

Разработка баллистической защиты на основе дисперсно упроченного
алюминиевого сплава

Е.А. Романова

Нижегородский государственный технический университет им.
Р.Е.Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация: Для защиты от средств поражения, обладающих большей кинетической энергией (автоматные и винтовочные пули), в настоящее время используются металлические или комбинированные защитные структуры, включающие в себя металлические, композиционные или керамические элементы баллистической защиты. В работе предложено применение дисперсно-упроченного материала на основе алюминия в качестве элементов баллистической защиты. Кратко изложены особенности разрабатываемой технологии получения дисперсно-упроченного композиционного материала на основе алюминия и результаты экспериментов.

Ключевые слова: дисперсно-упроченный материал, алюминий, оксид алюминия, упрочняющая фаза

Библиографический список

Развитие техники требует разработки материалов различного функционального назначения и технологий их получения, так как в настоящее время традиционные материалы уже не в полной мере могут удовлетворить новые запросы конструкторов. Эксплуатационные характеристики конструкционных материалов главным образом лимитируют общую надежность конечной продукции и показатели ресурсосбережения. В настоящее время не всегда возможно добиться требуемого уровня свойств за счет применения традиционных металлических материалов в основном из-за их несоответствия новым повышенным требованиям к прочности, жесткости, износостойкости [1].

Довольно часто требования современной техники заключаются в повышении прочности и жесткости конструкционных материалов при одновременном снижении их веса. Одним из направлений решения данной проблемы является создание и применение нового класса материалов – композиционных с металлической матрицей. Отличительной особенностью дисперсно-упроченных композиционных материалов (ДУКМ) является искусственно вводимые в сплав на одной из стадий их получения упрочнители. В качестве упрочняющей фазы используют дисперсные частицы оксидов, карбидов, нитридов и других тугоплавких соединений, которые должны быть распределены на заданном расстоянии одна от другой. Согласно литературным данным в настоящее время ДУКМ получают различными способами: выделением частиц из пересыщенного твердого раствора

(дисперсионно-твердеющие сплавы), методом порошковой металлургии, в том числе механическим легированием, методами внутреннего окисления и азотирования и др.

Наибольшее распространение среди ДУКМ по объему применения находят алюмоматричные композиционные материалы. Существуют различные технологии насыщения упрочняющими фазами композиционных материалов, например, упрочнение алюминиевой матрицы собственными оксидами, нитридами или карбидами, смешением оксидов и другой упрочняющей фазы (например, $TiC-Al_2O_3-Al$) или алюминидами (например, $Fe_3Al-TiC$). Смеси порошков получают механическим или химическим смешиванием, например, введением в перегретый выше температуры плавления основной металл, поверхностным или внутренним окислением, разложением смеси солей, водородным восстановлением или химическим осаждением из растворов [2, 3].

Разработкой композиционных материалов с алюминиевой матрицей заняты ученые США, Канады, Японии, Франции, Испании, Германии и др. Так, например, продукты, выпускаемые компанией Alcan, сплавы на основе алюминиевой матрицы, с наполнителем оксид алюминия, Duralcan, предназначены для обработки давлением, ковкой, экструзией, прокаткой, а также для отливки деталей, применяющихся в машиностроении. Композиты на основе алюминиевых сплавов применяются в авиастроении – крышки, люки, крепежные элементы, конструкционные элементы фюзеляжа, механических и гидравлических систем; в промышленности – роботостроение, высокоскоростные и высокоточные станки; для коммерческих применений – рамы велосипедов, и т.д. Актуальность использования изделий из алюминиевых ДУКМ в автомобилестроении подтверждаются, например, изготовлением поршней дизельных двигателей, цилиндрических вкладышей, ведущего вала, дисков заднего тормоза. Однако объемы промышленного использования ДУКМ пока не адекватны их технико-эксплуатационным возможностям. Высокая стоимость исходных материалов является существенным сдерживающим фактором для широкого внедрения изделий из композиционных материалов.

Особый интерес представляет использование таких материалов для баллистической защиты техники, где большие площади бронирования с использованием керамических материалов значительно увеличивают конечную стоимость изделия [4]. Однако при этом масса машин со стальной броней значительно выше.

Для снижения стоимости получения ДУКМ в НГТУ им. Р.Е. Алексеева разрабатывается принципиально отличная технология получения дисперсно-упрочненных композиционных материалов на основе алюминия, которая основана на процессе выгорания расплава алюминия при взаимодействии с кислородом или кислород – азотной смесью.

Данная технология является продолжением исследований по следующим технологиям: кислородно-конвертерный процесс, разливка алюминиевых сплавов в атмосфере кислорода и создание воздухонезависимой энергетической установки на основе высокометаллизированного безгазового топлива [5, 6].

Для проведения экспериментов по созданию дисперсно-упроченного материала был спроектирован и изготовлен стенд для получения и разливки сплава заданного состава. В ходе экспериментальных работ в качестве матричного материала использовался первичный алюминий марки А6 (99,6 Al; примеси, в основном Fe и Si) для исключения влияния легирующих добавок и изучения упрочнения композита только за счет частиц упрочняющей фазы.

В результате металлографических и рентгеноструктурных исследований установлено, что матрицей полученного металлокерамического материала является алюминий, основные фазы внедрения – оксид алюминия, нитрид алюминия. Микроструктура полученных образцов с различной степенью насыщения и размером упрочняющей фазой, приведенный на рис. 1. Видно практически равномерное распределение упрочняющей керамической фазы в металле, с одновременным измельчением структуры. Для сравнения на рис. 2. приведена микроструктуры материала Duralcan W6D22A, основа сплав 6061, упрочняющая фаза Al_2O_3 .

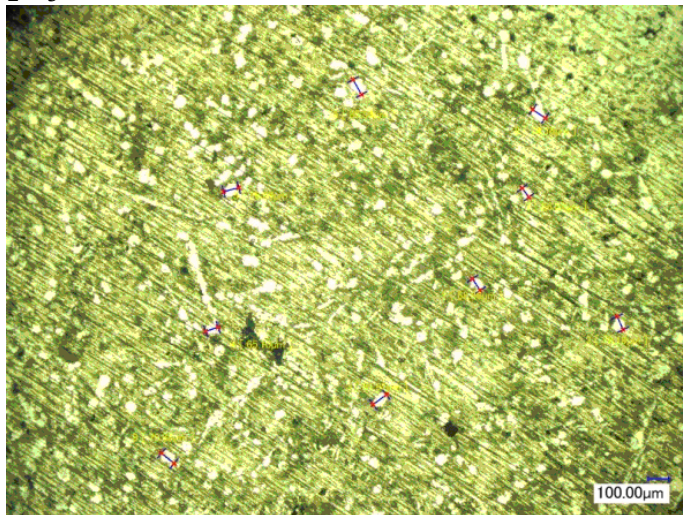


Рис. 1. Микроструктура полученного образца

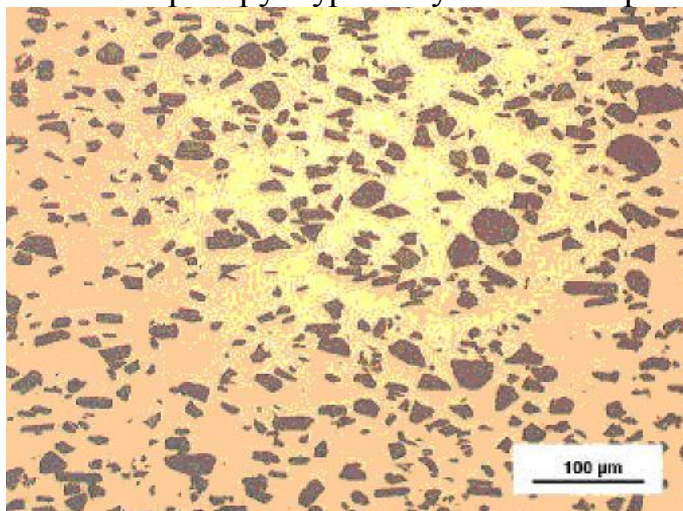


Рис 2. Материал Duralcan W6D22A

Известно что механика процесса пробивания металлической преграды существенно зависит от соотношения ее толщины b и диаметра пули или сердечника d . При соотношении $b/d < 1$, преграда считается тонкой, а сам

процесс пробивания - многофакторным. При увеличении толщины противопульной металлической брони сверх $b/d > 1,5...2,0$ исключаются наименее энергоемкие механизмы пробития брони, связанные с тыльным отколом, изгибом и растяжением брони в области воздействия пули, образованием радиальных трещин и последующем разрушении по типу пролома [7].

В настоящее время активно развиваются баллистические элементы на основе керамики. Однако у керамической брони есть существенный недостаток - броня с лицевым керамическим слоем в виде плиток неэффективна при многократном попадании пуль в пластину, так как происходит разрушение керамического элемента при первом попадании, поэтому чаще всего керамические бронезащитные элементы выполняют близким по размеру средству поражению (пули, снаряду), при этом локальное разрушение одной или нескольких малых плиток не значительно уменьшает общую защищенность. Однако керамическая броня не может быть применена в качестве структурного элемента и также является «паразитной массой». Поэтому керамические защитные элементы применяются в составе многослойной брони. При этом роль керамического слоя многослойной преграды сводится к разрушению головной части пули, увеличению площади воздействия на последующие слои преграды и поглощению части кинетической энергии остатков пули в процессе ее торможения в уже разрушенной керамике. Поглощение остаточной кинетической энергии воздействия осуществляется путем ее преобразования в работу деформирования подложки.

При использовании вместо стальной брони высокопрочных сплавов титана и алюминия в равной массе толщина титановой брони увеличивается в среднем в 1,7 раза, а алюминиевой - в 2,8 раза, что позволяет надеяться на увеличение противопульной стойкости соответствующих защитных структур. Кроме того вследствие того что жесткость в общем случае пропорциональна кубу толщины, и с учетом различия модулей упругости стали и алюминия, алюминиевая бронеплита будет жестче стальной бронеплиты равной массы. Поэтому при замене стальной брони бронекорпуса на алюминиевую, за счет более высокой жесткости алюминиевых плит и отказа от ряда деталей жесткого набора, достигается уменьшение массы бронекорпуса порядка 25-30 процентов, даже если экономии на весе самой брони нет [8].

Для разгона ударников применимы обычные стрелковые системы, однако их использование зачастую невозможно в лабораторных условиях. Поэтому для первоначальных оценок применяются лабораторные стенды различных конструкций. В нашем случае образцы испытывались на специально изготовленной машине, аналогичной описанной в [9].

Данная конструкция стенда позволяет с меньшими финансовыми затратами получить значительные ударные нагрузки. В ходе экспериментов масса ударника (вместе с закрепленным сердечником) варьировалась от 10 до 70 кг, высота, с которой проводился сброс ударника - от 1 до 4 м. Установка индектора была перпендикулярна поверхности испытываемого элемента. В качестве индекторов использовались закаленные сердечники (сталь 65Г, 70,

У10А и У12А). При этом сердечники (ПАБ-9, ПС-43 ТУС, 7Н10) разрушаются, характер разрушения показан на рис 3. Цифрами обозначены. 1 – сердечник 7Н10 (сталь 65Г / 70) сломан в месте крепления в установке, 2 – 7Н10 излом примерно на глубине внедрения в испытуемый материал, 3 – ПС-43 ТУС (сталь 65Г / 70) сломан в месте крепления в установке, 4 – ПАБ-9 излом внутри испытуемого материала. На рис 4 показана пуля ПАБ-9 после испытания на установке. Пуля пробила лист из сплава Д16, сердечник цел, рубашка частично смялась.



Рис. 3. Разрушение сердечников при испытании



Рис. 4. Пуля ПАБ-9 после испытаний

Заключение

В ходе проведенной работы было выявлено, что при применении ДУКМ в качестве элемента баллистической защиты возможно значительное увеличение сопротивления внедрению сердечника. Это позволяет рассматривать ДУКМ на

основе алюминия в качестве перспективных элементов баллистической защиты.

Список литературы

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // Авиационные материалы и технологии. М. ВИАМ. 2012. С 7 -17
2. Алюминиевые композиционные сплавы – сплавы будущего. / Сост. А.Р.Луц, И.А. Галочкина. – Самара, 2013. – 82 с.
3. Курганова Ю.А. Перспективы развития металломатричных композиционных материалов промышленного назначения // Сервис в России и за рубежом. 2012. № 3 (30). С. 235-240
4. А.А. Панфилов, Е.С. Прусов, В.А. Кечин Проблемы и перспективы развития производства и применения алюмоматричных композиционных сплавов // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева № 2 (99) с. 210 – 218
5. Е.А. Чернышов, Е.А. Романова, А.Д. Романов Развитие вздунезависимых энергетических установок подводных лодок // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2015. № 5 (33). С. 140-152.
6. Е.А. Чернышов, Е.А. Романова, А.Д. Романов Разработка тепловыделяющего элемента на основе высокометаллизированного безгазового топлива // Вестник Московского государственно технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Машиностроение. 2015. № 6 (105). С. 74-81
7. Материалы и структуры легкой бронезащиты / И. Ф. Кобылкин, В. В. Селиванов. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. — 191с.
8. Чернышов Е.А., Романов А.Д., Романова Е.А. Развитие материалов баллистической защиты на основе алюминиевых сплавов // Заготовительные производства в машиностроении. 2015. - № 10. - с. 43-47.
9. Yunus Eren Kalay Low velocity impact characterization of monolithic and laminated AA 2024 plates by drop weight test (2003) 149 p