

ИНЖИНИРИНГ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 621.791.13: 62-419.4: 62-419.5

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ СЛОИСТЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ

Драгобецкий В.В., д.т.н., профессор
Шаповал А.А., к.т.н (tungsten@yandex.ru)
Загорянский В.Г., к.т.н, доцент

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
(39600, Украина, Кременчуг, ул. Первомайская, 20)

Аннотация. Представлены результаты исследования сварки взрывом пластин из рессорно-пружинной стали с некоторыми листовыми металлами. Приведено обоснование выбранных металлов и их свойств. Показаны результаты прострела полученных композиций. Даны рекомендации для использования полученных композиций в качестве бронезащитных элементов и выбора параметров процесса их получения.

Ключевые слова: сварка взрывом, рессорно-пружинная сталь, алюминий, медь, титан, пластина, лист, бронезащитный элемент.

Бронезащитные элементы, изготовленные по классу защитной структуры бронезащитной 3 и выше (по классификации государственного стандарта ГОСТ Р 50744-95. Бронезащитная. Классификация и общие технические требования), должны иметь защитные структуры чисто металлические или комбинированные (из металлических, керамических или композиционных элементов).

К металлической броне относятся высокопрочные титановые и алюминиевые сплавы и собственно броневая сталь [1]. Последняя используется наиболее широко, что обусловлено не в последнюю очередь фактором стоимости (листовой прокат из броневой стали дешевле аналогичного проката из титановых сплавов в 25 раз, а проката из высокопрочных алюминиевых сплавов в 5 раз [2]).

Рассмотрим особенности противопульной броневой стали (по классификации [3], не касаясь противоснарядной стальной брони), причем в аспекте класса защитной структуры начиная с третьего.

Броневая сталь обеспечивает защиту до пятого класса включительно по классификации ГОСТ Р50744-95 при толщине пластины до 6,5 мм (толщины больше 6,5 мм неприменимы из-за ограничения по массе).

Броневая сталь относится к среднелегированной среднеуглеродистой стали мартенситного класса [1]. Важным моментом является то, что высокая прочность этих сталей достигается закалкой на мартенсит и последующим низким отпускком.

Из основных серийных противопульных броневых сталей назовем сталь 44 (45ХНМФА, выплавка электродуговым или электрошлаковым переплавом), 44С, 96, СПС-43 (45СХНМА, выплавка электродуговым переплавом), Ц-85, Ф-110. В работе [1] наиболее полно приведены номинальные системы легирования,

способы получения и механические свойства некоторых броневых сталей российского и западного (США, Германия, Франция) производства.

Как указывается в работе [1], прочность этих броневых сталей составляет 1750 – 2300 МПа, твердость 50 – 58 HRC, относительное удлинение 8 – 12 %.

Механические свойства одной из наиболее эффективных противопульных сталей СПС-43 (45СХНМА) в деталях толщиной 4,5 мм: $\sigma_b = 1700 - 1950$ МПа, $\delta_s = 10 - 13$ %, твердость 48 – 52 HRC [4].

Отметим также, что сталь 44, применявшаяся в основном для средств индивидуального бронирования и закладных деталей бронетехники, в результате ее усовершенствования, обеспечившего возможность ее сваривания, применяется также для изготовления противопульной листовой брони [3].

Прочность броневых сталей, в сравнении со среднелегированными конструкционными сталями, определяется, главным образом, содержанием в них углерода.

В работе [4] указывается, что применяемая твердость противопульной броневой стали лежит в диапазоне 430 – 550 НВ или 44 – 52 HRC. Превышение верхней границы диапазона твердости в броневых сталях приведет к хрупкому разрушению при обстреле: расколу (сквозным протяженным трещинам) или отколу (отделению осколков брони с тыльной стороны).

Противопульная стальная броня выпускается по специальным техническим условиям в толщинах от 2,2 мм горячей прокаткой [4]. Требуемые свойства достигаются за счет термической обработки, включающей закалку и низкий отпуск.

Следует отметить, что обзор литературных источников по теме и ресурсов сети Интернет не принес информации о конкретном материале – стали для изго-

товления стальных бронепанелей АДУ 14.05 толщиной 3,8 (4,3) мм, применявшихся в советских бронежилетах серии 6Б5.

Одним из возможных путей повышения пулестойкости является создание биметаллической брони с внешним слоем высокой твердости (55 – 60 HRC) и вязким тыльным слоем [1]. Получить такую биметаллическую броню можно сваркой взрывом, пакетной прокаткой и другими способами.

Исходя из вышеизложенного, представляется рациональным провести исследования получения биметаллической брони из конструкционной высокоуглеродистой стали после термообработки, плакированной взрывом вязким материалом, таким, например, как медь или алюминий.

Цель работы – экспериментальное обоснование возможности качественного плакирования взрывом высокоуглеродистой конструкционной стали (на примере стали 65Г) некоторыми металлами и сплавами с целью расширения номенклатуры композиций биметаллической брони (на основе обычных, не специальных сталей в качестве слоя высокой твердости и некоторых цветных металлов и сплавов в качестве вязкого слоя).

Было предложено использовать в качестве материала слоя высокой твердости сталь 65Г. На предприятиях г. Кременчуга для производства упругих элементов используются горячекатаные полосы из стали 65Г по ГОСТ 14959-79. Прокат из рессорно-пружинной углеродистой и легированной стали. Технические условия.

Сортамент горячекатаного полосового проката из этой стали и предельные отклонения по размерам соответствует требованиям ГОСТ 103-76 (СТ СЭВ 3900-82). Полоса стальная горячекатаная. Сортамент.

Сталь 65Г, недорогая и достаточно технологичная, применяется для производства пружин, рессор и других деталей, к которым предъявляются требования повышенной износостойкости, и работающих без ударных нагрузок. Благодаря высокому модулю упругости эта сталь применяется для изготовления жестких (силовых) упругих элементов, в том числе и силовых упругих элементов приборов [5].

Следует отметить, что для изготовления сердечников пуль с повышенной проникающей способностью (пули с термически упрочненным сердечником) применяется близкая по составу и свойствам сталь 70Г [4].

Рессорно-пружинные стали с повышенным содержанием углерода (0,5 – 0,7 %) для получения высоких пределов упругости, выносливости и релаксационной стойкости подвергаются закалке и отпуску при 420 – 520 °С. При этом образуется троостит, отличающийся стабильной дислокационной структурой.

Твердость стальных пластин из стали 65Г размера 350×45×6 мм в отожженном состоянии составляла 28 – 30 HRC, в закаленном состоянии – 50 – 55 HRC.

В качестве плакировки использовались следующие металлы:

- алюминий АД0, пластины размером 350×135×6 мм, отожженные (твердость 28 – 30 HRC);
- сталь 3, пластины размером 350×45×2 мм;
- сталь 3, пластины размером 350×45×1 мм;
- медь М1, пластины размером 350×135×1,5 мм;
- титан ВТ22, пластины размером 234×135×3 мм.

Отмечается [2], что для бронепластин нашли применение титановые двухфазные $\alpha + \beta$ -сплавы, такие как ВТ14 (противоосколочная броня), ВТ23 (противопульная броня) и другие, имеющие хорошее сочетание механических и технологических свойств [6].

Для плакирования взрывом необходимы листы из титановых сплавов.

В данном случае был применен деформируемый титановый сплав ВТ20 – псевдо- α -сплав (по классификации [7], химический состав – по ГОСТ 19807-91. Титан и сплавы титановые деформируемые. Марки, механические свойства – по ГОСТ 22178-76. Листы из титана и титановых сплавов. Технические условия). Применялись листы в отожженном и правленном состоянии, с обычной отделкой поверхности.

Выбор данной марки титанового сплава основывается на том, что близкие по составу и по свойствам сплавы имеют следующие ограничения: сплав ВТ14, выпускаемый в виде листов, применялся для противоосколочной брони, что сужает диапазон его использования; сплав ВТ23 – для противопульной брони в основном в виде поковок и штамповок; то же применение и для сплава ВТ22, о котором нет сведений, применялся ли он для бронезащитных элементов.

В сравнении со сплавом ВТ23, предел прочности сплава ВТ20 отличается незначительно, а относительное удлинение не отличается [6].

Отметим также, что при соединении титана со сталью предполагается наличие тонкого листа ванадия между ними [8].

Использовались горячекатаные листы из стали ВСтЗсп по межгосударственному стандарту ГОСТ 19903-74. Прокат листовой горячекатаный. Сортамент.

Химический состав стали соответствует требованиям межгосударственного стандарта ГОСТ 380-2005. Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки.

Применялись листы алюминия (межгосударственный стандарт ГОСТ 21631-76. Листы из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия) марки АД0 (химический состав – по межгосударственному стандарту ГОСТ 4784-97. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки) толщиной 6 мм.

Использовались листы меди (межгосударственный стандарт ГОСТ 495-92. Листы и полосы медные. Технические условия) марки М1 (химический состав – по межгосударственному стандарту ГОСТ 859-2001. Медь. Марки) толщиной 1,5 мм.

Для получения требуемых скоростей детонации взрывчатого вещества при сварке взрывом широко используемый аммонит № 6ЖВ (или его аналог) необходимо смешивать с инертными наполнителями, такими

как аммиачная селитра, кварцевый песок, поваренная соль, тальк.

В качестве взрывчатого вещества для плакирования взрывом применялась многократно показавшая свою эффективность свежеприготовленная смесь аммонита № 6ЖВ (ГОСТ 21984-76. Вещества взрывчатые промышленные. Аммонит № 6ЖВ и аммонал водоустойчивые. Технические условия) с аммиачной селитрой (ГОСТ 2-85. Селитра аммиачная. Технические условия) в соотношении 1:1.

После установки на металлическое основания (плиту) собранной композиции с обеспечением требуемых зазоров между слоями, на верхнем листе композиции устанавливали контейнер под заряд взрывчатого вещества, высота бортов которого была равна требуемой толщине слоя заряда.

Технология подготовки и расчет режимов сварки взрывом принимались в соответствии с рекомендациями работы [9].

Сваркой взрывом получены следующие композиции (рис. 1):

– сталь 65Г отожженная, 2 пластины + пластина медь М1 толщиной 1,5 мм. Пластины стали 65Г сваривались с медью;

– сталь 65Г отожженная, 3 пластины + пластина алюминий АД0 толщиной 6 мм. Все три пластины стали 65Г сваривались с алюминием;

– полученная в предыдущем пункте композиция сваривалась со стороны алюминия с пластиной стали 3. Все три пластины сваривались по толщине, причем оторвало одну трехслойную пластину;

– сталь 65Г закаленная, 3 пластины + пластина алюминий АД0 толщиной 6 мм + пластина стали 3 (со стороны алюминия). Все пластины сваривались по толщине;

– четырехслойный «сэндвич» титан + алюминий + титан + титан. Все пластины надежно сваривались по толщине.

Технологический передел полученных сваркой взрывом заготовок бронепластин для получения окончательной формы и толщины предполагает их горячую прокатку. Данная технология показала свою эффективность [10] и вполне приемлема для обработки заготовок бронепластин.

Технология горячей прокатки биметаллов имеет свои особенности, отличающие ее от прокатки монометаллов. В частности, расчет обжатий по проходам требует учета отличия свойств составляющих композицию слоев. Отметим, что авторами разработана и проходит апробацию методика расчета режима обжатий при горячей пакетной прокатке биметалла «углеродистая сталь + нержавеющая сталь», позволяющая по исходным данным (исходные толщина пакета и толщина плакирующего слоя в нем, толщина готового листа и плакирующего слоя в нем) назначать необходимое ко-

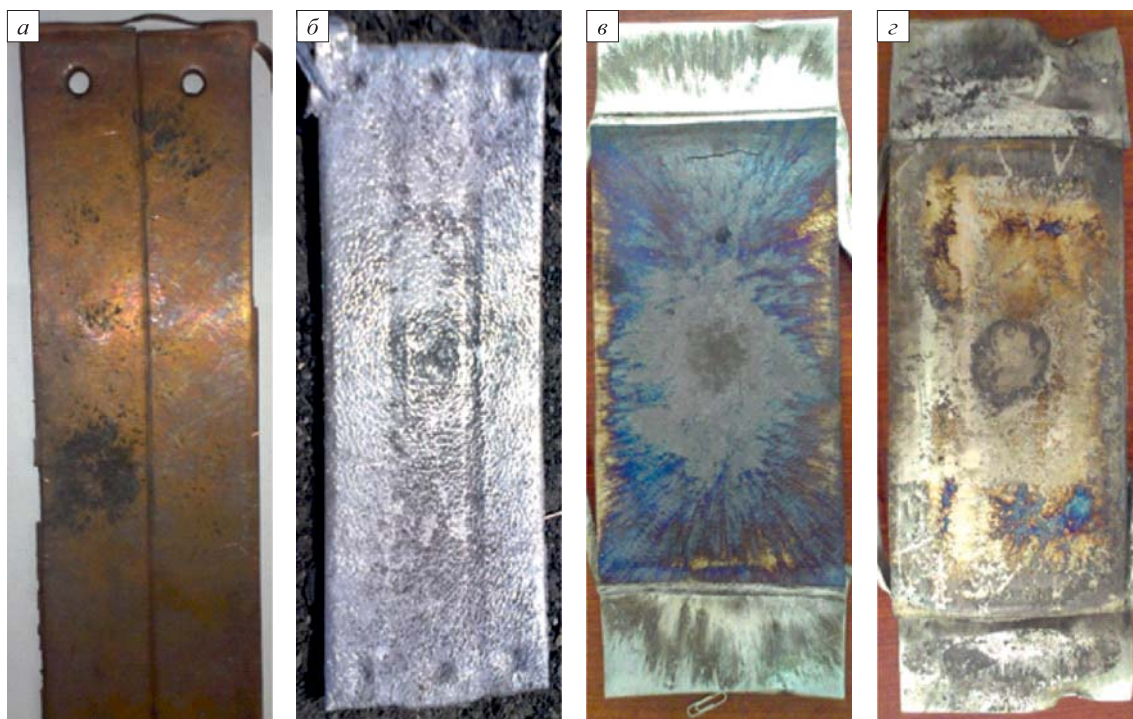


Рис. 1. Композиции, полученные сваркой взрывом:

a – пластины стали 65Г, плакированные листовой медью; *b* – пластины стали 65Г, плакированные листовым алюминием; *v* – лист алюминия, плакированного титаном (вид с одной стороны); *z* – лист алюминия, плакированного титаном (вид с другой стороны)

Fig. 1. The compositions obtained by explosion welding:

a – plate of 65G steel clad with sheet copper; *b* – plate of 65G steel clad with sheet aluminum; *v* – aluminum sheet, clad with titanium (view from one side); *z* – aluminum sheet clad with titanium (view from the other side)

личество проходов и обжатия по проходам. Анализ геометрических параметров горячей прокатки, как показано в работе [11], эффективно проводить (при введении дополнительных условий и для случая прокатки биметаллических композиций) с помощью системы трехмерного твердотельного и поверхностного параметрического проектирования Autodesk Inventor.

Результаты прострела полученных сваркой взрывом композиций следующие (рис. 2):

– композиция сталь 65Г (закалка + отпуск, твердость 50 HRC) + алюминий АД0 + сталь 3. Произведено два выстрела: с расстояния 50 м выстрел пулей калибра 5,45 мм и с расстояния 25 м выстрел пулей калибра 7,62 мм со стальным термоупрочненным сердечником. Обе пули увязли в теле пластины;

– композиция титан BT20 + алюминий АД0 + титан BT20 + титан BT20. Произведено три выстрела: с расстояния 50 м выстрел пулей калибра 5,45 мм, с расстояния 25 м выстрел пулей калибра 5,45 мм и с расстояния 25 м выстрел пулей калибра 7,62 мм со стальным термоупрочненным сердечником. Все три пули увязли в теле пластины.

Таким образом, композиция со сталью 65Г, плакированной медью, заведомо неэффективна в качестве бронезлемента высоких классов защиты (выше второго), а композиции из закаленной и отпущенной стали

65Г, плакированной алюминием и сталью 3, вполне приемлемы для этих целей. Также приемлемы композиции из алюминия, плакированного титаном, но сдерживающим фактором является высокая (в сравнении с другими применяемыми металлами) стоимость листового титана.

Выводы. Пластины из стали 65Г как в отожженном, так и в закаленном состоянии качественно плакируются взрывом как медью, так и алюминием, причем размеры полученных композиций позволяют использовать их в качестве бронезлемента.

В качестве взрывчатого вещества для плакирования взрывом эффективно применение смеси аммонита № 6ЖВ с аммиачной селитрой в соотношении 1:1.

Твердость по Роквеллу поверхностного слоя металлов после плакирования взрывом увеличилась значительно: так, медь стала тверже в 10–30 раз, сталь 65Г без закалки и отпуска – в 2,0–2,5 раза, сталь 65Г после закалки и отпуска – в 1,5–1,6 раза, сталь 3 – в 2,0–2,7 раза.

Для создания противоположных защитных элементов бронезлемента (класс защитной структуры бронезлемента до шестого включительно) эффективно использование полученных сваркой взрывом четырехслойной композиции из пластин титана и алюминия (ограничение по стоимости титана), трехслойной ком-

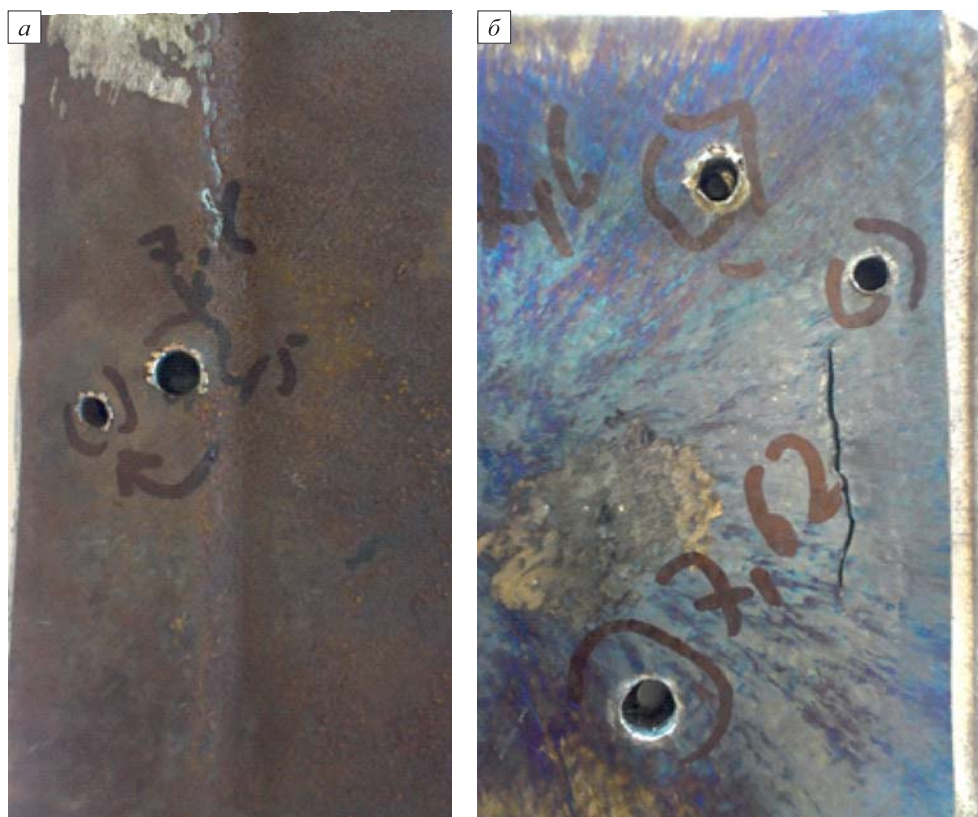


Рис. 2. Композиции, полученные сваркой взрывом, после прострела:
а – пластины стали 65Г, плакированные листовым алюминием и сталью 3; б – лист алюминия, плакированного титаном

Fig. 2. The compositions obtained by explosion welding, after perforating:
а – plate of 65G steel clad with sheet aluminum and steel 3; б – aluminum sheet clad with titanium

позиции из твердого стального слоя (сталь 65Г после закалка и отпуска) и вязкого слоя алюминия, усиленного слоем стали 3.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Материалы и защитные структуры для локального и индивидуального бронирования / В.А. Григорян, И.Ф. Кобылкин, В.М. Маринин, Е.Н. Чистяков; под ред. В.А. Григоряна. – М.: Изд. РадиоСофт, 2008. – 406 с.
2. Сильников М.В., Химичев В.А. Средства индивидуальной бронезащиты – СПб: Фонд «Университет», 2000. – 480 с.
3. Частные вопросы конечной баллистики / В.А. Григорян, А.Н. Белобородько, Н.С. Дорохов и др.; под ред. В.А. Григоряна. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 592 с.
4. Технические средства обеспечения защиты и безопасности. (Экипировка, средства индивидуальной бронезащиты тела): Учеб. пособие. – Тольятти: Электронный документ, 2010. – 93 с.
5. Материаловедение / Б.Н. Арзамасов, И.И. Сидорин, Г.Ф. Косолапов и др.; под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машностроение, 1986. – 384 с.
6. Меркулова Г.А. Металловедение и термическая обработка цветных сплавов. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2008. – 312 с.

7. Ильин А.А., Колачев Б.А., Польшин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства: Справочник – М.: ВИЛС – МАТИ, 2009. – 520 с.
8. McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology. Vol. 04 (CHE-COS) / Licker M.D. ed. – New York: McGraw-Hill. 2007. – 822 p.
9. Драгобецкий В.В., Загорянский В.Г., Загирняк В.Е. Расчет режимов сварки взрывом слоистой медно-алюминиевой композиции // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. № 13 (184). Ч. 1. – Луганськ: СНУ імені Володимира Даля, 2012. С. 60 – 69.
10. Конон Ю.А., Первухин Е.Б., Пинаев В.Г. Износостойкий биметалл сталь 45+Х6Ф1, полученный сваркой взрывом с последующей горячей прокаткой (структура и свойства) – В кн.: Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавка в машиностроении и ремонте. – К.: ИЭС им. Е.О. Патона, 1981. С. 59 – 63.
11. Горбатюк С.М., Осадчий В.А., Туктаров Е.З. Расчет геометрических параметров винтовой прокатки с помощью системы автоматизированного проектирования Autodesk Inventor // Металлург. 2011. № 8. С. 32 – 34.

© 2014 г. Драгобецкий В.В., Шановал А.А.,
Загорянский В.Г.
Поступила 20 октября 2014 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA – FERROUS METALLURGY. 2015. Vol. 58. No. 1, pp. 44–48.

DEVELOPMENT OF ELEMENTS OF PERSONAL PROTECTION EQUIPMENT OF NEW GENERATION ON THE BASIS OF LAYERED METAL COMPOSITION

Dragobetskii V.V., Dr. Sci. (Eng.), Professor
Shapoval A.A., Cand. Sci. (Eng.) (tungsten@yandex.ru)
Zagoryanskii V.G., Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor

Kremenchuk Mykhailo Ostohradskyi National University
(20, Pershotravneva Street, Kremenchuk, 39600, Ukraine)

Abstract. The article presents the results of investigation of the explosion welding of strips of spring steel with some sheet metals. The selection of metals and their properties are grounded. The results of the shooting of the compositions are presented. Recommendations for use of the compositions as armor elements and of selection of parameters of process for their production are given.

Keywords: welding explosion, spring carbon steel, aluminum, copper, titanium, strip, sheet, armour body.

REFERENCES

1. Grigoryan V.A., Kobylkin I.F., Marinin V.M., Chistyakov E.N. *Materialy i zashchitnye struktury dlya lokal'nogo i individual'nogo bronirovaniya* [Materials and protective structures for local and individual reservations]. Grigoryan V.A. ed. Moscow: Izd. RadioSoft, 2008. 406 p. (In Russ.).
2. Sil'nikov M.V., Khimichev V.A. *Sredstva individual'noi bronezaschchity* [Body armor]. St. Petersburg: Fond «Universitet», 2000. 480 p. (In Russ.).
3. Grigoryan V.A., Beloborod'ko A.N., Dorokhov N.S. etc. *Chastnye voprosy konechnoi ballistiki* [Private questions of ultimate ballistics]. Grigoryan V.A. ed. Moscow: Izd-vo MG TU im. N.E. Bauman, 2006. 592 p. (In Russ.).
4. *Tekhnicheskie sredstva obespecheniya zashchity i bezopasnosti.* (Ekipirovka, sredstva individual'noi bronezaschchity tela): *Uchebnoe posobie* [Means of protection and safety. (Equipment, personal

body armor body): Textbook]. Tolyatti: Elektronnyi dokument, 2010. 93 p. (In Russ.).

5. Arzamasov B.N., Sidorin I.I., Kosolapov G.F. etc. *Materialovedenie* [Materials Science]. Arzamasov B.N. ed. Moscow: Mashnostroenie, 1986. 384 p. (In Russ.).
6. Merkulova G.A. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka tsvetnykh splavov* [Metallurgy and heat treatment of non-ferrous alloys]. Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t, 2008. 312 p. (In Russ.).
7. Il'in A.A., Kolachev B.A., Pol'kin I.S. *Titanovye splavy. Sostav, struktura, svoistva. Spravochnik* [Titanium alloys. The composition, structure and properties. Directory]. Moscow: VILS – MATI, 2009. 520 p. (In Russ.).
8. McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology, 10th Edition, Vol. 04 (CHE-COS). Licker M.D. (Publisher). McGraw-Hill, New York, 2007. 822 p.
9. Dragobetskii V.V., Zagoryanskii V.G., Zagirnyak V.E. Calculation of welding explosion layered copper-aluminum composition. *Visnik Shkhidnoukrains'kogo natsional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalya.* no. 13 (184). Part. 1. Lugans'k: SNU imeni Volodimira Dalya, 2012, pp. 60–69. (In Russ.).
10. Konon Yu.A. *Iznosostoiki bimetall stal' 45 + Kh6F1, poluchennyyi svarkoi vzryvom s posleduyushchei goryachei prokatkoi (struktura i svoistva)* [Wear resistant steel bimetal 45 + H6F1 obtained by explosion welding followed by hot rolling (structure and properties)]. In: Konon Yu.A., Pervukhin E.B., Pinaev V.G. *Teoreticheskie i tekhnologicheskie osnovy naplavki. Naplavka v mashinostroenii i remonte* [Theoretical and technological fundamentals of surfacing. Surfacing in engineering and repair]. Kiev: IES im. E.O. Patona, 1981, pp. 59–63. (In Russ.).
11. Gorbatyuk S.M., Osadchii V.A., Tuktarov E.Z. Calculation of the geometric parameters of rotary rolling by using the automated design system Autodesk Inventor. *Metallurgist.* Vol. 55 Issue: 7–8, pp. 543–546.

Received October 20, 2014