

электрода.

Выводы

Таким образом, в результате анализа сформулированы следующие версии процесса оплывания активной массы аккумуляторов:

- выкрашивание [5] вследствие постоянного изменения своего объема при заряде и разряде, а также ослабления сцепления частичек активной массы между собой; отделение от аккумуляторных пластин мелких кристаллов двуокиси свинца [2];
- возникновение плотного, мелкокристаллического сульфата при разряде в электролите высокой концентрации, низких температурах и высоких плотностях тока, приводящего к образованию при заряде рыхлого слоя двуокиси, склонного к оплыванию [3];
- постепенное оползание активной массы с верхних зон электрода и накопление ее в нижних как следствие простого оплывания активной массы, а также вызванного концентрационными изменениями в электролите расслоения жидкости на верхние слои, в которых создаются условия, благоприятствующие растворению активного вещества, и на нижние, в которых оно оседает [6].

С учетом проведенных экспериментальных исследований, подтверждающих данные мнения, возникает необходимость дальнейшего исследования сущности явления разрушения и оплывания активной массы положительного электрода свинцового аккумулятора, так как эти явления приводят к постепенному снижению емкости аккумулятора в целом, к росту поляризации и снижению разрядного напряжения. А, следовательно, именно они являются основной причиной ограничения ресурса, срока службы и срока сохраняемости свинцовых кислотных аккумуляторных батарей.

Литература

1. Болотовский В.И. Эксплуатация, обслуживание и ремонт свинцовых аккумуляторов [Текст]. / В.И. Болотовский, З.И. Вайсгант. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1988. – 208 с.
2. Дасоян М.А. Современная теория свинцового аккумулятора [Текст]. / М.А. Дасоян, И.А. Агуф. – Л.: «Энергия», 1975. – 312 с.
3. Крепакова Е.И. Исследование причин, вызывающих разрушение активной массы положительных пластин свинцового аккумулятора [Текст]: Сборник работ по аккумуляторам / Е.И. Крепанова, Б.Н. Кабанов. – М.: ЦБТИ Электропр., 1958. – 64 с.
4. Багоцкий В.С. Химические источники тока [Текст]. / В.С. Багоцкий, А.М. Скундин. – М.: Свинцовые стартерные аккумуляторные батареи: Руководство [Текст]. – М.: Воениздат, 1983. – 170 с.
5. Белогуров И.Г. Стартерные кислотные аккумуляторы [Текст]. / И.Г. Белогуров. – М.: Воениздат, 1960. – 168 с.
6. Машовец В.П. Испытание опытных образцов аккумуляторов с решетками из сплавов, содержащих примеси [Текст]: Журнал прикладной химии / В.П. Машовец. – М., 1958. – 1360 с.

Особенности конструкции композитной брони повышенной живучести

к.ф.-м.н. доц. Кулаков Н.А., к.т.н. доц. Любин А.Н.

МГТУ «МАМИ»

(495) 223-05-23 доб. 1265

Аннотация. В статье рассматриваются конструктивные особенности композитной брони. Предложены конструктивные варианты её исполнения. Эти варианты обеспечивают возможность использования брони в качестве защиты от огня крупнокалиберных пулеметов, сохраняя её весовые характеристики и защитные свойства от бронебойных пуль меньшего калибра. Одновременно предложены меры, существенно повышающие живучесть брони при отрицательных температурах.

Ключевые слова: композитная броня, бронебойные пули, керамические элементы, дробяще-отклоняющий слой.

На протяжении многих лет для защиты автобронетанковой техники от огня стрелкового оружия и крупнокалиберных пулеметов использовали металлическую броню из специальных броневых сталей. После создания и внедрения бронебойных пуль с сердечником из упорочненных сталей или из специальных твердых материалов, такая броня стала неэффективной из-за большого её веса. Для защиты автобронетанковой техники от современных средств поражения требуется броневая сталь толщиной от 14 до 30 мм., что не позволяет использовать её для легкобронированной техники в силу её ограниченной грузоподъёмности. В последнее время для существенного повышения уровня защищённости легкобронированной автобронетанковой техники нашла широкое использование композитная броня.

Существуют различные виды композитной брони, например, слоистая броня [1], которая состоит из наружного слоя, выполненного из керамики или сплава с твердостью выше 27HRC, промежуточного слоя из алюминиевого или другого сплава с твердостью менее 27HRC и тыльного слоя из полимерного композиционного материала. Все три слоя связаны между собой полимерным намоточным композиционным материалом. Недостатками такой композитной брони являются большой вес, низкая эксплуатационная надежность и малая живучесть конструкции. Обусловлено всё это тем, что при падении, ударах или вибрациях происходит отслоение керамического слоя брони от остальных её слоев, что приводит к резкому снижению её баллистической стойкости.

В настоящее время наибольший интерес представляет композитная броня с дробяще-отклоняющим слоем [2-5]. Дробяще-отклоняющий слой состоит из отдельных плотно упакованных керамических элементов. Такую броню ещё называют дисперсной композиционно-керамической бронёй, или композитной бронёй. Конструктивно такая композитная броня состоит из дробяще-отклоняющего и задерживающего слоёв (рисунок 1).

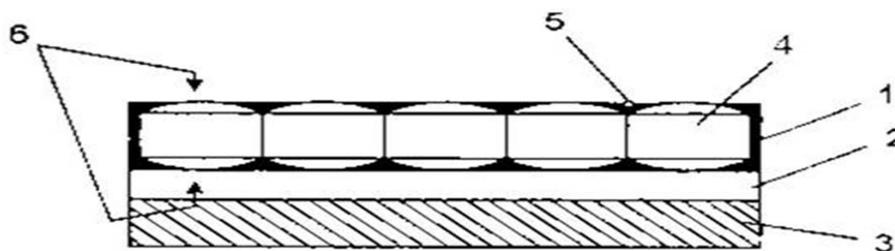


Рисунок 1 – Композитная броня: 1- дробяще-отклоняющий слой, 2- зазор, 3- задерживающий слой, 4- керамический элемент, 5- связующий состав, полиуретановый полимер, 6- торцы керамического элемента, выпуклой формы

Основу такой брони составляет дробяще-отклоняющий слой, который состоит из отдельных высокопрочных керамических элементов, в частности, корундовых элементов, твердость которых превышает твердость сердечника бронебойной пули. Выполнены керамические элементы в виде цилиндров с выпуклыми торцами, оси которых расположены по нормали к наружной поверхности брони. Керамические элементы плотно упакованы в один слой и соединены в единую панель посредством связующего состава на основе полимеров, например, полиуретанового полимера.

При попадании пули в один из керамических элементов дробяще-отклоняющего слоя брони или между ними происходит разрушение пули, самого керамического элемента и близлежащих керамических элементов на осколки. Энергия удара при этом расходуется не только на разрушение пули и керамических элементов, но и на перемещение остальных керамических элементов в плоскости брони за счёт частичного преобразования осевого ударного импульса в импульс в плоскости брони ввиду выпуклости торцов цилиндрической части керамических элементов. Наиболее критичный вариант взаимодействия пули с керамическим элементом соответствует попаданию пули по центру керамического элемента. Именно такой гипотетический вариант взаимодействия рассматривался авторами этой статьи в рас-

чётной части данной работы [4]. Предполагалось, что керамический элемент не разрушается, а масса пули полностью соединяется с массой керамического элемента, который далее воздействует на задерживающий слой брони. Задерживающий слой брони препятствует проникновению осколков пули, осколков разрушенных керамических элементов и целых керамических элементов.

Задерживающий слой может быть выполнен на основе армидных (Kevlar) или полиэтиленовых волокон (Dyneema) и полимерной матрицы, что обеспечивает эффективное поглощение и рассеивание энергии пули [2]. Недостаток композитной брони с таким задерживающим слоем состоит в том, что материалы на основе армидных и полиэтиленовых волокон являются слишком дорогостоящими.

Использование в конструкции данного вида композитной брони в качестве задерживающего слоя более дешевых конструктивных материалов, например алюминиевых сплавов или сталей, имеет свои конструктивные особенности. Так в ходе работы экспериментально было установлено, что плотное прилегание дробяще-отклоняющего слоя к задерживающему слою, выполненному из этих материалов, само по себе неэффективно. Объясняется это тем, что эти материалы имеют высокий модуль упругости при поперечном сжатии, что ограничивает перемещение керамического элемента, в результате чего рассеивание энергии пули невелико, а сам керамический элемент действует на задерживающий слой брони с большой силой, как пробойник, и вместе с пулей пробивает броню. Для устранения этого недостатка было предложено конструктивно обеспечить зазор между дробяще-отклоняющим и задерживающим слоями (см. рисунок 1) [3]. Наличие зазора между вышеуказанными слоями даёт некоторую свободу перемещения керамическому элементу под действием пули. В частности, возможность некоторого разворота керамического элемента в поперечном направлении до его контакта с задерживающим слоем, в результате чего он эффективнее приводит в движение (расталкивает) смежные элементы, что, в свою очередь, обеспечивает лучшее рассеивание энергии пули, что было подтверждено соответствующими испытаниями [3]. Таким образом, задача по использованию дешевых материалов для задерживающего слоя, в частности, может быть решена конструктивным путём за счёт обеспечения зазора между дробяще-отклоняющим и задерживающим слоями или за счёт размещения между ними прослойки из материала с модулем упругости при сжатии менее 40 ГПа (рисунки 1 и 4) [3].

Рассмотренная композитная броня обеспечивает эффективное поглощение и рассеивание энергии пули, однако она имеет недостаточно высокий уровень живучести, так как способна обеспечивать защиту от бронебойных пуль только определённого, небольшого калибра. Этот недостаток объясняется следующими конструктивными особенностями брони. Так, для защиты от бронебойных пуль большого калибра требуется увеличение размеров керамических элементов дробяще-отклоняющего слоя брони, а именно диаметра их цилиндрической части. Однако увеличение диаметра цилиндрической части керамических элементов приводит к увеличению размеров полости (зазора), которая имеет место быть между каждыми тремя соседними керамическими элементами, прилегающими друг к другу своими цилиндрическими поверхностями с образованием указанной полости (рисунок 2).

Чем больше калибр пули, тем большего диаметра требуются керамические элементы, и тем больше будут размеры указанной полости. Через эти полости композитной брони возможно проникновение бронебойных пуль меньшего калибра, чем те пули большого калибра, на которые рассчитана броня. Причём защитные свойства брони в местах, где расположены полости существенно снижаются и при попадании в них пуль большого калибра, снижая живучесть брони в целом.

Задача повышения уровня живучести брони в плане обеспечения её защитных свойств как при использовании против неё бронебойных пуль мелкого калибра, например 5.45, так и крупного калибра, например 12.7, 14.5, может быть решена чисто конструктивными мероприятиями [5]. Так, каждый керамический элемент конструктивно может быть выполнен с расположенным в его верхней части шестигранным поясом. При этом окружность основания верхнего торца цилиндрической части керамического элемента является вписанной в попе-

речное сечение шестигранного пояса, а каждая грань шестигранного пояса сопряжена с соответствующей гранью соседних шестигранных поясов керамических элементов (рисунки 3 и 4) [5].



**Рисунок 2 – Керамические (корундовые) элементы дробяще-отклоняющего слоя:
1- полость (зазор) между каждой тройкой соседних керамических элементов**

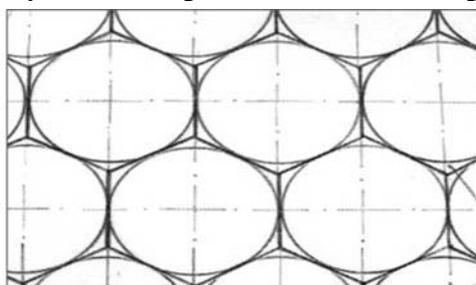


Рисунок 3 – Композитная броня. Вид сверху. Керамические элементы выполнены с шестигранными поясами

В этом случае, как видно на рисунке 3, упомянутые полости, через которые возможно проникновение пуль малого диаметра, перекрываются углами шестигранных поясов. Таким образом, шестигранные пояса и сопряжение их граней без образования зазоров позволяют перекрыть полости, образующиеся между цилиндрическими частями каждой тройки соседних керамических элементов и тем самым исключить проникновение бронебойных пуль небольшого калибра через дробяще-отклоняющий слой.

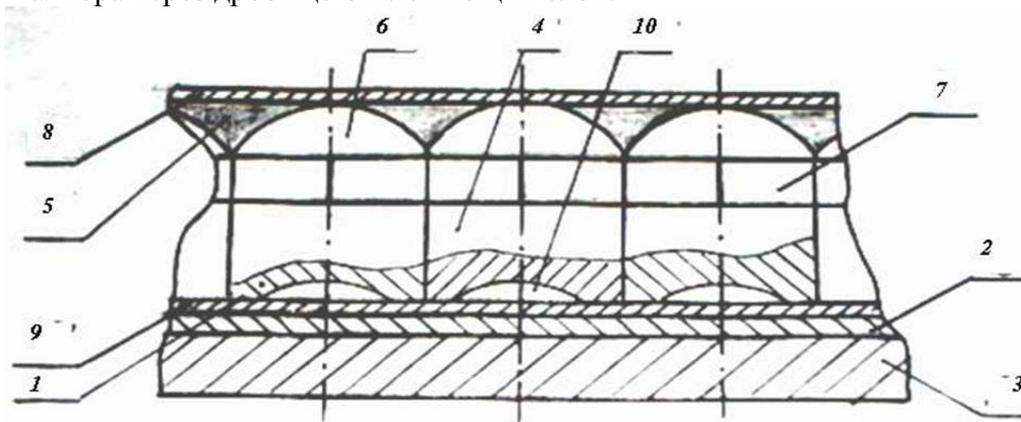


Рисунок 4 – Композитная броня, поперечное сечение. 1- дробяще-отклоняющий слой, 2- прослойка из материала с модулем упругости на сжатие менее 40ГПа или зазор, 3- задерживающий слой, 4- керамический элемент, 5- связующий состав, полиуретановый полимер, 6- верхний торец керамического элемента, выпуклой формы, 7- шестигранный пояс керамического элемента, 8- основной внешний слой из специальной высокопрочной арамидной ткани из нитей «Русал», СВМ, Армос и др., 9- дополнительный внутренний слой из той же ткани, что и основной внешний слой, 10- осесимметричная полость для снижения массы керамического элемента

Однако полученная сплошная (без зазоров) поверхность из шестигранных поясов керамических элементов создаёт проблему технологического характера. Эта проблема связана с тем, что через закрытые шестигранными поясами полости производилась заливка в них связующего состава для соединения керамических элементов между собой. Чтобы сохранить возможность такой заливки, вдоль рёбер шестигранных поясов могут быть выполнены закругления или срезы, которые позволяют создать небольшой зазор, порядка двух миллиметров, для заливки связующего состава. Причём задавая определённый радиус закругления или величину среза можно получать нужные размеры зазора для заливки связующего состава. Размеры зазора не должны превышать размеры диаметра сердечника бронебойной пули. Важно отметить, что шестигранный пояс может быть выполнен по всей длине цилиндрической части керамического элемента, т.е. фактически цилиндрическая часть керамического элемента в целом выполнена в виде шестигранного пояса (шестигранника). В этом варианте конструктивного выполнения керамических элементов упомянутые полости фактически отсутствуют, так как в них полностью размещаются углы шестигранников. Ввиду отсутствия полостей снимается проблема, связанная с выполнением зазоров для заливки через них связующего состава. Однако связующий состав необходим не только для того, чтобы связать керамические элементы между собой в единую панель, но и для того, чтобы снизить продольные ударные нагрузки между керамическими элементами при воздействии на них пули и тем самым сузить зону их разрушения. Поэтому при выполнении керамических элементов целиком в форме шестигранников они должны сопрягаться между собой с небольшим зазором, в котором и размещается необходимый связующий состав (рисунок 5).

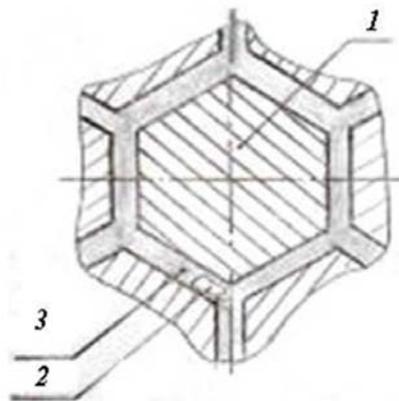


Рисунок 5 – Поперечное сечение керамических элементов, выполненных в форме шестигранников: 1- поперечное сечение керамического элемента, 2-зазор между керамическими элементами, 3- связующий состав

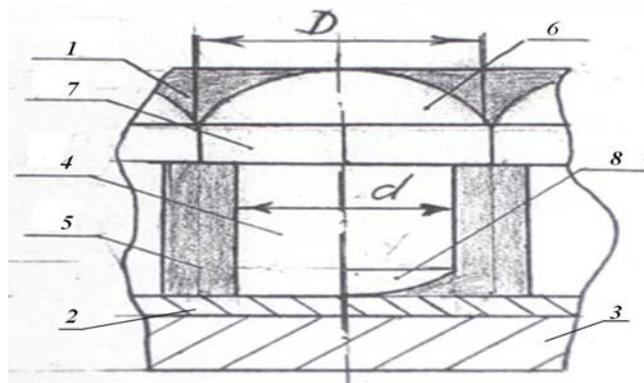


Рисунок 6 – Композитная броня, поперечное сечение: 1- дробяще-отклоняющий слой, 2- прослойка из материала с модулем упругости на сжатие менее 40ГПа или зазор, 3- задерживающий слой, 4- керамический элемент, 5- связующий состав, полиуретановый полимер, 6- верхний торец керамического элемента выпуклой формы, 7- шестигранный пояс керамического элемента, 8- нижний торец керамического элемента выпуклой формы

Введение шестигранных поясов в конструкцию керамических элементов естественно вызывает увеличение их массы. Чтобы при необходимости компенсировать это увеличение массы, предусмотрено выполнение в каждом керамическом элементе со стороны его нижнего торца продольной осесимметричной полости (рисунок 4), или обработка его цилиндрической части с меньшим диаметром d , чем диаметр D окружности основания выпуклого верхнего торца керамического элемента (рисунок 6), или выполнение и того и другого вместе.

Ещё одна проблема, которая также может быть решена конструктивно, связана с живучестью брони, которая существенно снижается при использовании брони при низких температурах, порядка -40 , -50 град. по Цельсию. Это связано с тем, что при низких температурах связующий состав керамических элементов теряет свои свойства, ослабляя живучесть брони.

Для обеспечения стойкости и живучести брони при пониженных температурах в её конструкцию введены слои: основной внешний слой и дополнительный внутренний слой из специальной высокопрочной арамидной ткани из нитей «Русал», СВМ, Армос и др., обладающей высокой прочностью и низким удельным весом (рисунок 4) [5]. Основной внешний слой из высокопрочной ткани устанавливается сразу после заливки полиуретанового связующего состава на верхнюю поверхность керамических элементов брони, при этом происходит адгезия основного внешнего слоя ткани с полиуретановым связующим составом. Дополнительный внутренний слой устанавливается под керамическими элементами, которые установлены на нём. Основной внешний и дополнительный внутренний слои связывают своими поверхностями связующий состав (полиуретан), которым залиты керамические элементы, и тем самым не дают распасться связующему составу (полиуретану) на мелкие части, что характерно для него при пониженной температуре. Таким образом, сохраняется работоспособность связующего состава, а значит, стойкость, и живучесть брони в целом при пониженных температурах, как показывают испытания до -50 град. по Цельсию. При этом и сами по себе слои, выполненные из высокопрочной ткани, обладая высокой прочностью, компенсируют потери прочности брони из-за низких температур.

Рассмотрены конструктивные особенности композитной брони и предложены конструктивные варианты её исполнения, которые обеспечивают возможность использования брони для крупных калибров бронебойных пуль, сохраняя весовые характеристики и защитные свойства от бронебойных пуль меньшего калибра и одновременно расширяя диапазон её рабочих температур при сохранении требуемого уровня защитных свойств. Таким образом, конструктивно решается задача создания композитной брони повышенной живучести для обеспечения её защитных свойств в случае применения более широкого диапазона калибров бронебойных пуль, и для расширения диапазона её рабочих температур [5].

Литература

1. Патент США №6497966, МКИ В32В 15/08, F41Н 5/02, Н Кл. 428/626, публ. 2002 г.
2. Патент США №5972819, МКИ С04В 35/10, Н Кл. 501/127, публ. 1999 г.
3. Патент РФ №2329455, МПК F41Н5/04, публ. 20.07.2008 г. Авторы: Заболотский А.А., Козлова Т.М., Кулаков Н.А.
4. Кулаков Н.А., Любин А.Н. Исследование взаимодействия пробойника с композиционной защитной панелью. Известия МГТУ «МАМИ», научный рецензируемый журнал. М., 2008, № 2(6) с. 53-56.
5. Заявка №2010150701/11 от 13.12.2010 на изобретение «Композитная броня». Авторы: Кулаков Н.А., Любин А.Н.

Структура системы автоматического адаптивного управления бесступенчатой трансмиссией многоприводного транспортного средства

к.т.н. проф. Лепешкин А.В.

МГТУ «МАМИ», зав. кафедрой «Гидравлика и гидроневоприводы»
(495) 223-05-23 доб. 1426, lep@mami.ru

Аннотация. В статье на основании результатов проведенного оптимизационно-