

УДК 623.445

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЛЕСТОЙКОСТИ СИНТЕТИЧЕСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ СПЛАВОВ

Игнатова А.М., Артемов А.О., Игнатов М.Н.

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,

Пермь, e-mail: ignatovaanna2007@rambler.ru,

ignatovaanna2007@rambler.ru, ig89028332000@gmail.com

Рассмотрена возможность использования синтетических минеральных сплавов (симиалов) в качестве материала для создания средств индивидуальной защиты. Рассмотрены основные принципы использования различных материалов в качестве бронезащиты, рассмотрен существующий опыт в этой сфере. Представлены результаты полигонных испытаний и по их итогам проведена качественная и количественная оценка пулестойкости симиналов согласно ГОСТ 50744-95 «Бронеодежда. Классификация и общие технические требования». Расшифрованы результаты испытаний, указано в чем суть результата «нет пробития». Представлены технологические особенности производства симиналов и их структурообразования для повышения пулестойкости и увеличения диссипации энергии, рассмотрены материаловедческие аспекты по диссипации симиналов. По результатам полигонных исследований, доказано соответствие бронепанелей из синтетических минеральных сплавов 6 классу защиты в структуре бронеодежды.

Ключевые слова: средства индивидуальной бронезащиты (СИБ), синтетический минеральный сплав, пулестойкость, прочность, каменное литье, бронепанель, структурообразование, диссипация энергии, керамика, поражающий элемент, твердость

MODERN INTERPRETATIONS OF PERM ANIMAL STYLE IN ART PRODUCTS FROM SYNTHETIC MINERAL ALLOYS

Ignatova A.M., Artemov A.O., Ignatov M.N.

FGBOU VPO «Permskij nacional'nyj issledovatel'skij politehnicheskij universitet», Perm, e-mail:

ignatovaanna2007@rambler.ru, ignatovaanna2007@rambler.ru, ig89028332000@gmail.com

The possibility of using synthetic mineral alloys (siminals) as a material for the creation of personal protective equipment. The basic principles of the use of different materials as body armor, reviewed existing experience in this area. The results of the field tests and their results, carried out a qualitative and quantitative assessment of bulletproof siminals according to GOST 50744-95 «The armored clothing. Classification and general technical requirements. «Decrypted by the test results, presented the essence of the «no penetration». Presented the technological features of production siminals and structuring to enhance bullet resistance and increase the dissipation of energy, materials science aspects considered by the dissipation siminals. According to the results of range of studies to prove the corresponding armor panels of synthetic mineral alloys 6 class protection in the structure of armored clothing.

Keywords: personal body armor, a synthetic mineral alloy, bullet resistance, strength, stone molding, armor plates, structure, energy dissipation, ceramics, striking element hardness

Бронепанели, которые являются основным элементом бронежилета, имеют различное устройство и конфигурацию. Обычно они расположены во фронтальной и дорсальной проекциях жизненно-важных органов грудной клетки. Назначение материала бронепанели – остановить поражающий элемент, максимально рассеять его кинетическую энергию и распределить оставшуюся часть на возможно большую площадь поверхности тела. Назначение предопределяет жесткость и габариты, а следовательно при использовании могут возникнуть эргономические неудобства. В зависимости от габаритов, массы, жесткости бронепанели в большей или меньшей степени ограничивают подвижность плечевого пояса и поясничной области торса. Поэтому снижение габаритно-массовых характеристик бронепанелей при заданной пулестойкости материала является актуальной задачей для достижения высоких эргономических, прочностных, экономических характеристик бронежилетов.

Для повышение эргономических характеристик бронежилетов в качестве материала бронепанелей используется упрочненная керамика. Конкуренцию упрочненной керамике могут составить синтетические минеральные сплавы (симиалы), полученный по технологии каменного литья – материалы, сочетающие в себе прочностные характеристики керамики при более низкой себестоимости производства [2].

Цель исследования – определить пулестойкость симиналов и определить возможность их использования в качестве материала бронепанелей.

Пулезащитные броневые пластины, представляющие собой вставные «жесткие» элементы многослойных бронепанелей, устанавливаются в бронежилеты, начиная с третьего класса защитной структуры бронеодежды, по ГОСТ 50744-95 «Бронеодежда. Классификация и основные требования» (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид средств индивидуальной бронезащиты:
а – бронезелет; б – вставные жесткие бронепанели

Материал пулезащитных броневых пластин поглощает или рассеивает (диссипирует) кинетическую энергию пуль стрелкового оружия и поражающих элементов (осколков).

Традиционно пулезащитные броневые пластины изготавливают из металлических материалов – высокопрочных углеродистых и легированных сталей, сплавов на основе титана или алюминия [5]. В настоящее время, для этой цели также используют керамические материалы.

Керамические материалы обладают ценными характеристиками, среди которых плотность, меньшая по сравнению с металлическими материалами в 2–3 раза, высокие твердость и модуль упругости, сохранение прочности при нагреве и термостойкость, они и позволяют применять их для изготовления пулезащитных броневых пластин бронезелетов.

Наилучшим образом в качестве бронезащиты служат ударопрочные керамические материалы на основе карбида бора B_4C , существенно снижающие массу броневой защиты, а также на основе диборида ти-

тана TiB_2 , обладающие наибольшей твердостью и модулем упругости. Однако высокая стоимость их производства не позволяет их применять широко. Сравнительно дешевый оксид алюминия Al_2O_3 считают наиболее перспективным для серийного производства броневой керамики.

Симиналы, полученные по технологии каменного литья, обладают физико-механическими свойствами, близкими к ударопрочной керамике (плотность $2,9 \text{ г/см}^3$, предел прочности при сжатии 450 МПа , предел прочности на изгиб 50 МПа , микротвердость 15 ГПа , ударная вязкость $2,5 \text{ кДж/м}^2$), но при этом обладают меньшей себестоимостью [1, 3, 4, 6, 7].

Конкурентоспособные показатели свойств симиналов достигаются тем, что каменное литье, включающее оксид кремния SiO_2 , оксид алюминия Al_2O_3 , оксид кальция CaO , оксид железа (II) FeO , оксид магния MgO , оксид железа (III) Fe_2O_3 , оксид титана TiO_2 , оксид калия K_2O и/или оксид натрия Na_2O , дополнительно содержит оксид хрома (III) Cr_2O_3 и фторид кальция CaF_2 при следующем соотношении компонентов, мас. %.

Таблица 1

Оксидный состав синтетического минерального сплава

SiO_2	Al_2O_3	CaO	FeO	MgO	Fe_2O_3	TiO_2	K_2O/Na_2O	Cr_2O_3	CaF_2
43–45	15–16	9–17	5–8	8–9	3–5	1–1,5	2,5–4	2–2,5	1,5–2

Выигрышная себестоимость симиналов достигается за счет применения менее дорогостоящих технологий синтеза по сравнению с традиционными технологиями получения высокопрочных керамических материалов, а также за счет использования недефицитного комплексного природного

сырья и оптимизации содержания дополнительно вводимых добавок.

Так, например, по данным Первоуральского завода горного оборудования, приблизительная рыночная цена 1 т производимого им каменного литья составляет 13 тыс. рублей, в то время как цена наиболее распро-

страненной алюмооксидной керамики – около 25 тыс. рублей (цены рассчитаны на основе средних экономических показателей производителей продукции).

Исходным сырьем для производства каменного литья служат основные и ультраосновные горные породы и зольно-шлаковые отходы техногенного происхождения (доменные шлаки, топливные золы и др.). В частности, исходным сырьем для изготовления исследуемого каменного литья служит горнблендит Качканарского месторождения Исковского района Свердловской области – горная порода основного состава, модифицированная введением дополнительных добавок полевого шпата (фторида кальция CaF_2) и хромитовой руды (оксида Cr_2O_3).

Введение в состав симинала полевого шпата, содержащего значительную долю CaF_2 , способствует снижению температуры плавления и вязкости расплава, увеличивая его жидкотекучесть, что в целом улучшает его технологические характеристики. Экспериментально установлено, что оптимальное количество дополнительно вводимого полевого шпата CaF_2 составляет 1,5–2 мас. % [9–10].

Введение в состав симинала тугоплавкой хромитовой руды Cr_2O_3 обеспечивает модифицирование расплава и придает более равномерную и плотную структуру при кристаллизации, обеспечивая оптимальную твердость, прочность и, что самое главное, способность к диссипации, поскольку именно границы минеральных фаз явля-

ются диссипативными каналами [11]. Добавка хромитовой руды Cr_2O_3 способствует ускорению процессов кристаллизации при охлаждении расплава. Экспериментально установлено, что оптимальное количество дополнительно вводимой добавки хромитовой руды Cr_2O_3 составляет 2–2,5 мас. %. Введение менее 2 мас. % хромитовой руды Cr_2O_3 приводит к снижению физико-механических свойств получаемого каменного литья [12].

Технология получения каменного литья включает следующие этапы: расплавление предварительно подготовленной шихты, обработка расплава, заливка расплава в литейные формы, контролируемая кристаллизация отливок в формах и медленное охлаждение в течение 8–12 часов в интервале от температуры кристаллизации до комнатной.

В табл. 2 приведены составы образцов симиналов, пулестойкость которых была определена экспериментально.

Изготовленные пластины из симиналов по методу каменного литья составов № 1–5 размером 100×100×15 мм подвергли полигонным испытаниям в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50744-95 на пулестойкость – свойство элементов броневой защиты противостоять сквозному пробитию метаемыми элементами или их фрагментами. В табл. 3 приведен перечень использованных при этом регламентированных средств поражения, их характеристики и условия испытаний.

В табл. 4 приведены результаты испытаний образцов составов № 1–5 на пулестойкость.

Таблица 2

Экспериментальные составы симиналов

Номер состава	Оксидное содержание компонентов, мас. %									
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	FeO	MgO	Fe_2O_3	TiO_2	K_2O и/или Na_2O	Cr_2O_3	CaF_2
№ 1	41	21	12	6	7	3,5	0,5	5	3,5	0,5
№ 2	43	15	17	5	8	3	1	4	2	2
№ 3	45	16	9	8	9	5	1,5	2,5	2,5	1,5
№ 4	48	10	9,5	8,5	9,5	5,5	2	1,5	3	2,5
№ 5	50	13	7	10	5	7	2,5	1	1,5	3

Наиболее успешно прошли испытания образцы, изготовленные из состава № 3. Указанный материал по пулестойкости соответствует 6 классу защитной структуры бронеодежды, определяемому по баллистической таблице, приведенной в ГОСТ Р 50744-95, в зависимости от применяемого средства поражения.

Симинал состава № 2 соответствует 5 классу защитной структуры бронеодежды, поскольку этот материал выдержал испытания при стрельбе пулями со сталь-

ными сердечниками – пробития пластин отсутствуют, однако пробитие зафиксировано при стрельбе из снайперской винтовки СВД (2) с применением пуль с термоупрочненным сердечником.

В общем случае результат испытания «нет пробития» означает, что при попадании пули в экспериментальные пластины предлагаемого каменного литья наблюдаются их разрушение – в месте контакта пули и пластины происходит образование большого количества маленьких осколков

(рис. 2). При этом продвижения пули или маленьких осколков дальше пластины нет, что свидетельствует об успешном распре-

лении кинетической энергии пули пластиной из симинала, то есть о диссипативной способности материала.

Таблица 3

Характеристики средств поражения и условия испытаний симиналов составов № 1-5 на пулестойкость

Характеристики средств поражения и условия испытаний	Средство поражения			
	Пистолет Макарова (ПМ)	Автомат АК-74	Снайперская винтовка СВД (1)	Снайперская винтовка СВД (2)
Индекс патрона	9-мм пистолетный патрон 57-Н-181С с пулей Пст	5,45-мм патрон 7Н6 с пулей ПС	7,62-мм патрон 57-Н-323С с пулей ЛПС	7,62-мм патрон 7-БЗ-3 с пулей Б-32
Тип сердечника	Стальной	Стальной	Стальной	Специальный
Масса, г	5,9	3,4	9,6	10,4
Скорость, м/с	305–325	890–910	820–840	800–835
Дистанция, м	5	7	7	7

Таблица 4

Результаты испытаний образцов симиналов на пулестойкость

Номер состава каменного литья	Средство поражения			
	Пистолет Макарова (ПМ)	Автомат АК-74	Снайперская винтовка СВД (1)	Снайперская винтовка СВД (2)
№ 1	Пробитие*	Пробитие	Пробитие	Пробитие
№ 2	Нет пробития	Нет пробития	Нет пробития	Пробитие
№ 3	Нет пробития	Нет пробития	Нет пробития	Нет пробития
№ 4	Нет пробития	Нет пробития	Пробитие	Пробитие
№ 5	Нет пробития	Пробитие	Пробитие	Пробитие

Примечание. * Пробитие – наличие сквозной трещины в броневой защите, а также выход фрагментов метаемого элемента или вторичных осколков за броневую защиту.

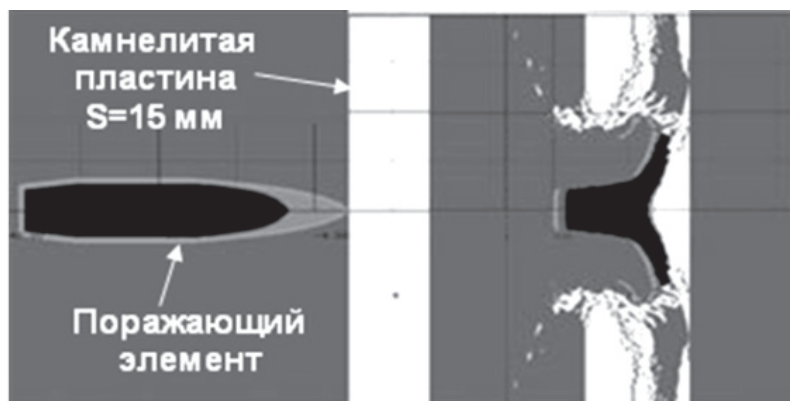


Рис. 2. Схема взаимодействия поражающего элемента с камнелитой пластиной

Таким образом, в результате полигонных испытаний симиналов установлено, что они соответствуют требованиям по пулестойкости, указанным в ГОСТ Р 50744-95, и пригодны для изготовления пулезащитных панелей. Конкурентоспособность симиналов подкрепляется меньшей себестоимостью их изготовления в сравнении со специальной керамикой.

Список литературы

- Игнатова, А.М. Аналитический обзор современных и перспективных материалов и конструкций бронепреград и защит от поражения / А.М. Игнатова, А.О. Артемов // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 6-1. – С. 101–105.
- Анизотропия структуры и механических свойств синтетических минеральных сплавов / А.М. Игнатова, А.О. Артемов, М.Н. Игнатов, М.А. Сокоиков // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 11-1. – С. 134–139.

3. Исследование взаимосвязи акустической эмиссии и разрушения камнелитых материалов в условиях одноосного сжатия / М.Н. Игнатов, А.М. Игнатова, А.О. Артемов, В.А. Асанов // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2011. – № 2. – С. 126–132.

4. Исследование диссипативных свойств синтетических минеральных сплавов для создания на их основе броневой защиты/ А.М. Игнатова, А.О. Артемов, В.В. Чудинов, М.Н. Игнатов, М.А. Соковиков // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2012. – № 3. – С. 105–112.

5. Исследование структуры и свойств камнелитых материалов методом наноиндентирования / А.М. Игнатова, А.М. Ханов, А.П. Скачков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2010. – Т. 12. – № 1. – С. 139–150.

6. Игнатова А.М. Методика и оборудование для определения предела механической прочности на сжатие литых образцов синтетических минеральных сплавов / А.М. Игнатова, А.Ф. Мерзляков, А.М. Ханов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2010. – Т. 12. – № 3. – С. 126–133.

7. Методика исследования диссипативных свойств синтетических минеральных сплавов при высокоскоростном пробивании / А.М. Игнатова, А.О. Артемов, М.Н. Игнатов, М.А. Соковиков // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 9-1. – С. 145–150.

8. Игнатова А.М. Механизм деформации, растрескивания и разрушения структурных составляющих синтетических минеральных сплавов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2013. – Т. 10. – № 2. – С. 227–232.

9. Игнатова А.М. Особенности деформации и разрушения при испытаниях синтетических минеральных сплавов на изгиб / А.М. Игнатова, А.О. Артемов, М.Н. Игнатов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 6. – С. 253–259.

10. Игнатова А.М. О феноменологическом описании релаксационных процессов при деформировании синтетических минеральных сплавов / А.М. Игнатова, А.О. Артемов, М.Н. Игнатов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 5. – С. 16–20.

11. Игнатова, А.М. Ударный метаморфизм петругических материалов на примере синтетических минеральных сплавов // Стекло и керамика. – 2013. – № 1. – С. 40–45.

12. Ignatova A.M. Relationship of structure and colour stone-casting materials made of mineral aggregates and technogenic raw materials // Polymers research journal. – 2011. – Т. 5. – № 1. – P. 47–54.

A.O. Artemov, M.N. Ignatov, M.A. Sokovikov//Fundamental'nye issledovanija. 2012. no. 11–1. pp. 134–139.

3. Ignatova A.M. Issledovanie vzaimosvjazi akusticheskoj jemissii i razrushenija kamnelityh materialov v uslovijah odnoosnogo szhatija / M.N. Ignatov A.M. Ignatova, A.O. Artemov, V.A. Asanov // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija: Tehničeskie nauki. 2011. no. 2. pp. 126–132.

4. Ignatova A.M. Issledovanie dissipativnyh svojstv sinteticheskikh mineral'nyh splavov dlja sozdanija na ih osnove bronevoj zashhity/ A.M. Ignatova, A.O. Artemov, V.V. Chudinov, M.N. Ignatov, M.A. Sokovikov // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija: Tehničeskie nauki. 2012. no. 3. pp. 105–112.

5. Ignatova A.M. Issledovanie struktury i svojstv kamnelityh materialov metodom nanoindentirovanija / A.M. Ignatova, A.M. Hanov, A.P. Ckachkov // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehničeskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie. 2010. T. 12. no. 1. pp. 139–150.

6. Ignatova A.M. Metodika i oborudovanie dlja opredelenija predela mehanicheskoj prochnosti na szhatie lityh obrazcov sinteticheskikh mineral'nyh splavov / A.M. Ignatova, A.F. Merzljakov, A.M. Hanov // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehničeskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie. 2010. T. 12. no. 3. pp. 126–133.

7. Ignatova A.M. Metodika issledovanija dissipativnyh svojstv sinteticheskikh mineral'nyh splavov pri vysokoskorostnom probivanii / A.M. Ignatova, A.O. Artemov, M.N. Ignatov, M.A. Sokovikov // Fundamental'nye issledovanija. 2012. no. 9–1. pp. 145–150.

8. Ignatova A.M. Mehanizm deformacii, rastreskivaniya i razrushenija strukturnyh sostavljajushih sinteticheskikh mineral'nyh splavov// Fundamental'nye problemy sovremennogo materialovedenija. 2013. T. 10. no. 2. pp. 227–232.

9. Ignatova A.M. Osobennosti deformacii i razrushenija pri ispytaniyah sinteticheskikh mineral'nyh splavov na izgib / A.M. Ignatova, A.O. Artemov, M.N. Ignatov// Nauchno-tehničeskij vestnik Povolzh'ja. 2012. no. 6. pp. 253–259.

10. Ignatova A.M. O fenomenologičeskom opisanie relaksacionnyh processov pri deformirovanii sinteticheskikh mineral'nyh splavov/ A.M. Ignatova, A.O. Artemov, M.N. Ignatov// Nauchno-tehničeskij vestnik Povolzh'ja. 2012. no. 5. pp.16–20.

11. Ignatova A.M. Udarnyj metamorfizm petrurgicheskikh materialov na primere sinteticheskikh mineral'nyh splavov// Steklo i keramika. 2013. no. 1. pp. 40–45.

12. Ignatova, A.M. Relationship of structure and colour stone-casting materials made of mineral aggregates and technogenic raw materials // Polymers research journal. 2011. T. 5. no. 1. pp. 47–54.

References

1. Ignatova A.M. Analiticheskij obzor sovremennyh i perspektivnyh materialov i konstrukcij bronepregrad i zashhit ot porazhenija / A.M. Ignatova, A.O. Artemov // Fundamental'nye issledovanija. 2012. no. 6–1. pp. 101–105.

2. Ignatova A.M. Anizotropija struktury i mehanicheskikh svojstv sinteticheskikh mineral'nyh splavov / A.M. Ignatova,

Рецензенты:

Беленький В.Я., д.т.н., профессор, зам. директора, Западно-Уральский аттестационный центр, г. Пермь;

Кривоносова Е.А., д.т.н., профессор, ведущий специалист, Западно-Уральский аттестационный центр, г. Пермь.

Работа поступила в редакцию 15.08.2013.