

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ БРОНЕЗАЩИТЫ (Обзор)

А. А. БАБИНЕЦ¹, И. А. РЯБЦЕВ¹, А. И. ПАНФИЛОВ²

¹ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

²ООО «Стил Ворк», 50065, г. Кривой Рог, ул. Соборности, 32. E-mail: a.panfilov@steel-work.net

В работе проанализированы имеющиеся литературные данные о свойствах различных материалов, применяемых в настоящее время в средствах индивидуальной бронезащиты, и проведена оценка способов улучшения их противопульных и других эксплуатационных свойств. Показано, что в настоящее время для создания средств индивидуальной бронезащиты используется множество различных материалов: тканевые арамидные или полиэтиленовые волокна, металлические пластины на основе сталей, титана, алюминия и их сплавов, а также керамики на основе карбидов бора, кремния и др. Показаны основные преимущества и недостатки указанных бронематериалов. На основании литературных данных установлено, что для защиты по 3-5 классу широкое применение нашли бронепластины, выполненные из конструкционных легированных сталей. Для минимизации недостатков, присущих стальным бронепластинам, необходимо использовать биметаллические композиции с чередующимися твердыми и мягкими слоями, полученными, в том числе, методами сварки или наплавки. Библиогр. 20, табл. 4, рис. 3.

Ключевые слова: индивидуальная бронезащита, классы защиты, бронепластины, свойства бронематериалов, пулестойкость, броневые стали, композиты, многослойные материалы

В настоящее время для изготовления средств индивидуальной бронезащиты используется широкий спектр материалов, начиная от легкой брони на основе арамидных или полиэтиленовых волокон и заканчивая тяжелыми «панцирями» из различных сталей, сплавов и керамики, предназначенных для защиты человека от самых опасных угроз во время боевых действий [1–6]. Каждый из этих материалов имеет свои преимущества и недостатки, в зависимости от которых может применяться в различных обстоятельствах. Так, в силу своей высокой степени защиты, относительной простоты изготовления и низкой стоимости, широкое распространение нашли бронепластины из различных сталей [7, 8]. Вместе с тем большая масса таких бронепластин, являющаяся результатом увеличения их толщины, негативно сказывается

на маневренности человека, способности выполнять определенные задания, и, тем самым подвергает его большей опасности [9].

Целью работы являлся анализ свойств различных бронематериалов, применяемых в настоящее время в средствах индивидуальной бронезащиты и оценка способов улучшения их противопульных и других эксплуатационных свойств.

Применение бронематериалов регламентировано требованиями специальных стандартов, в частности, в Украине это ДСТУ 4103-2002 «Засоби індивідуального захисту, бронезилети. Загальні технічні умови» [10] (табл. 1). Согласно этим требованиям средства индивидуальной бронезащиты разделяются на три основных класса: мягкие — с защитной структурой на основе специальных тканей; полужесткие — с базовой структурой из

Таблица 1. Характеристика классов защитных структур [10]

Класс защиты	Средство поражения	Тип пули	Масса, г	Скорость, м/с
1	Пистолет ПМ, пуля 9 мм тип 57-Н-181с	Стальная оболочка со стальным сердечником	5,9	315±10
2	Пистолет ТТ, пуля 7,62 мм тип 57-Н-134с	—>—	5,5	430±15
3	Автомат АК-74, пуля 5,45 мм тип 7Н6	—>—	3,4	910±15
	Автомат АКМ, пуля 7,62 мм тип 57-Н-231	—>—	7,9	730±15
4	Автомат АК-74, пуля 5,45 мм тип 7Н10	Стальная оболочка со стальным термопрочным сердечником	3,6	910±15
	Винтовка СВД, пуля 7,62 мм тип 57-Н-323с	Стальная оболочка со стальным сердечником	9,6	850±15
5	Автомат АКМ, пуля БЗ 7,62 мм тип 57-Н-231	Стальная оболочка со стальным термопрочным сердечником	7,4	745±15
6	Винтовка СВД, пуля Б-32 7,62 мм тип 57-Н-323с	—>—	10,4	830±15

Таблица 2. Сравнительные характеристики защиты, выполненной из различных бронематериалов [13]

Тип бронематериала	Уровень защиты по ДСТУ 4103-2002				
	1	2	3	5	6
Сталь и ее сплавы	135/1,7	187/2,4	343/4,4	500/6,4	860/11,0
Титановые сплавы	135/3,0	155/3,5	310/7,0	445/10,0	-
Алюминиевые сплавы	135/5,0	190/7,0	590/22,0	860/32,0	1160/43,0
Керамика на основе корунда	-	-	-	380/19,5	440/35,6

* В числителе указана поверхностная плотность в г/дм², а в знаменателе — толщина листа в мм.

ткани и дополнительными жесткими защитными элементами и жесткие — на основе жестких защитных и амортизирующих элементов.

Текстильные бронематериалы и бронепанели из полиэтиленовых волокон применяются в мягких средствах индивидуальной защиты 1, 2 классов и выдерживают попадание низкоэнергетических средств поражения, таких как револьверные и пистолетные пули. Для защиты от высокоэнергетических средств поражения с высокой проникающей способностью (3 класс и выше), например, бронебойных винтовочных пуль с термоупрочненными сердечниками, необходимо применять полужесткие и жесткие средства защиты с бронезащитами из металлов, сплавов или керамики [1–6, 11]. При этом масса бронезилов 3 класса составляет 6...9 кг, 4 класса — 10...12 кг, 5, 6 классов находится в пределах от 11 до 20 кг [7, 9].

Большая масса, как указывалось выше, является одним из основных недостатков стальных бронепластин, поэтому в бронезилов 5 и 6 классов начали использовать керамические материалы на основе карбидов бора и кремния [8, 12–14]. Основным преимуществом данного типа материалов является то, что они результативно противостоят пулям бронебойного и высокоскоростного типа, так как скорость образования трещин в керамике меньше по сравнению со скоростью проникновения пули. Это означает, что высокоскоростная пуля тратит большое количество энергии на то, чтобы материал был раздроблен. В процессе дробления керамики пуля начинает распадаться на мелкие элементы, которые потом легко задерживаются арамидной тканью [2].

Однако если в броню из керамики попадают малоскоростные или остроконечные пули, то они ведут себя иначе — раздвигая куски керамики, которая подверглась растрескиванию, такая пуля не теряет энергии, соответственно, она не разрушается и не распадается на несколько осколков. Это может привести к запреградному воздействию пули, то есть к сохранению ее свойств после преодоления бронезащиты. При попадании нескольких пуль в одну и ту же область это ведет к летальному исходу [2, 12]. Иными словами «живучесть» керамической брони, т. е. способность выдержать несколько выстрелов, заметно хуже, чем у металлических аналогов, особенно при по-

падании в стык между отдельными керамическими вставками, а значительная толщина защитной структуры создает большие проблемы конструкторам бронезилов и эксплуатационные ограничения для пользователей [13, 14].

Сравнительные характеристики по противопулевой стойкости керамики и традиционной металлической брони представлены в табл. 2 [13]. Из табл. 2 следует, что для обеспечения защиты по 5, 6 классам требуется толщина стального листа 6,5...11,0 мм, а керамической панели — в несколько раз больше.

Одним из способов одновременного обеспечения достаточного уровня защиты и снижения массы бронепластин на 15...30 % является использование легких сплавов на основе алюминия и титана [7, 8, 14]. Одним из их преимуществ является также отсутствие осколков при попадании пули и низкая степень заброневых травм. Тем не менее, эти сплавы дороги, сложны в обработке, и исключают создание бронезилов наиболее высоких классов [8]. Таким образом, для защиты по 3-му классу и выше наибольшее применение в настоящее время получили бронепластины, выполненные из конструкционных сталей, обладающие необходимыми механическими свойствами, главными из которых являются твердость, прочность, относительное удлинение и вязкость [1–3, 13]. Основная сложность в создании пулестойкой стали обусловлена необходимостью объединения высоких значений твердости и прочности, которые обеспечивают сопротивление проникновению пули в металл, и достаточного уровня пластичности и вязкости для предотвращения ее хрупкого разрушения [1–3]. Таким образом, хрупкие стали высокой твердости, также как и вязкие пластичные стали невысокой твердости, характеризуются низкой противопулевой стойкостью. Основными легирующими элементами в броневых сталях являются углерод, хром, никель, молибден, кремний [1–3]:

– углерод в первую очередь обеспечивает повышение прочности стали. Вместе с тем углерод в значительной степени снижает стойкость стали против образования кристаллизационных трещин. При содержании углерода менее 0,44 % в сочетании с другими легирующими элементами и их соответствующим взаимным влиянием не удается получить твердость стали более HRC 50,

Таблица 3. Химический состав и механические свойства пулестойких сталей [4]

Марка стали	Номинальный химический состав	Толщина листа, мм	σ_b , МПа	Твердость <i>HB</i>
MARS 270	0,35C–0,75Cr–3,10Ni–0,40Mo	< 25	2000	534...601
MARS 300	0,50C–0,80Si–4,0Ni–0,40Mo	≤ 8	2180	578...655
ARMOX 560	0,35C–1,0Mn–1,2Cr–3,0Ni–0,65Mo–0,002B	8...20	1850	534...601
ARMOX 600	0,43C–0,3Mn–0,25Si–0,5Cr–2,0Ni–0,35Mo–0,002B	4...10	2150	570...640
4340 TOD	0,4C–0,3Si–0,6Mn–0,8Cr–1,5Ni–0,2Mo	-	1900	477...514
RAMOR 550	0,36C–0,7Si–1,5Mn–1,5Cr–2,5Ni	3...15	2100	540...600
77Ш	0,35C–1,4Si–1,1Cr–2,4Ni–0,3Mo	-	1900	477...522
Ц85	0,42C–1,5Si–1,1Cr–1,2Ni–0,45Mo	-	2050	485...522
СПС43	0,43C–1,65Si–1,2Cr–1,3Ni–0,45Mo	-	2050	444...552
44C	0,44C–1,1Cr–0,9Ni–0,8Mo	-	2100	560...610
56	0,50C–3,0Cr–1,7Ni–1,95Mo–0,3V	-	2300	570...600

вместе с тем содержание углерода более 0,48 % нецелесообразно;

- хром в основном повышает прочность и прокаливаемость стали, а также способствует некоторому увеличению ее вязкости за счет измельчения аустенитного зерна. Хромистые стали чувствительны к отпускной хрупкости, избежать появления которой можно за счет дополнительного их легирования молибденом;

- никель повышает сопротивление стали хрупкому разрушению, пластичность и вязкость стали, уменьшает чувствительность к концентраторам напряжений и обеспечивает высокое сопротивление хрупкому разрушению, однако недостатком этих сталей является большая чувствительность к отпускной хрупкости. Как и в случае легирования хромом, избежать этого можно за счет дополнительного легирования молибденом;

- молибден препятствует росту зерна аустенита. Его вводят для предотвращения отпускной хрупкости. В то же время молибден, несколько повышая твердость феррита, снижает его ударную вязкость;

- кремний, как и углерод, упрочняет сталь и больше, чем другие легирующие элементы, повышает прочность стали и снижает ее вязкость. В стали должно быть достаточное, но не снижающее стойкости против образования трещин, количество кремния.

Таким образом, чаще всего броневая сталь представляет собой среднеуглеродистую, среднелегированную сталь мартенситного класса (σ_b не менее 1500 МПа, твердость *HB* 360...600). Высокие прочностные характеристики броневых сталей достигаются в результате термообработки, включающей закалку на мартенсит и низкий отпуск [1–5]. При этом по своей структуре такая броня может быть гомогенной, т. е. однородной по твердости и вязкости по сечению, и гетерогенной — имеющей наружный слой более высокой прочности и тыльный вязкий, пластичный слой, который не создает осколков [11]. Твердость наружного слоя таких материалов повышается поверхностной закалкой [1–3]. Типич-

ными представителями броневых сталей, соответствующих указанным требованиям, являются: MARS 240...300 (Франция); ARMOX 400...600 (Швеция); 4340 TOD (США); 44C, 56 (Россия); RAMOR 550 (Финляндия) и др. [4, 6]. Химический состав, а также механические свойства некоторых из указанных сталей приведены в табл. 3. Например, стальной лист 44C толщиной 5,5 мм, имеющий твердость на уровне *HRC* 55...57, обеспечивает защиту от обычных пуль АКМ, АК74 и СВД (3-й класс), а при увеличении толщины листа до 6,5 мм обеспечивается защита от пуль со стальным закаленным сердечником калибра 5,45 мм, что соответствует 4-му классу защиты [1–4]. Для обеспечения более высокого уровня защищенности по 5 и 6 классу толщина листов из стали типа 44C должна быть не меньше 7 и 15 мм, соответственно. При этом пулестойкая сталь марки 56 обеспечивает защиту по 6 классу уже при толщине листа 12 мм (см. рис. 1).

Однако с увеличением толщины стального бронелиста вновь возникает проблема его массы. Кроме того, такие бронепластины не в состоянии спасти человека от заброневоего воздействия пули. Даже в случае непробития бронезилета пуля с мощнейшим запреградным воздействием наносит удар по телу пользователя [12, 15]. Кроме того, бронепластины должны обеспечивать защиту не только от попадания пули, но также от осколков, вызванных

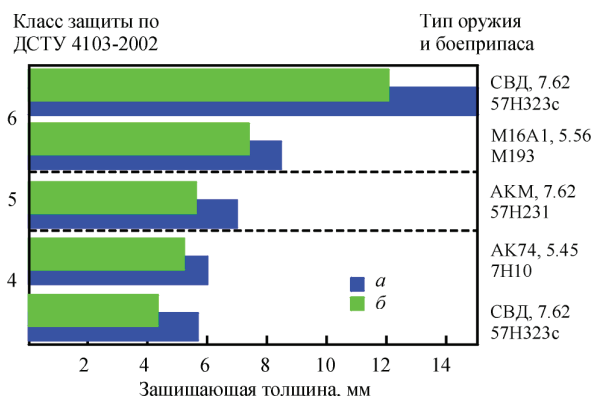


Рис. 1. Сравнение защитных характеристик сталей марок 44C (a) и 56 (б) [2, 3]

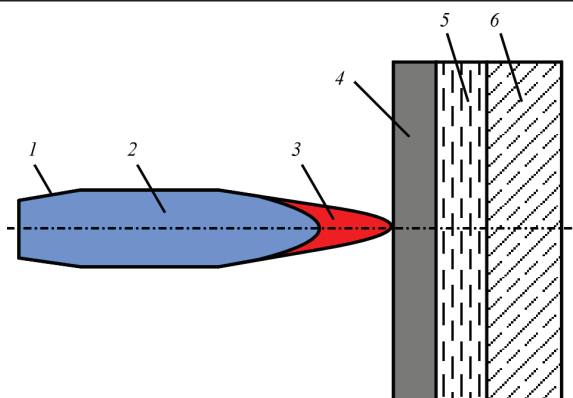


Рис. 2. Схема ударного взаимодействия пули с противупулевой защитой: 1 — оболочка пули; 2 — сердечник с оболочкой; 3 — зажигательный состав; 4 — твердый слой бронепластины; 5 — вязкий слой бронепластины; 6 — амортизирующий слой

близким разрывом гранат или снарядов, и разрушения природных и искусственных объектов, а также от удара воздушной волны в результате увеличения (или уменьшения) давления в местах взрывов [16]. Еще одно опасное явление, которому подвержены стальные бронепластины – это рикошет. При взаимодействии пули с защитной пластиной под большими углами от нормали, пуля может срикошетить и нанести поражение незащищенным частям тела, а также окружающим [1–3].

Устранить данные недостатки можно за счет оптимизации свойств материала брони [11] и применения биметаллических композитных бронепанелей [6, 17]. Основной принцип работы такой двухслойной бронеплиты заключается в следующем [5, 14]. Лицевой слой должен разрушить или хотя бы задержать оболочку пули, частично поглотить ее энергию, расплющить или разломать сердечник и распределить его действие на возможно большую площадь. Для этого он должен быть максимально твердым и прочным, а также не допускать проламывания всей пулей целиком. Внутренний слой должен максимально поглотить энергию оставшейся части пули, задержать вторичные осколки и возможные отколы первого слоя и не давать самому вторичных осколков.

Удар пули со стальным сердечником о сталь можно считать соударением тел из двух одинаковых

материалов (рис. 2). Имеются данные [15] о повышенной способности некоторых классов материалов и сплавов к рассеиванию энергии динамических воздействий за период времени, соизмеримый со временем взаимодействия пули с преградой (см. табл. 4).

Как видно из данных табл. 4, низкоуглеродистая сталь Ст3 в меньшей степени снижает броневое действие. Более высокие демпфирующие показатели наблюдаются у комплексно легированных сталей, некоторых титановых и никелевых сплавов и в случае использования биметалла Сталь 25+Х6ВФ [15]. Похожие результаты были получены в работе [6], по данным которой многослойная броня, выполненная из комбинации сталей Ст3 и У12А, показала пулестойкость на уровне специальной броневой стали типа RAMOR 550, и при этом позволила уменьшить массу бронепластин на 20 %.

Вместе с тем серийное производство биметаллической брони на территории СНГ не освоено [1–3], хотя в странах ЕС такая броня используется достаточно широко [11]. Имеются данные [11, 17, 18] о единичных попытках создания биметаллической брони различными способами сварки. Так, в работах [11, 18] при помощи сварки взрывом был получен композит из рессорной стали 65Г и алюминия АД0. Испытания полученных материалов показали, что они могут служить эффективными пластинами для бронезилетов по 5-му классу стойкости.

В работах [7, 17] предлагается повышение баллистических характеристик титановых бронепластин за счет создания высокопрочных интерметаллидных соединений — алюминидов титана. Реализация этой идеи, заключающейся в чередовании слоев высокопрочного интерметаллида с мягкими слоями алюминия, достигается при помощи диффузионной сварки (рис. 3). По мнению авторов, такой подход позволяет исключить хрупкое разрушение титановой бронепластины, а также увеличить площадь, на которую передается импульс при попадании пули, что снижает запреградное воздействие.

Т а б л и ц а 4. Результаты обстрела бронепакетов из различных материалов пулями ПСТ из ПМ [15]

Марка материала	Толщина листа, мм	Характер поражения	Запреградный эффект, %
Ст3	2,4	Сквозное пробитие	6...9
17Х18Н9	2,5	60 % непробитие	0
Сталь 25+Х6ВФ	2,0+0,5	Разрушение/непробитие	0
АД31	4,0	Сквозное пробитие	15
В95	4,5	80 % непробитие	5
АД31+В95	2,0+2,0	Сквозное пробитие	5...6
ВТ9	2,0	Сквозное пробитие	0
ВТ9	3,0	Непробитие	0
ВТ20	2,0	Сквозное пробитие	3...5
ХН77ТЮР	2,0	Непробитие	0

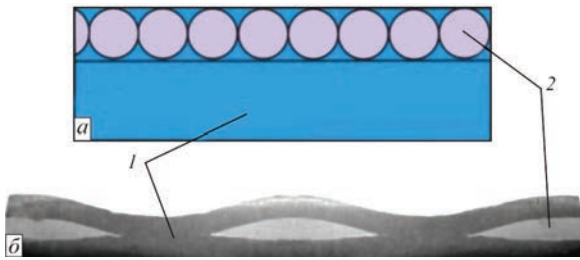


Рис. 3. Вариант компоновки слоев в композитных бронепластинах (а) и макроструктура соединения (б), получаемого сваркой взрывом [7, 17]: 1 — слой Ti; 2 — интерметаллидные включения $TiAl_3$

Интересными с научной и практической точек зрения являются исследования по применению в качестве наружного слоя биметаллических бронепластин покрытия из углеродных нанотрубок, характеризующихся высоким модулем упругости — около 1,0 ТПа (у стали — 0,21 ТПа) и пределом прочности — до 45 ГПа [1, 19, 20]. Однако на сегодня наноматериалы еще весьма дороги, что затрудняет проведение исследований в этом направлении.

Выводы

1. Для создания средств индивидуальной бронезащиты разработана широкая гамма различных материалов: тканевых арамидных или полиэтиленовых волокон; металлических пластин из сталей, а также титана, алюминия и их сплавов; керамики на основе карбидов бора, кремния и др. Каждый из этих материалов имеет свои преимущества и недостатки, в зависимости от которых может обеспечивать защиту по 1-6 классу.

2. В силу достаточной надежности, низкой стоимости и универсальности, для защиты по 3-5 классу широкое применение нашли бронепластины, выполненные из конструкционных низколегированных сталей, характеризующихся высокой твердостью, пластичностью и вязкостью.

3. Для снижения массы стальных бронепластин, а также уменьшения вероятности получения запреградных травм и рикошета, предлагается использовать биметаллические пластины с чередующимися твердыми и мягкими слоями, полученные различными способами сварки и наплавки.

Список литературы

1. Кобылкин И. Ф., Селиванов И. Ф. (2014) *Материалы и структуры легкой бронезащиты*. Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана.
2. Гладышев С. А., Григорян В. А. (2010) *Броневые стали*. Москва, Интермент Инжиниринг.
3. Григорян В. А., Кобылкин И. Ф., Маринин В. М., Чистяков Е. Н. (2008) *Материалы и защитные структуры для локального и индивидуального бронирования*. Москва, РадиоСофт.
4. Анастасиади Г. П., Сильников М. В. (2004) *Работоспособность броневых материалов*. Санкт-Петербург, Астерион.

5. Байдак В. И., Блинов О. Ф., Знахурко В. А. и др. (2003) *Концептуальные основы создания средств индивидуальной бронезащиты*. Москва, Вооружение. Политика. Конверсия.
6. Манжура С. А. (2017) Вибір матеріалів бронепластин для індивідуальних засобів бронезахисту сил охорони правопорядку. *Системи озброєння і військова техніка*, **2**, 89–93.
7. Болотов М. Г., Гансеев Т. Р., Новомлинець О. О., Прибытько І. О. (2015) Нові напрямки застосування алюмінідів титану. *Технічні науки та технології*, **2**, 51–55.
8. Новиков В. А. (2015) Бронезилеты: современные материалы и их свойства. *Междун. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова, 1–30 мая, Белгород*, сс. 1443–1446.
9. Горбунов И. М., Харченко Е. Ф., Анискович В. А. (2006) Анализ по научно-техническому уровню разработок современных средств бронезащиты в России и за рубежом. *Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России*, **4**, 32–35.
10. ДСТУ 4103-2002 (2002) *Засоби індивідуального захисту, бронезилети, Загальні технічні умови*.
11. Загорянский В. Г. (2015) Обоснование применимости биметалла сталь-алюминий по расчетным критериям противопулевой бронестойкости. *Вісник НТУУ «КПІ». Сер.: Машинобудування*, **3**, 37–41.
12. Гуськов А. В., Милевский К. А., Павлова О. В. (2014) Бронезилет с керамическими бронезементами сотовой конструкции. *Евразийский союз ученых*, **8-8**, 45–46.
13. Мыльников В. В., Абросимов А. А., Романов И. Д., Романов А. Д. (2014) Анализ материалов и их свойств, применяемых для средств индивидуальной бронезащиты. *Успехи современного естествознания*, **9-2**, 143–147.
14. Чернышов Е. А., Мыльников В. В., Мыльникова М. В., Романов А. Д. и др. (2014) Создание металлокерамических элементов баллистической защиты с применением керамики на основе алюминия. *Современные наукоемкие технологии*, **4**, 97–100.
15. Алексенцева С. Е., Захаров И. В. (2011) Влияние демпфирующих свойств сплавов на пулестойкость. *Вестник Самарского государственного технического университета. Сер.: Технические науки*, **4**, 88–95.
16. Radonjic V. M., Jovanovic D. M., Zivanovic G. Z., Resimic B. V. (2014) Ballistic characteristics improving and maintenance of protective ballistic vests. *Vojnotehnicki glasnik*, **62**, **4**, 89–103. DOI: 10.5937/vojtehg62-4992.
17. Крюков Д. Б., Козлов Д. Б. (2016) Перспективы применения металлических композиционных материалов для создания брони нового поколения. *Вестник Пензенского государственного университета*, **2**, 103–108.
18. Драгобецкий В. В., Шаповал А. А., Загорянский В. Г. (2015) Разработка элементов средств индивидуальной защиты нового поколения на основе слоистых металлических композиций. *Изв. вузов. Черная металлургия*, **58**, **1**, 44–48.
19. Morka A., Jackowska B. (2010) Ballistic resistance of the carbon nanotube fibres reinforced composites – numerical study. *Computational materials science*, **50**, **4**, 1244–1249. DOI: 10.1016/j.commatsci.2010.03.046.
20. Курков С. Н., Куканов С. А., Зайцев Ю. М. (2016) Применение наноструктурируемых материалов в защитных композициях средств индивидуальной бронезащиты. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*, **3**, 53–59.

References

1. Kobylkin, I.F., Selivanov, I.F. (2014) *Materials and structure of light armour protection*. Moscow, N.E. Bauman NSTU [in Russian].
2. Gladyshev, S.A., Grigoryan, V.A. (2010) *Armoured steels*. Moscow, Interment Engineering [in Russian].
3. Grigoryan, V.A., Kobylkin, I.F., Marinin, V.M., Chistyakov, E.N. (2008) *Materials and protective structures for local and personal armouring*. Moscow, RadioSoft [in Russian].

4. Anastasiadi, G.P., Silnikov, M.V. (2004) *Operating capability of armour materials*. St.-Petersburg, Asterion [in Russian].
5. Bajdak, V.I., Blinov, O.F., Znakhurko, V.A. et al. (2003) *Concept basics for development of means of personal armour protection*. Moscow, Armouring. Politics. Conversion [in Russian].
6. Manzhura, S.A. (2017) Selection of armoured plate materials for personal means of armour protection of law enforcement forces. *Systemy Ozbroyennya i Vijskova Tekhnika*, **2**, 89-93 [in Ukrainian].
7. Bolotov, M.G., Ganeev, T.R., Novomlynets, O.O., Prybytko, I.O. (2015) New trends of application of titanium aluminides. *Tekhnichni Nauky ta Tekhnologii*, **2**, 51-55 [in Ukrainian].
8. Novikov, V.A. (2015) Flak jacket: Modern materials and their properties. In: *Proc. of Int. Sci.-Techn. Conf. of Young Scientists of V.G. Shukhov BSTU (1-30 May, Belgorod)*, pp. 1443-1446.
9. Gorbunov, I.M., Kharchenko, E.F., Aniskovich, V.A. (2006) Analysis on scientific and technical level of development of modern armour protection means in Russia and abroad. *Oboronny Kompleks – Nauchno-Tekhnicheskomu Progressu Rossii*, **4**, 32-35 [in Russian].
10. (2002) DSTU 4103-2002: *Means of personal protection, flak jacket. General specifications* [in Ukrainian].
11. Zagoryansky, V.G. (2015) Substantiation for application of steel-aluminium bimetal on calculation criteria of bulletproof armour. *Visnyk NTUU KPI. Seriya: Mashynobuduvannya*, **3**, 37-41 [in Ukrainian].
12. Guskov, A.V., Milevsky, K.A., Pavlova, O.V. (2014) Flak jacket with ceramic armour elements of honeycomb structure. *Evrazijsky Soyuz Uchyonykh*, **8-8**, 45-46 [in Russian].
13. Mylnikov, V.V., Abrosimov, A.A., Romanov, I.D., Romanov, A.D. (2014) Analysis of materials and their properties, applied for means of personal armour protection. *Uspekhy Sovremennogo Estestvoznaniya*, **9-2**, 143-147 [in Russian].
14. Chernyshov, E.A., Mylnikov, V.V., Mylnikova, M.V., Romanov, A.D. et al. (2014) Development of metal-ceramic elements of ballistic protection using aluminium-based ceramics. *Sovremennye Naukoyomkie Tekhnologii*, **4**, 97-100 [in Russian].
15. Aleksentseva, S.E., Zakharov, I.V. (2011) Effect of damping properties of alloys on bulletproofness. *Vestnik Samar. STU. Seriya: Tekhnicheskie Nauki*, **4**, 88-95 [in Russian].
16. Radonjic, V.M., Jovanovic, D.M., Zivanovic, G.Z., Resimic, B.V. (2014) Ballistic characteristics improving and maintenance of protective ballistic vests. *Vojnotehnicki glasnik*, **62** (Is. 4), 89-103. DOI: 10.5937/vojtehg62-4992.
17. Kryukov, D.B., Kozlov, D.B. (2016) Perspectives of application of metal composite materials for development of armoured of new generation. *Vestnik Penzenskogo Gos. Unta*, **2**, 103-108 [in Russian].
18. Dragobetsky, V.V., Shapoval, A.A., Zagoryansky, V.G. (2015) Development of elements of personal protection means of new generation based on laminated metallic compositions. *Izv. Vuzov, Chyorn. Metallurgiya*, **58**, **1**, 44-48 [in Russian].
19. Morka, A., Jackowska, B. (2010) Ballistic resistance of the carbon nanotube fibres reinforced composites – numerical study. *Comput. Mater. Sci.*, **50**(4), 1244-1249. DOI: 10.1016/j.commat.2010.03.046.
20. Kurkov, S.N., Kukanov, S.A., Zajtsev, Yu.M. (2016) Application of nanostructured materials in protective compositions of personal armour means. *Izv. Tul'skogo Gos. Un-ta. Tekhnicheskie Nauki*, **3**, 53-59 [in Russian].

МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО БРОНЕЗАХИСТУ (ОГЛЯД)

А. А. БАБІНЕЦЬ¹, І. О. РЯБЦЕВ¹, А. І. ПАНФІЛОВ²

¹ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

²ТОВ «Стіл Ворк», 50065, м. Кривий Ріг, вул. Соборності, 32. E-mail: a.panfilov@steel-work.net

В роботі проаналізовано наявні літературні дані про властивості різних матеріалів, що застосовуються в даний час в засобах індивідуального бронезахисту, та проведена оцінка способів поліпшення їх протипульних та інших експлуатаційних властивостей. Показано, що в даний час для створення засобів індивідуального бронезахисту використовується безліч різних матеріалів: тканинні арамідні або поліетиленові волокна, металеві пластини на основі сталей, титану, алюмінію та їх сплавів, а також кераміки на основі карбідів бору, кремнію та ін. Показано основні переваги і недоліки зазначених бронематеріалів. На підставі літературних даних встановлено, що для захисту по 3-5 класу широке застосування знайшли бронепластини, виконані з конструкційних легованих сталей. Для мінімізації недоліків, властивих сталевим бронепластинам, необхідно використовувати біметалеві композиції, в яких змінюються тверді і м'які шари, що отримані, в тому числі, методами зварювання або наплавлення. Бібліогр. 20, табл. 4, рис. 3.

Ключові слова: індивідуальний бронезахист, класи захисту, бронепластини, властивості бронематеріалів, пулестійкість, броньові сталі, композити, багатощарові матеріали

MATERIALS FOR INDIVIDUAL ARMOR PROTECTION (REVIEW)

A.A. BABINETS¹, I.A. RYABTSEV¹, A.I. PANFILOV²

¹E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: office@paton.kiev.ua

²OJSC «Steel Wrok», Kryvyi Rih, Ukraine. E-mail: a.panfilov@steel-work.net

The paper analyzes the available literature data on the properties of different materials currently used in the means of individual armor protection and the methods for improving their bulletproof and other service properties are evaluated. It is shown that at the present time to create the means of individual armor protection, a variety of materials are used: fabric aramid or polyethylene fibers, metal plates based on steels, titanium, aluminum and their alloys, as well as ceramics based on boron and silicon carbides, etc. The main advantages and disadvantages of these armored materials are shown. On the basis of literary data, it was established that for the 3-5 class of protection, the armored plates of structural alloyed steels were widely used. To minimize the disadvantages inherent in steel armored plates, it is necessary to use bimetallic compositions with alternating hard and soft layers, produced, among others, by welding or surfacing methods. 20 Ref., 4 Tab., 3 Fig.

Key words: individual armor protection, classes of protection, properties of armored materials, bulletproof, armor steels, composites, multilayer materials

Поступила в редакцію 19.06.2018