

УДК 621.001.5; 621.001.57

© Игнатова А.М., Артемов А.О., Игнатов М.Н.
 Ignatova A., Artemov A., Ignatov, M.

ПРОТИВОКУМУЛЯТИВНАЯ ЗАЩИТА ТЕХНИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИНТЕТИЧЕСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ СПЛАВОВ

ANTICUMULATIVE PROTECTION OF EQUIPMENT WITH APPLICATION OF SYNTHETIC MINERAL ALLOYS

Аннотация. В статье представлена практическая оценка возможности использования синтетических минеральных сплавов в качестве противоккумулятивной защиты военной техники, кроме практических результатов представлены аналитические данные, повествующие о механизме взаимодействия ккумулятивной струи и преграды из симинала. Отмечено наличие сведений о свойствах симиналов, которые могут обеспечить дополнительную защиту военной техники от радиационного поражения и маскировку при ИК-локации за счет структурных особенностей материала.

Annotation. The practical assessment is presented in article possibility of use of synthetic mineral alloys as anticumulative protection of military equipment, except practical results the analytical data narrating about the mechanism of interaction of a cumulative stream and a barrier from симинала are submitted. Existence of data on properties симиналов which can provide additional protection of military equipment against radiation defeat and masking at the ИК-location due to structural features of a material is noted.

Ключевые слова. Бронезащита, бронезащитный материал, пулезашбитный материал, ккумулятивная струя, аморфное составляющее, диссипация, пассивная защита, рассеивание, преобразование энергии, механическое свойство, синтетический минеральный сплав, каменное литье.

Key words. Armored protection, broneelement, pulezasbchitny material, cumulative stream, amorphous making, dissipation, passive protection, dispersion, energy transformation, mechanical property, synthetic mineral alloy, stone molding.

Современный уровень развития военной техники предъявляет высокие требования не только к поражающей способности орудий, но и к защитным материалам и конструкциям [1–3]. Защитные бронезащитные элементы последних лет представляют собой многослойные конструкции из нескольких видов композиционных материалов – комбинированная защита [1], что позволяет добиться оптимального уровня защиты танковой техники без ее утяжеления и снижения маневренности.

Массовое применение в качестве материала защиты от ккумулятивного поражения, которое является одним из самых опасных и распространенных типов противо-

танкового оружия [3], получили неметаллические материалы на керамической основе, поскольку они наилучшим образом противостоят высокой температуре и обладают высокой прочностью, в особенности при воздействии сжимающих нагрузок [4–11]. Однако, в настоящее время актуальность приобретает вопрос снижения их стоимости, а также повышение защитных качеств без удорожания [7].

В качестве альтернативного решения вопроса может рассматриваться применение неметаллических материалов, не являющихся керамическими, в частности, синтетических минеральных сплавов [17].

Игнатова Анна Михайловна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ПНИПУ, тел. 8-922-370-32-68;

Артемов Арсений Олегович – аспирант, ПНИПУ;

Игнатов Михаил Николаевич – доктор технических наук, профессор, преподаватель кафедры «Сварочное производство и технология конструкционных материалов», ПНИПУ.

Ignatova Anna – candidate of technical sciences, the senior research associate, PNIPU; tel. 8-922-370-32-68;

Artyomov Arseny – graduate student, PNIPU;

Ignatov Mikhaïl – doctor of technical sciences, the professor, teacher of department «Welding production and technology of constructional materials», PNIPU.

Целью настоящей работы является практическая оценка возможности использования синтетических минеральных сплавов в качестве противоккумулятивной защиты военной техники.

Синтетические минеральные сплавы (симиалы) представляют собой группу материалов синтезированных на основе силикатного сырья [11–18]. Такие материалы обладают структурой, сочетающей аморфные и кристаллические составляющие таким образом, что аморфная составляющая распределяется в виде сетки разупорядоченных каналов вокруг многослойных кристаллических образований, каждое из которых представлено зернами с центрами из более твердой фазы шпинели и более пластичной оболочки пироксена [13]. Симиалы имеют общие признаки со стеклокерамикой и ситаллами, однако физико-химические особенности синтеза, а именно то, что синтез симиалов предполагает получение двухфазного расплава [11–14], указывают на то, что данный вид материалов отличается от вышеупомянутых в достаточной степени, чтобы представлять собой отдельную группу [16].

Зарубежные исследователи [30], также отмечают, что неметаллические материалы со шпинельными фазами эффективно сопротивляются огневому и пулевому воздействию, однако в их аналогах, хоть и предлагается использовать более доступные компоненты, предусмотрено наличие оксидов достаточно редких или ценных элементов, таких как церий, цирконий и цинк. В симиалах же достаточно наличие оксида хрома Cr_2O_3 для образования необходимых шпинельных фаз [17–19].

Ряд исследований [21–25] по диссипативной способности симиалов показали, что они обладают возможностью к диссипации энергии ударно-волнового воздействия при высоких скоростях деформации. Следовательно, симиалы благодаря диссипации способны перевести энергию заряда на раздробление самого материала и его нагрев, а, как известно [24], запреградное действие струи определяется главным образом энергией оставшейся после пробития преграды части кумулятивной струи.

Исследования ударно-волнового воздействия на симиалы [28,29, 21–25] показало, они образцы материала «рассыпаются» на осколки размером 0,5-1,5 мм, но при этом они практически не нагреваются, в среднем их температура в момент диссипации составляет 100-200°C, а метаемое тело останавливает свое движение.

В исследованиях авторов и их предшественников [20] также отмечается способность симиалов не только к диссипации механической или волновой энергии,

но и способность к поглощению рентгеновского и ИК-излучений. Указанные свойства [20,29], позволяют рассматривать симиалы, как материал для многофункциональной защиты техники и от воздействия снарядов, и от воздействия радиации, а также ИК-локации.

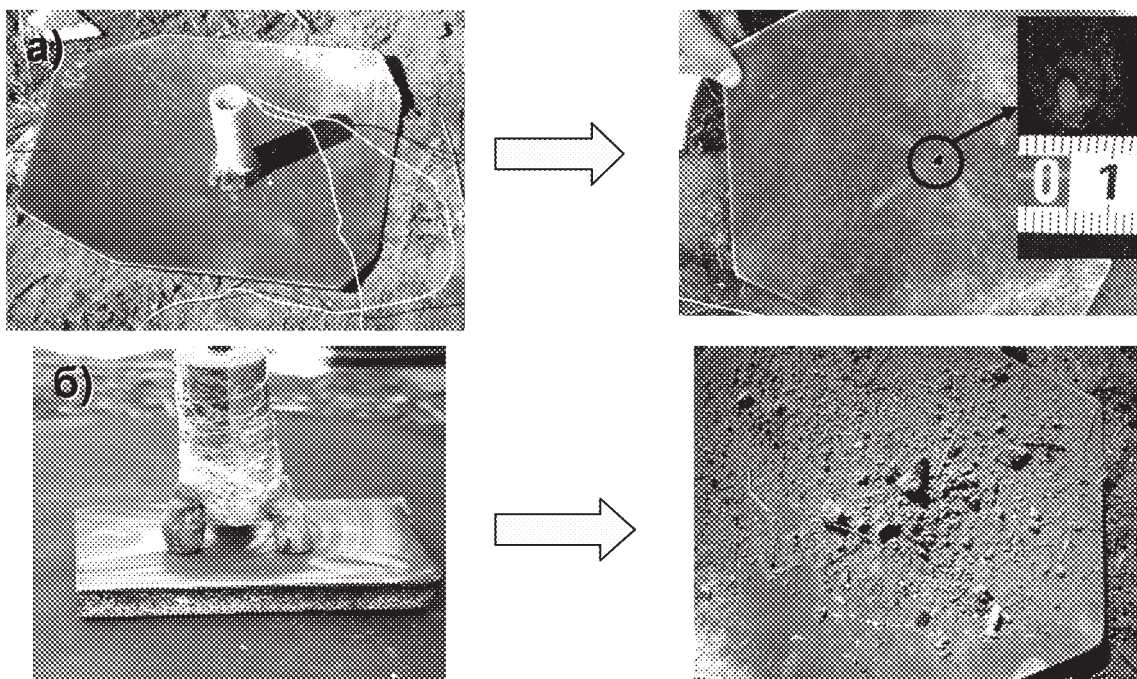
В рамках представленной работы был поставлен практический эксперимент по оценки взаимодействия кумулятивного заряда и плиты из симиала. Для этого в полигонных условиях было использовано взрывчатое вещество тринитротолуол (ТНТ) массой 50 г, капсульдетонатор, кумулятивная облицовка из стали Ст3 толщиной 0,8мм конической формы, со следующими геометрическими параметрами: $h=45\text{мм}$, $\varnothing=30\text{мм}$.

Эксперимент осуществлялся следующим образом (см.рисунк): кумулятивный заряд устанавливался на поверхность плитки из синтетического минерального сплава, которая находилась на бронепластине толщиной 7мм.

Для сравнительной оценки защитных свойств камнелитой плитки из симиала, одновременно был установлен кумулятивный заряд прямо на поверхности бронепластины. В обоих вариантах от поверхности заряда до преграды соблюдалось фокусное расстояние порядка 30 мм для полноценного формирования кумулятивной струи на поверхности исследуемого материала. В случае, когда кумулятивный заряд был установлен прямо на поверхность бронепластины, произошло формирование кумулятивной струи, которая пробила в бронепластине сквозное отверстие диаметром 2–3 мм и сформировала углубление в форме лунки в плотно утрамбованном грунте под бронепластиной. В случае, когда в качестве пассивной защиты использовалась камнелитая плитка размером 180x120x15 мм, повреждений на бронепластине обнаружено не было. Образец из камнелитой плитки под действием детонационной волны и кумулятивной струи разрушился полностью на куски мелкого и среднего размера, а значит выполнил защитные функции в полном объеме.

Для того, чтобы объяснить причину, по которой кумулятивная струя была «размыта» плиткой из симиала, следует обратиться к самому принципу взаимодействия кумулятивной струи и преграды. При проникании струи в материал брони максимальное давление возникает в точке соударения струи и преграды. Давление в зоне контакта струи и преграды по перпендикулярному к оси струи направлению быстро уменьшается до нуля на цилиндрической поверхности пробитого струей отверстия в преграде [3].

Материал преграды перетекает из зоны высокого давления в зону низкого давления. Чем прочнее прегра-



Результат воздействия кумулятивной струи:

а) пробиваемая преграда в виде бронепластины (без использования пассивной защиты) – сквозное пробитие в бронепластине; б) пробиваемая преграда в виде плитки из симинала (пассивная защита) – повреждений на бронепластине не обнаружено

да, тем хуже происходит пластическое течение материала преграды, тем меньше глубина пробития. Этот эффект зависит не только от прочности, но и от пластических свойств материала преграды в условиях высокого давления и высоких скоростей деформации.

Из исследований механических характеристик симиналов было установлено [5–10, 25–29], что этот материал в процессе деформации реагирует на воздействие не пластическим изменением формы, а структурными преобразованиями, сопровождающимися последовательными накоплениями напряжений и последующими релаксационными процессами. Это означает, что реакция преграды в данном случае представляет собой прерывистый процесс, который воздействует на струю и частично ослабляет ее.

Кумулятивное воздействие, как известно, сопровождается прожиганием материала с образованием кратера определенных размеров, главным из которых является его глубина. Объем кратера можно считать зависящим от энергии струи и прочности материала преграды. Глубина внедрения струи должна зависеть от твердости материала преграды и ее геометрии; по результатам, полученным на металлических материалах, нельзя с уверенностью судить о возможной глубине пробития преграды из неметаллического материала с иными прочностными характеристиками. В симиналах от действия струи не образуется подобных характерных повреждений, что мо-

жет быть вызвано особенностью деформационного поведения симинала, заключающейся в скачкообразном изменении структуры под воздействием внешних сил. Создается ситуация многократного рикошета струи в короткий промежуток времени на поверхности бронезлемента. В результате нарушается предполагаемый механизм воздействия струи, как поражающего, из-за многочисленных рикошетов она преобразуется в серию ударов по пластине, которые успешно гасятся по принципу диссипации [21–26], описанному ранее в работах, посвященных ударно-волновому воздействию, а именно преобразование подведенной механической энергии проходит в соответствии следующих этапов [9]: механическое воздействие → волны деформации → движущиеся дислокации, при большой скорости генерирующие впереди себя упругие волны → взаимодействие движущихся дислокаций с кристаллической решеткой, ее дефектами и между собой → диссипация энергии в виде тепла → аккумуляция энергии в решетке твердого тела в виде структурных дефектов.

При подведении удельной механической энергии, превышающей предел прочности твердого тела, оно разрушается, что и происходит с испытываемыми симиналами.

Поскольку волны деформации взаимодействуют с внутренними колебаниями решетки, которые могут быть значительными особенно в аморфных прослойках, могут возникать резонансные явления. В результате резонансных явлений при прохождении волн через твердое

тело в зоне границы разнородных фаз могут образовываться блоки, размер которых зависит от подведенной энергии [25–29].

Из-за того, что материал неоднородный, действие деформации неравномерно на его поверхности, в результате возникают «очаги» концентрации напряжения. В этих «очагах» могут протекать локальные релаксационные процессы, это приведет к локальным изменениям в структуре, часть которых может привести к изменению объема некоторых структурных составляющих, иными словами, ударно-волновое воздействие может провоцировать структурные преобразования, приводящие к «саморазрушению».

В результате внутренней реакции на действие кумулятивной струи за счет поглощения энергии на структурные изменения скачкообразным образом си-

миналы переходят к состоянию «саморазрушающегося» [13–16, 22].

Таким образом, практическая оценка доказала возможность использования синтетических минеральных сплавов в качестве противоккумулятивной защиты военной техники, а дополнительные исследования [20–29] позволили представить механизм взаимодействия кумулятивной струи и преграды из симинала. Отмечено наличие сведений о свойствах симиналов, которые могут обеспечить дополнительную защиту военной техники от радиационного поражения и маскировку при ИК-локации за счет структурных особенностей материала. Однако активное применение симиналов в новой для них сфере применения требует дополнительных натурных полигонных исследований.

Литература

1. Игнатова АМ, Артемов А.О. Аналитический обзор современных и перспективных материалов и конструкций бронепреград и защит от поражения// *Фундаментальные исследования*. – 2012. – № 6-1. – С. 101–105.
2. Балаганский ИА, Мерзиевский ЛА. Действие средств поражения и боеприпасов: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 408 с.
3. Павловский АМ, Пляшкевич ЛН, Шувалов АМ, Бродский АЯ. Исследование некоторых особенностей разрушения кумулятивной струи в высокоточном режиме// *Журнал технической физики*. – 1994. – Т.64, вып. 5. – С. 125–131.
4. Игнатова АМ, Мерзляков А.Ф., Ханов АМ. Методика и оборудование для определения предела механической прочности на сжатие литых образцов синтетических минеральных сплавов// *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение*. – 2010. – Т. 12, № 3. – С. 126–133.
5. Игнатова АМ, Игнатов М.Н., Артемов А.О. Анизотропия структуры и механических свойств синтетических минеральных сплавов// *Фундаментальные исследования*. – 2012. – № 11–1. – С. 134–139.
6. Игнатова АМ. Механизм деформации, растрескивания и разрушения структурных составляющих синтетических минеральных сплавов// *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. – 2013. – Т. 10, № 2. – С. 227–232.
7. Игнатов М.Н., Игнатова АМ, Скамьянова Т.Ю., Рудакова Т.А., Пигалев Д.С. Библиографический указатель учебной и научно-технической литературы литейного производства. – Пермь, 2005. – С. 145.
8. Игнатова АМ, Игнатов М.Н., Артемов А.О. Особенности деформации и разрушения при испытаниях синтетических минеральных сплавов на изгиб// *Научно-технический вестник Поволжья*. – 2012. – № 6. – С. 253–259.
9. Артемов А.О., Игнатов М.Н., Игнатова АМ. О феноменологическом описании релаксационных процессов при деформировании синтетических минеральных сплавов// *Научно-технический вестник Поволжья*. – 2012, № 5. – С. 16–20.
10. Игнатова АМ, Игнатов М.Н., Артемов А.О. Методы определения механических свойств синтетических минеральных сплавов при статических нагрузках// *Базальтовые технологии*. – 2012. – Т. 1, № 1. – С. 50–53.
11. Игнатова АМ, Ханов АМ, Чернов В.П. Кристаллизационно-ликвационная модель-схема формирования стеклокристаллических материалов каменного литья// В сборнике: *Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики*. – Казань, 2009. – С. 479–482.
12. Игнатова АМ. Природа ликвационных явлений в синтетических расплавах каменного литья// *Успехи современного естествознания*. – 2010. – № 8. – С. 22–23.
13. Игнатова АМ. Правила управления структурой и свойствами материала каменного литья// *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение*. – 2010. – Т. 12, № 3. – С. 94–102.
14. Игнатова АМ, Потапов С.С., Гайдуков В.В., Ханов АМ. Расчет параметров фазовых и структурных составляющих каменного литья// В сборнике: *Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики*. – Казань, 2009. – С. 472–478.
15. Игнатова АМ, Ханов АМ. Ликвационная дифференциация в силикатных системах каменного литья// В книге: *Наука и технологии* – Пермь, 2009. – С. 125–125.
16. Игнатова АМ, Игнатов М.Н. Роль ликвационных явлений в структурообразование синтетических минеральных сплавов// *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. – 2012. – Т. 9, № 2. – С. 169–179.
17. Игнатова АМ, Ханов АМ, Скачков А.П. Исследование структуры и свойств камнелитых материалов методом наноиндентирования// *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение*. – 2010. – Т. 12, № 1. – С. 139–150.
18. Игнатова АМ, Ханов АМ, Скачков А.П. Исследование структуры и свойств камнелитых материалов методом наноиндентирования

- рования// В сборнике: Образование и наука - производству. Набережные Челны, 2010. – С. 190–194.
19. Игнатова АМ, Скачков АП. Методика определения твердости анизотропных литых синтетических минеральных сплавов методом наносклерометрии// Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2010. – Т. 12, № 4. – С. 125–130.
20. Игнатова АМ, Каминский ММ, Попов ВЛ. Применение каменного литья в атомной промышленности// В сборнике: Автоматизация и прогрессивные технологии в атомной отрасли. – Новоуральск, 2009. – С. 130–133.
21. Игнатова АМ, Артемов А.О., Чудинов В.В., Игнатов М.Н., Соковиков М.А. Исследование диссипативной способности синтетических минеральных сплавов// Тр. конференции «Деформация и разрушение материалов». – Москва, 2012 – с. 134–137.
22. Игнатова АМ. Ударный метаморфизм петрургических материалов на примере синтетических минеральных сплавов// Стекло и керамика. – 2013. – № 1. – С. 40–45.
23. Игнатова АМ, Артемов А.О., Игнатов М.Н., Соковиков М.А. Методика исследования диссипативных свойств синтетических минеральных сплавов при высокоскоростном пробивании// Фундаментальные исследования. – 2012. – № 9–1. – С. 145–150.
24. Игнатова АМ, Артемов А.О., Чудинов В.В., Игнатов М.Н., Соковиков М.А. Исследование диссипативных свойств синтетических минеральных сплавов для создания на их основе броневой защиты// Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2012. – № 3. – С. 105–112.
25. Игнатов М.Н., Игнатова АМ, Артемов А.О., Асанов В.А. Исследование взаимосвязи акустической эмиссии и разрушения камнелитых материалов в условиях одноосного сжатия// Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2011. – № 2. – С. 126–132.
26. Игнатова АМ, Артемов А.О., Игнатов М.Н., Ханов А.М. Изучение структурных изменений симиналов при деформации и разрушении методом акустической эмиссии// Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2011. – № 5. – С. 50–60.
27. Игнатова АМ. Исследование последовательности структурного искажения синтетических минеральных сплавов при деформации и разрушении методом регистрации акустической эмиссии// Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 5. – С. 25–31.
28. Игнатова АМ, Артемов А.О., Мерзляков А.Ф., Игнатов М.Н. О регистрации фрактоэмиссии образцов синтетических минеральных сплавов в условиях одноосного сжатия// Фундаментальные исследования. – 2013. – № 1–2. – С. 397–401.
29. Игнатова АМ, Игнатов М.Н., Артемов А.О. Изучение структурных изменений симиналов при деформации и разрушении методом акустической эмиссии// Базальтовые технологии. – 2012. – Т. 1, № 1. – С. 54–61.
30. US patent 20100242715 Glass-ceramic materials having a predominant spinel-group crystal phase. Raichel; Alexander; (Risbon LeZion, IL) ; Raichel; Arthur; (Risbon LeZion, IL) ; Raichel; Svetlana; (Risbon LeZion, IL), 2010.

Материал поступил в редакцию 20. 02. 2014 г.