированием как сердечника, так и преграды. При проникновении термоупрочненных сердечников они вплоть до разрушения испытывают относительно малые деформации, что дает основание считать их недеформируемыми. В этом случае контактное давление на границе раздела сердечник-преграда может быть приближенно определено с помощью соотношения

$$p_k = H_d + \kappa \rho_{\text{пр}} v_{\text{п}}^2$$

где H_d - динамическая твердость материала преграды; k - коэффициент формы головной части проникающего сердечника, $k = 0,5$ для полусферической головной части, $k = \sin^2 \alpha/2$ - для конической головной части с углом при вершине α ; $\rho_{пр}$ - плотность материала преграды; v_n - скорость пули.

Сердечник пули при проникании не деформируется и не разрушается, если динамический предел текучести (предел прочности) материала сердечника $\sigma_{т.д.с}$ превосходит контактное давление $\sigma_{т.д.с} \geq p_k$. Из этого неравенства и выражения следует соотношение для критической скорости пули $v_{п.кр}$, при превышении которой сердечник нельзя считать недеформируемым:

$$v_{п.кр} = \sqrt{\frac{\sigma_{т.д.с} - H_d}{k\rho_{пр}}}$$

Различают три типа пробивания преград недеформируемыми ударниками: выбивание пробки из преграды; пластическое расширение отверстия с преимущественно радиальным течением материала преграды; пластическое деформирование преграды с образованием тыльной выпучины и последующим ее разрушением по типу срезания пробки (для сердечников с плоским торцом) или образования лепестковой пробоины или пластического отгибания краев (для заостренных сердечников).

На практике эти типы пробивания преград часто совмещаются, например: перед срезанием пробки преграда может деформироваться с образованием тыльной выпучины. Выбиванию пробки, как правило, предшествует внедрение сердечника пули в преграду на определенную глубину.

Титан имеет две полиморфные модификации: низкотемпературная α -модификация имеет ГПУ-решетку и устойчива до температуры 882 °С, при более высокой температуре устойчива β -модификация, имеющая ОЦК-решетку. Наличие полиморфизма создает предпосылки для улучшения свойств титановых сплавов с помощью легирования и термообработки. По своему кристаллическому строению титановые сплавы делятся на однофазные с α -структурой, двухфазные с $(\alpha+\beta)$ -структурой и однофазные с β -структурой.

Титановые сплавы с α -структурой ВТ5, ВТ5-1 содержат 5 % алюминия, являющегося α -стабилизатором, а также 2,5 % олова. Эти сплавы имеют

средний уровень прочности, не подвергаются термообработке и обладают очень высокой коррозионной стойкостью.

Двухфазные титановые сплавы с (α+β)-структурой ВТ6, ВТ8, ВТ14, ВТ16 и др. содержат в определенной пропорции α- и β-стабилизаторы: алюминий, ванадий, молибден, хром, железо и др. Эти сплавы обладают хорошим сочетанием технологических и механических свойств - они упрочняются при термообработке до $\sigma_{\text{в}} = 1,5...1,8$ ГПа. Титановые сплавы характеризуются относительно невысоким модулем упругости 112 ГПа.

О баллистической стойкости тонких пластин из титанового сплава Ti-6Al-4V (330 НВ, $\sigma_{\text{в}} = 895$ МПа) при воздействии бронебойных пуль со стальным и свинцовым сердечниками можно судить по зависимостям 50%-ной скорости пробития от толщины пластин, приведенным на рис. 5.8.

Однофазные β-сплавы не имеют широкого промышленного применения, так как для получения устойчивой β-структуры сплавы должны быть легированы большим количеством β-стабилизаторов, таких как V, Mo, Nb, Ta - дорогих и дефицитных материалов, к тому же значительно повышающих плотность сплавов. В настоящее время применяются так называемые псевдо-β-сплавы типа ВТ15, содержащие до 20% V, Mo, Cr.

В СИБ применяются титановые сплавы с (α+β)-структурой (ВТ14, ВТ23 и др.) и однофазные псевдо-β-сплавы (ТС6). Так же, как и для стальной брони, большую роль в улучшении механических свойств титановой брони играет измельчение микроструктуры.

Необходимо отметить, что из-за низкой теплопроводности титановые сплавы при интенсивном динамическом нагружении имеют склонность к локализации сдвиговых пластических деформаций, т. е. образованию полос адиабатического сдвига. Поэтому доминирующим механизмом пробития титановых бронепластин является срез и выбивание пробки.

Систематическое использование титановых сплавов для изготовления бронезащитных средств индивидуальной бронезащиты началось еще в 1970-х гг, в 1980-х гг. была разработана серия бронезащитных жилетов 6Б5, в которых использовали титановую броню из ВТ 14 в противоосколочных бронезащитных жилетах (толщина пластин 1,25 мм) и из ВТ23 в противопульных бронезащитных жилетах (толщина пластин 6,5 мм). В современных общевойсковых противо-пульных бронезащитных жилетах толщина титановой брони увеличена до 9,5 мм. При этом подпирательный текстильный бронепакет состоит из 70 слоев ткани ТСВМ-ДЖ. Наряду с разработкой титановой брони для бронезащитных жилетов НИИ стали разработать серию комбинированных бронешлемов из

цельнотянутого титана массой до 2,1 кг, обеспечивающих защиту по 2-му классу.