

УДК 669.2

АЛЮМИНИЕВАЯ БРОНЯ - ЛЕГКАЯ, ПРОЧНАЯ И НАДЕЖНАЯ ЗАЩИТА ВОЕННОЙ И ГРАЖДАНСКОЙ ТЕХНИКИ

Крюков Д.Б.

к.т.н, доцент,

Пензенский государственный университет

Пенза, Россия

Аннотация

Статья посвящена технологиям бронирования военной техники на основе алюминиевых броневых сплавов, которые стали легкой и эффективной альтернативой традиционной стальной броне. В статье рассмотрены ключевые свойства алюминиевых сплавов, такие как высокая прочность при малом весе, коррозионная стойкость и жесткость, которые делают их идеальными для использования в бронетехнике. Описаны методы испытаний алюминиевой брони, включая оценку пулестойкости, а также использование керосиновой пробы для определения характера разрушения бронеплит. Приведены примеры успешного боевого применения алюминиевой брони в военной технике. Особое внимание уделено перспективным разработкам, включая композитную броню и пеноалюминий, которые открывают новые возможности для повышения защиты и мобильности бронетехники. Показана актуальность применения нового композиционного броневых материала на основе высокопрочного алюминиевого сплава с интерметаллическим упрочнением. Статья подчеркивает, что алюминиевая броня продолжает совершенствоваться, оставаясь важным элементом современных военных и гражданских технологий.

Ключевые слова: алюминиевые броневые материалы и сплавы, композиционный материал, пулестойкость, прочность, жесткость.

***ALUMINUM ARMOR - LIGHT, STRONG, AND RELIABLE PROTECTION
FOR MILITARY AND CIVILIAN EQUIPMENT***

Kryukov D.B.

PhD, Associate Professor,

Penza State University

Penza, Russia

Abstract.

The article focuses on the technologies of armoring military equipment based on aluminum armor alloys, which have become a lightweight and effective alternative to traditional steel armor. The article discusses the key properties of aluminum alloys, such as high strength with low weight, corrosion resistance, and rigidity, making them ideal for use in armored vehicles. Methods for testing aluminum armor are described, including bullet resistance assessment and the use of kerosene testing to determine the nature of armor plate failure. Examples of successful combat applications of aluminum armor in military equipment are provided. Special attention is given to promising developments, including composite armor and aluminum foam, which open new possibilities for enhancing the protection and mobility of armored vehicles. The relevance of using a new composite armor material based on high-strength aluminum alloy with intermetallic hardening is demonstrated. The article emphasizes that aluminum armor continues to evolve, remaining an essential element of modern military and civilian technologies.

Keywords: aluminum armor materials and alloys, composite material, bullet resistance, strength, rigidity.

Современные технологии бронирования давно перешагнули границы традиционных материалов. Алюминиевые сплавы, несмотря на кажущуюся мягкость чистого алюминия, стали основой для создания легкой, прочной и эффективной брони, которая успешно применяется в бронетехнике по всему

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

миру. Основными примерами массового применения алюминиевой брони на сегодняшний день являются:

1) Американский бронетранспортер M113, 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]. M113 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. Надмоторная часть её корпуса была защищена броневым алюминиевым сплавом 1901, который выдерживал попадания бронебойных пуль калибром до 23 мм [2].

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

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 это:

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 M113, 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 [4].

Во-вторых - это 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 - это 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 [5].

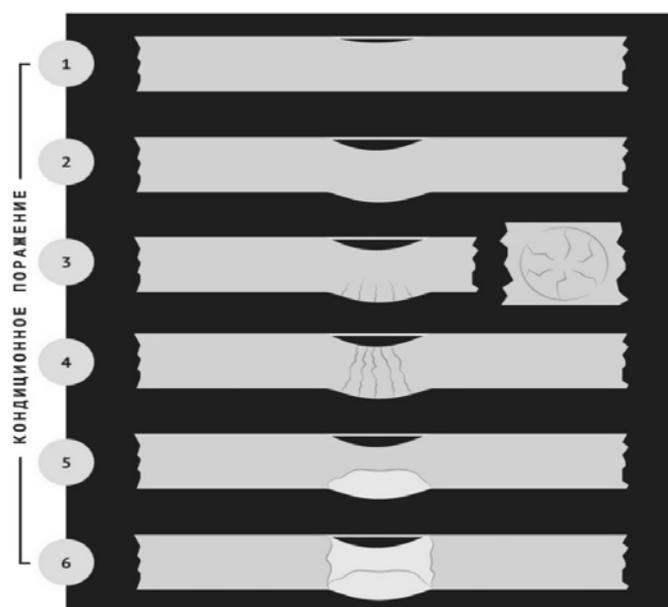
В-четвертых - это жесткость и конструктивная применимость. Алюминиевые сплавы обладают высокой жесткостью, что позволяет использовать их в качестве несущих элементов конструкции. Например, корпус БМД-1, выполненный из сплава броневое алюминиевого сплава 1901, не только защищает экипаж, но и выдерживает 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 [9]. Испытания включают в себя:

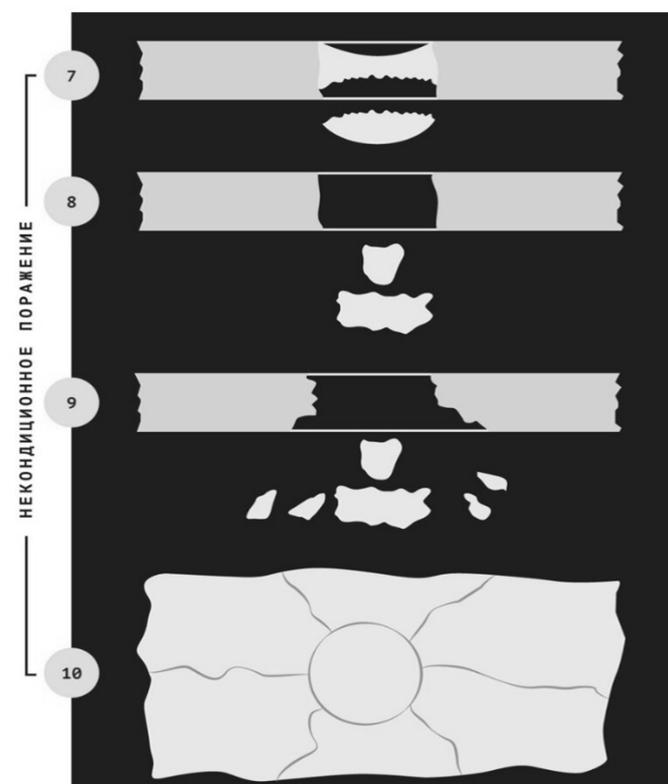
а) Обстрел из стрелкового оружия и легких пушек калибром до 23 мм., при этом броневые панели устанавливаются под разными углами. После каждого выстрела специалисты оценивают степень поражения брони по 10-балльной шкале (см. рисунок 1 и таблицу 1) [6];

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.



а)



б)

Рис. 1 - стандартная шкала поражения броневых преград из сплавов алюминия

Таблица 1 – Характеристики поражения броневых алюминиевых преград

Характер поражения броневых преград	Балл	Описание поражения
Кондиционное поражение (см. рис.1 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 (см. рис.1 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

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 [11]. Для компенсации этого недостатка

используются модифицирующие добавки, такие как хром и цирконий, а также уникальные режимы термической обработки.

Зарубежные сплавы, напротив, ориентированы на повышенную коррозионную стойкость, но при этом имеют умеренную прочность [7, 8]. 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 [10]. В основе технологии его получения лежит метод порошковой металлургии. Пористая алюминиевая матрица пеноалюминия состоит из высокопрочного алюминиевого сплава и нитрида титана (TiN_2). 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 её 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 конструкции. 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 бронетранспортёр, 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 четвёртого поколения с новым корпусом, двигателем, ходовой частью и другими узлами. Корпуса БМД-4М и Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

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 [12]. В основу броневого материала 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 ($TiAl_3$) 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 [13; 14].

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

Алюминиевая броня – это не просто легкая альтернатива стали, а высокотехнологичный материал, который продолжает совершенствоваться. Благодаря своим уникальным свойствам, алюминиевые сплавы остаются важным элементом современной бронетехники, обеспечивая защиту, Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

мобильность и надежность на поле боя. Испытания и боевое применение доказали, что алюминиевая броня способна выдерживать серьезные нагрузки, а её легкий вес открывает новые возможности для разработки более маневренных и эффективных боевых машин. Пока в испытательных центрах звучат выстрелы, разработчики продолжают искать новые способы сделать броню еще прочнее, легче и надежнее. Алюминий, некогда считавшийся слишком мягким для военных нужд, сегодня стал символом инноваций в области бронезащиты.

Библиографический список:

1. Технические характеристики бронетранспортера M113 / Министерство обороны США. – URL: <https://www.army.mil/m113> (дата обращения: 22.11.2024).
2. Скляров В.А., Гребенников С.Ф. Бронетанковая техника: история, конструкция, применение. – М.: Воениздат, 2005. – 320 с.
3. Федосеев С.В. Боевые машины пехоты и бронетранспортеры. – М.: Экспринт, 2003. – 256 с.
4. Гуляев А.П. Металловедение: учебник для вузов. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
5. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1981. – 416 с.
6. Фишман Р. Секрет алюминиевой брони: самой легкой защиты для военной бронетехники: сайт. URL: <https://techinsider.ru> (дата обращения: 15.12.2024).
7. Jane's Armour and Artillery. – 2020 Edition. – Jane's Information Group, 2020. – 720 p.
8. Hutchinson B., Ringer S.P. Aluminium Alloys for Armour Applications // Materials Science and Engineering: A. – 2000. – Vol. 280, № 1. – P. 75–83.

9. Российский центр испытаний (РЦИ): официальный сайт. – URL: <https://www.rci-steel.ru> (дата обращения: 16.12.2024).
10. Современные алюминиевые сплавы для бронирования / НИИ стали. – М.: НИИ стали, 2022. – 45 с.
11. Коррозионная стойкость алюминиевых сплавов / Журнал «Металлы и сплавы». – 2021. – № 4. – С. 12–18.
12. Крюков Д.Б. Аспекты получения легких броневых композиционных материалов с механизмом локализации хрупких трещин в структуре при баллистическом воздействии // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Материалы. Конструкции. Технологии». 2023. № 1 (25). С. 20–28.
13. 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.
14. 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.

Оригинальность 80%