



К ВОПРОСУ О ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ БРОНИРОВАНИЯ ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Рассмотрены особенности бронирования военной техники с использованием алюминиевых сплавов, которые стали легкой и эффективной альтернативой традиционной стальной броне. Проведен анализ ключевых свойства броневых алюминиевых сплавов. Акцент сделан на перспективных российских разработках, таких как композиционные брони на основе алюминиевых сплавов и пеноалюминий. Подчеркивается актуальность применения инновационных композиционных материалов на основе высокопрочных алюминиевых сплавов с интерметаллическим упрочнением.

Бронирование, броневой алюминиевый сплав, композиционные алюминиевые брони, прочность, жесткость, пустотелость, баллистическое воздействие.

Современные технологии бронирования вышли далеко за пределы использования традиционных материалов. Алюминиевые сплавы, вопреки кажущейся мягкости чистого алюминия, стали ключевым элементом для создания легкой, прочной и высокоэффективной брони. Такая броня активно применяется в бронетехнике по всему миру, демонстрируя свои преимущества в условиях реальных боевых задач. Среди наиболее известных примеров массового использования алюминиевой брони можно выделить:

1. Американский бронетранспортер М113, который стал одним из первых массовых образцов бронетехники с алюминиевой броней. Его корпус изготовлен из алюминиевого сплава 5083, легированного магнием. Более 80 тысяч таких машин были произведены, и многие из них до сих пор остаются в строю [1]. М113 доказал свою эффективность во время Вьетнамской войны, где его легкая броня обеспечивала защиту от стрелкового оружия и осколков.

2. Советская БМП-1, принятая на вооружение в 1966 году, стала первой советской боевой машиной пехоты с алюминиевой броней. Надmotorная часть ее корпуса была защищена броневым алюминиевым сплавом 1901, который выдерживал попадания бронебойных пуль калибром до 23 мм.

3. Российские БМД-1 и БМП-3. Так, в частности, БМД-1, созданная на основе броневоего алюминиевого сплава 1901, в 1976 году стала первой в мире машиной, десантированной с экипажем. Ее алюминиевый корпус обеспечил не только защиту, но и высокую прочность конструкции. БМП-3, созданная на основе броневоего алюминиевого сплава 1903, стала полностью алюминиевой боевой машиной, включая башню. Использование алюминия снизило ее вес почти на треть по сравнению со стальной броней [2].

Эти разработки подтверждают, что алюминиевые сплавы остаются востребованным материалом в со-

временных системах защиты, сочетая в себе легкость, надежность и технологичность.

Алюминий в чистом виде – мягкий и легкий металл, но его сплавы с добавлением магния, цинка, меди и других элементов обладают уникальными свойствами. Основные характеристики, которые делают алюминиевые сплавы идеальными для бронирования:

Во-первых, это высокая прочность при малом весе. Современные алюминиевые сплавы могут быть в 15–20 раз прочнее чистого алюминия. Например, сплав 5083, используемый в американских бронетранспортерах М113, обладает пределом прочности до 300 МПа. Хотя сталь все еще тверже (предел прочности высокопрочных сталей достигает 1000 МПа), алюминиевая броня при той же массе оказывается толще, что компенсирует разницу в твердости [3].

Во-вторых, легкость. Плотность алюминия составляет около 2,7 г/см³, что почти в три раза меньше, чем у стали (7,8 г/см³). Это позволяет значительно снизить массу бронетехники, что критически важно для повышения ее тактико-технических характеристик, мобильности, проходимости и возможности десантирования.

В-третьих, коррозионная стойкость. Алюминий естественным образом образует на своей поверхности оксидную пленку, которая защищает его от коррозии. В отличие от стали, алюминиевая броня не требует дополнительной защиты от ржавчины, что снижает затраты на обслуживание.

В-четвертых, жесткость и конструктивная применимость. Алюминиевые сплавы обладают высокой жесткостью, что позволяет использовать их в качестве несущих элементов конструкции. Например, корпус БМД-1, выполненный из броневоего алюминиевого сплава 1901, не только защищает экипаж, но и выдерживает значительные механические нагрузки.

В Российском центре испытаний (РЦИ) при московском «НИИ стали» ежедневно проводятся десятки

тестов с тем, чтобы оценить защитные свойства новых броневых алюминиевых сплавов [6]. Испытания включают в себя:

а) обстрел из стрелкового оружия и легких пушек калибром до 23 мм, при этом броневые панели устанавливаются под разными углами. После каждого выстрела специалисты оценивают степень поражения брони по 10-балльной шкале (рис. и табл.) [4];

б) оценку характера разрушения броневой панели с использованием метода «керосиновой пробы». Этот простой, но эффективный метод позволяет быстро оценить целостность бронеплиты. Если керосин, нанесенный с одной стороны бронепанели, после отстрела, просачивается на обратную сторону, это свидетельствует о наличии в ней сквозных микротрещин.

Высокая прочность и твердость броневых алюминиевых сплавов 1901 и 1903 достигаются за счет увеличения содержания в них цинка и магния. Российские разработчики придерживаются суммарного содержания этих элементов в пределах 7–9 %, что обеспечивает дополнительную прочность по сравнению с зарубежными аналогами, где этот показатель составляет 5–7 %. Однако увеличение содержания цинка и магния повышает склонность данных сплавов к коррозии под напряжением [3]. Для компенсации этого недостатка используются модифицирующие добавки, такие как хром и цирконий, а также уникальные режимы термической обработки.

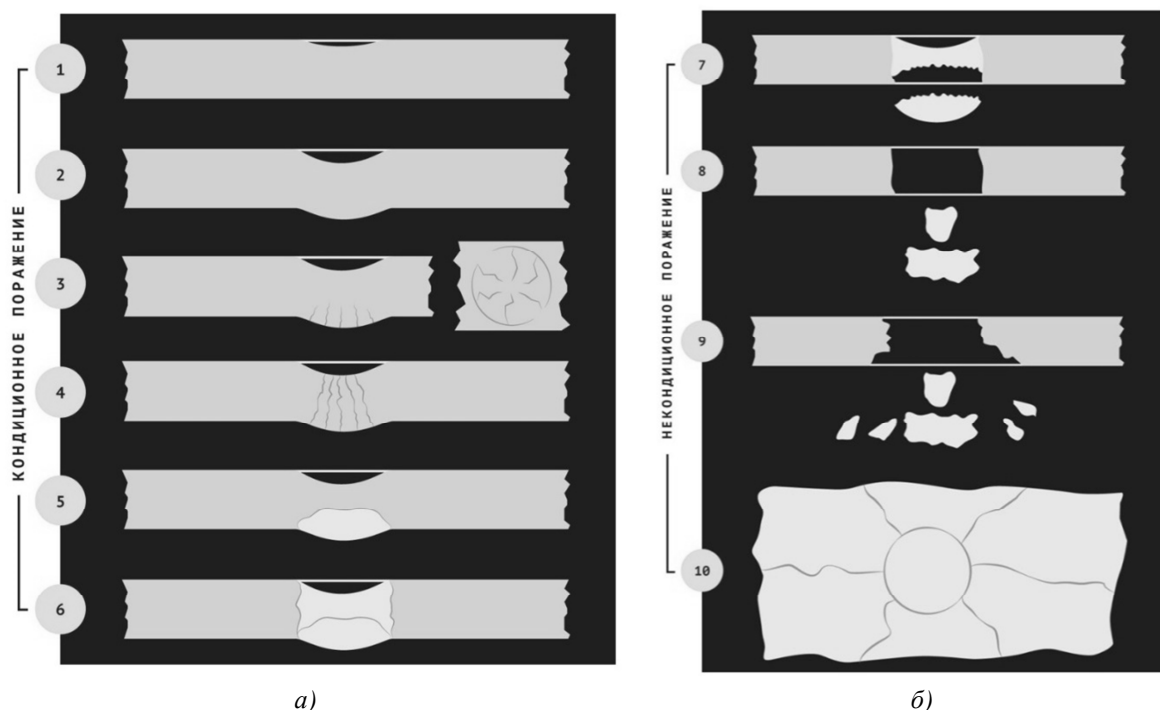


Рис. Стандартная шкала поражения броневых преград из сплавов алюминия

Таблица

Характеристики поражения броневых алюминиевых преград

Характер поражения броневых преград	Балл	Описание поражения
Кондиционное поражение (рис. а)	1	С тыльной стороны выпучины нет
	2	С тыльной стороны чистая выпучина любой величины
	3	С тыльной стороны чистая выпучина любой величины с мелкими надрывами
	4	С тыльной стороны чистая выпучина любой величины с радиальными сквозными надрывами и трещинами. Керосин просачивается
	5	С тыльной стороны наметилась пробочка без пробития
	6	С тыльной стороны чистая выпучина любой величины по окружности, наметившийся откол
Некондиционное поражение (рис. б)	7	Откол любой формы и величины с тыльной стороны при непробитии листа
	8	Сквозная пробоина с чистыми или рваными краями с тыльной стороны, или выбитая пробочка, или выход сердечника
	9	Сквозная пробоина с отколом любой формы и глубины с тыльной стороны, или сквозная пробоина с одним или несколькими кольцевыми расслоениями
	10	Раскол карты или сквозные трещины, выходящие за пределы поражения в результате испытаний

Зарубежные сплавы, напротив, ориентированы на повышенную коррозионную стойкость, но при этом имеют умеренную прочность [5]. Российские сплавы демонстрируют высокую живучесть, то есть способность сохранять защитные свойства при многократном воздействии, что критически важно для бронированной техники.

Для достижения необходимых свойств, броневые алюминиевые сплавы 1901 и 1903 проходят термическую обработку при температуре от 450 до 500 °С, после чего подвергаются искусственному старению. Это обеспечивает им высокую прочность и устойчивость к деформациям. Кроме того, в состав сплавов вводят дополнительные легирующие элементы, такие как марганец, медь, титан, хром, цирконий и даже серебро, каждый из которых выполняет свою функцию. Например, медь повышает прочность, но снижает свариваемость, а хром и цирконий увеличивают коррозионную стойкость под напряжением. Эти добавки, наряду с уникальными технологиями обработки, делают российские сплавы лучшими в мире по сочетанию прочности, живучести и коррозионной стойкости.

Таким образом, российские алюминиевые броневые сплавы системы Al – Zn – Mg, представляют собой актуальное решение для броневой защиты военной техники. Их уникальные свойства и оптимизированные технологии обработки позволяют создавать легкие, прочные и долговечные конструкции, что подтверждается успешным применением в бронетехнике, включая десантные машины.

Сегодня исследования в области разработки броневых алюминиевых сплавов продолжаются. Ученые работают над созданием новых материалов с повышенной коррозионной стойкостью, а также разрабатывают композитные алюминиевые брони.

Композитная броня представляет собой многослойный композиционный материал, где алюминиевые сплавы сочетаются с керамикой и полимерными материалами. Это позволяет повысить защиту техники от бронебойных пуль и кумулятивных снарядов.

Одной из перспективных разработок «НИИ стали» в области легкого бронирования на сегодняшний день является пеноалюминий [7]. В основе технологии его получения лежит метод порошковой металлургии. Пористая алюминиевая матрица пеноалюминия состоит из высокопрочного алюминиевого сплава и нитрида титана (TiN₂). Пеноалюминий обладает высокой энергопоглощающей способностью и идеально подходит для защиты техники от мин и фугасов, что делает его перспективным материалом для использования в бронетехнике, предназначенной для действий в условиях городских боев. Использование пеноалюминия при изготовлении днища перспективной российской боевой машины пехоты нового поколения «Курганец-25» позволило снизить ее вес на 300 килограммов, существенно улучшив ее тактико-технические показатели.

Благодаря оптимизации состава и технологий обработки, российские броневые алюминиевые сплавы превосходят зарубежные аналоги, обеспечивая высокий уровень защиты при минимальной массе кон-

струкции. Так, современные российские боевые машины БМД-4М и БТР-МДМ «Ракушка», относящиеся к технике воздушно-десантных войск (ВДВ), также являются ярким примером использования передовых композиционных броневых алюминиевых сплавов. БТР-МДМ «Ракушка» – российский десантируемый бронетранспортер, созданный на волгоградском тракторном заводе, предназначен для перевозки личного состава, боеприпасов, запасных частей, ГСМ в подразделениях ВДВ и морской пехоты. По ходовой части и силовой установке данная машина унифицирована с БМД-4М. БМД-4М «Садовница» – модернизированная боевая машина десанта четвертого поколения с новым корпусом, двигателем, ходовой частью и другими узлами. Корпуса БМД-4М и БТР-МДМ изготовлены с применением сверхпрочного алюминиевого сплава ПАС-1 нового поколения разработки «НИИ стали», что обеспечивает надежную противопульную защиту и предотвращает поражение осколками экипажа внутри машины.

В Пензенском государственном университете на кафедре «Сварочное, литейное производство и материаловедение» разработан новый композиционный броневой материал на основе высокопрочного алюминиевого сплава В95 с интерметаллическим упрочнением [8]. В основу броневых материалов положено армирование его структуры перфорированными слоями титанового сплава ВТ1-0. Специальный режим термической обработки композита позволил сформировать на границах армирующих слоев и основы алюминиевой матрицы композита высокотвердые интерметаллические слои на основе алюминидов титана (TiAl₃) заданной толщины, способствующие разрушению баллистического объекта. Наличие перфораций в промежуточных титановых слоях между основными слоями алюминиевой матрицы композита позволило локализовать механизм развития хрупких трещин при баллистическом воздействии на материал, тем самым повысив живучесть самой алюминиевой брони. Композиционный материал изготавливается методом сварки взрывом, имеющим существенные преимущества, по сравнению с традиционными технологиями получения многослойных металлических материалов [9, 10].

Алюминиевая броня находит применение не только в военной, но и в гражданской сфере. Из нее изготавливают бронежилеты, шлемы для полицейских, автомобили для инкассаторов и даже защитные конструкции для банковских хранилищ.

Таким образом, на основании приведенного анализа, можно сделать вывод, что алюминиевые сплавы обладают значительными преимуществами, что делает их крайне привлекательными для разработчиков боевой бронированной техники. Начиная с середины XX века, интерес к этим материалам привел к созданию множества образцов бронетехники, в которых в той или иной степени использовалась алюминиевая броня. Часть из этих разработок осталась на стадии проектов и испытаний, тогда как другие были произведены в крупных масштабах и успешно применялись для выполнения боевых и других задач.

Алюминиевые сплавы доказали свою эффективность в качестве материала для бронирования, что способствовало их широкому распространению. Хотя они и не смогли полностью заменить традиционные стальные листы и отливки, в ряде случаев они стали достойной альтернативой. При этом прогресс в области защиты техники продолжается, и сегодня разработчики и заказчики бронетехники имеют доступ к обширному перечню материалов. Среди них алюминиевые сплавы занимают важное место, оставаясь востребованными и перспективными.

Литература

1. Технические характеристики бронетранспортера M113 / Министерство обороны США. – URL: <https://www.army.mil/m113> (дата обращения: 22.11.2024). – Текст : электронный.
2. Федосеев, С. В. Боевые машины пехоты и бронетранспортеры / С. В. Федосеев. – Москва : Экспринт, 2003. – 256 с.
3. Гуляев, А. П. Металловедение : учебник для вузов / А. П. Гуляев. – 6-е изд., перераб. и доп. – Москва : Металлургия, 1986. – 544 с.
4. Фишман, Р. Секрет алюминиевой брони: самой легкой защиты для военной бронетехники / Р. Фишман. – URL: <https://techinsider.ru> (дата обращения: 15.12.2024).
5. Jane's Armour and Artillery. – 2020 Edition. – Jane's Information Group, 2020. – 720 p.
6. Российский центр испытаний (РЦИ) : официальный сайт. – URL: <https://www.rci-steel.ru> (дата обращения: 16.12.2024).
7. Современные алюминиевые сплавы для бронирования / НИИ стали. – Москва : НИИ стали, 2022. – 45 с.
8. Крюков, Д. Б. Аспекты получения легких броневых композиционных материалов с механизмом локализации хрупких трещин в структуре при баллистическом воздействии / Д. Б. Крюков // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Материалы. Конструкции. Технологии». – 2023. – № 1 (25). – С. 20–28.
9. Крюков, Д. Б. Структурные особенности и технология получения легких броневых композиционных материалов с механизмом локализации хрупких трещин // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2022. – Т. 24, № 3. – С. 103–111.
10. Крюков, Д. Б. Перспективные легкие трещиностойкие брони, полученные с применением технологии сварки взрывом / Д. Б. Крюков // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2022. – Т. 18, № 10 (214). – С. 440–443.

D.B. Kryukov
Penza State University

ON PROSPECTS OF DEVELOPING ARMORING TECHNOLOGIES FOR MILITARY EQUIPMENT BASED ON ALUMINUM ALLOYS

The features of armoring military equipment using aluminum alloys, which have become a lightweight and effective alternative to traditional steel armor, are examined. An analysis of the key properties of armor-grade aluminum alloys is conducted. Emphasis is placed on promising Russian developments, such as composite armors based on aluminum alloys and aluminum foam. The relevance of using innovative composite materials based on high-strength aluminum alloys with intermetallic hardening is highlighted.

Armoring, armor-grade aluminum alloy, composite aluminum armors, strength, rigidity, bullet resistance, ballistic impact.