

УДК 621.7

Драгобецький В. В.  
Шаповал О. О.  
Дука О. А.

## ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ІМПУЛЬСНОЇ МЕТАЛООБРОБКИ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЕЛЕМЕНТІВ ЛЕГКОГО БРОНЕЗАХИСТУ

Новим напрямком кардинального поліпшення балістичної стійкості захисних структур локального бронезахисту є розробка технології виготовлення матеріалів з новими хімічними та фазовими складами й структурами [1–12]. При цьому для отримання об'ємних наноматеріалів засобів бронезахисту використовують або порошкові технології, або одношарові й багатшарові нанотрубки [11]. Однак, наноматеріали й технології їх виробництва до цього часу надзвичайно коштовні.

Основні проблеми при вирішенні даного питання:

- 1) неможливість захисту від холодної зброї;
- 2) відсутність технології серійного виробництва біметалевої броні із зовнішнім високотвердим шаром 55...60 HRC й тильним в'язким шаром;
- 3) забезпечення залишкової міцності керамічної броні, тобто здатності зберігати живучість при попаданні декількох куль;
- 4) визначення оптимального співвідношення товщини шарів для біметалічної броні.

Використання жорсткого захисту від холодної зброї робить бронезилет важким і не ергономічним. Колючі предмети (ніж, багнет, шило, заточка) досить легко проникають крізь відомі гнучкі перепони: тканини з абразивним напиленням, тонколистий високоміцний алюміній, органопластики, казандріровані тканини з щільним плетінням та ін. [1–6, 12].

Розроблено гнучкий шаруватий захист односпрямованої структури з поздовжнім розташуванням металевих або скловолокон у розплавленій (сполучній) матриці. Схематичне зображення елементів представлено на рис. 1.

При попаданні гострого колючого предмета під зовнішню поверхню захисного елемента вістря проникає між армуючими елементами першого шару й впирається в поверхню другого шару. У результаті цього колюча частина холодної зброї зупиняється або ламається.

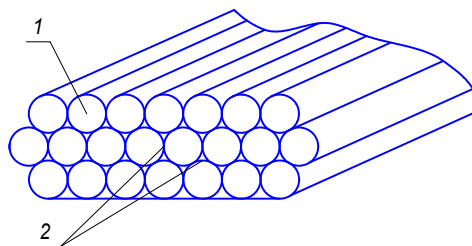


Рис. 1. Фото й схема односпрямованої структури:

1 – армуючий елемент (дріт); 2 – сполучна речовина

Рекомендований біметал, отриманий методом зварювання вибухом. Параметри зварювання вибухом підібрані таким чином, щоб крім міцного з'єднання шарів відбувалося формування оптимального фізичного стану поверхневого шару.

Для створення необхідних умов деформування швидкість детонації вибухової речовини, його маса та зварювальний зазор підбиралися таким чином. По-перше, деформації пластини, що метається, які виникають при її подвійному перегині повинні відповідати граничним рівномірним деформаціям [5]. По-друге, деформація в'язкого шару, яка виникає при зіткненні зварюваних пластин, також повинна відповідати граничним рівномірним деформаціям [10]. Виконання цих умов дозволило отримати бронезахисні шаруваті пластини (сталь-алюміній-сталь; титан-алюміній-титан) з високою балістичною стійкістю [4].

Було запропоновано використовувати в якості матеріалу шару високої твердості – сталь 65Г.

Сталь 65Г не коштовна й досить технологічна, застосовується для виробництва пружин, ресор та інших деталей, до яких надаються вимоги підвищеної зносостійкості й працюючих без ударних навантажень. Завдяки високому модулю пружності ця сталь застосовується для виготовлення жорстких (силових) пружних елементів, у тому числі й силових пружних елементів приладів [15].

Цікаво, що для виготовлення сердечників куль з підвищеною проникаючою здатністю (кулі з термічно зміцненим сердечником) застосовується близька за складом і властивостями сталь марки 70Г [14].

Твердість сталевих пластин зі сталі 65Г розмірами 350x45x6 мм у відпаленому стані становила 28...30 HRC, в загартованому стані – 50...55 HRC.

В якості плакування використовувалися такі метали:

- Алюміній АД0, пластини розмірами 350x135x6 мм;
- Сталь 3, пластини розмірами 350x45x2 мм;
- Сталь 3, пластини розмірами 350x45x1 мм;
- Мідь М1, пластини розмірами 350x135x1,5 мм;
- Титан ВТ22, пластини розмірами 234x135x3 мм.

Для плакування вибухом застосований деформуемий титановий сплав ВТ20, в якості вибухової речовини для плакування вибухом свіжоприготована суміш амоніту № 6ЖВ у співвідношенні 1: 1, застосовувалася багаторазово, що показала свою ефективність.

Зварюванням вибухом отримані наступні композиції (рис. 2):

- 1) сталь 65Г відпалена 2 пластини + пластина мідь М1 завтовшки 1,5 мм. Пластини сталі 65Г зварилися з міддю;
- 2) сталь 65Г відпалені 3 пластини + пластина алюмінію АД0 товщиною 6 мм. Всі три пластини сталі 65Г зварилися з алюмінієм;
- 3) отримана в п.2 композиція зварювалася з боку алюмінію з пластиною сталі 3. Всі три пластини зварилися по товщині;

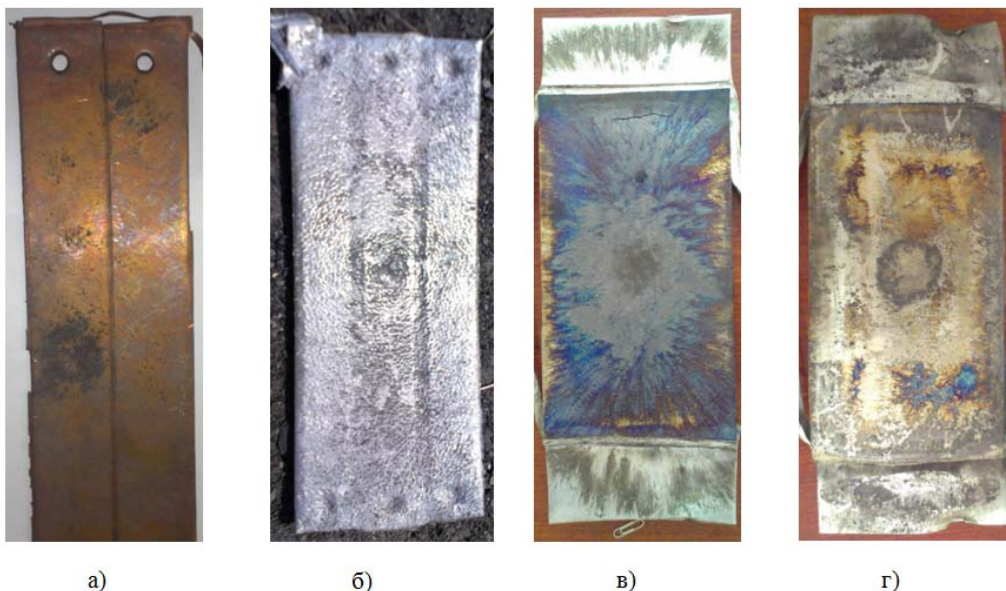


Рис. 2. Композиції, отримані зварюванням вибухом:

- а) пластини сталі 65Г, плаковані листовою міддю; б) пластини сталі 65Г, плаковані листовим алюмінієм; в) лист алюмінію, плакованих титаном (вид з одного боку); г) лист алюмінію, плакованих титаном (вид з іншого боку)

4) сталь 65Г загартована 3 пластини + пластина алюміній АД0 товщиною 6 мм + пластина сталі 3 (з боку алюмінію). Всі пластини зварилися по товщині;

5) чотирьохшаровий «сандвіч» титан + алюміній + титан + титан. Всі пластини надійно зварилися по товщині.

Технологічна переробка отриманих зварюванням вибухом заготовок бронепластин для отримання їх остаточних форми і товщини припускає гарячу прокатку заготовок. Дана технологія показала свою ефективність [13] і цілком прийнятна для обробки заготовок бронепластин.

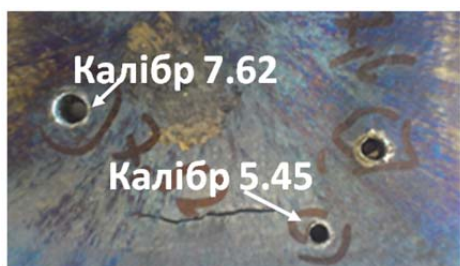
Технологія гарячої прокатки біметалів має свої особливості, що відрізняють її від прокатки монометалу. Зокрема, розрахунки проводилися за методикою [7] обтиснень по проходах та вимагають врахування відмінності властивостей складових композицій шарів. Методика розрахунку режиму обтиснень при гарячій пакетній прокатці біметалу «вуглецева сталь + нержавіюча сталь» дозволяє за вихідними даними (вихідні – товщина пакету і товщина плакуючого шару в ньому, товщина готового листа й плакуючого шару в ньому) призначити необхідну кількість проходів і обтиснення по проходах. Аналіз геометричних параметрів гарячої прокатки, ефективно проводити (при введенні додаткових умов і для випадку прокатки біметалічних композицій) за допомогою системи тривимірного твердотільного й поверхневого параметричного проектування Autodesk Inventor [9].

Результати прострілу отриманих зварюванням вибухом композицій наступні (рис. 3):

1) композиція сталь 65Г (гарт + відпустка, твердість 50 HRC) + алюміній АД0 + сталь 3. Вироблено два постріли: з відстані 50 м постріл кулею калібру 5,45 мм і з відстані 25 м постріл кулею калібру 7,62 мм зі сталевим термозміцненням сердечником. Обидві кулі загрузли в тілі пластини;

2) композиція титан ВТ20 + алюміній АД0 + титан ВТ20 + титан ВТ20. Зроблено три постріли: з відстані 50 м постріл кулею калібру 5,45 мм, з відстані 25 м постріл кулею калібру 5,45 мм і з відстані 25 м постріл кулею калібру 7,62 мм зі сталевим термозміцненням сердечником. Всі три кулі загрузли в тілі пластини.

Композиція зі сталі 65Г, плакованої міддю, свідомо неефективна в якості бронеелементів найвищих класів захисту (вище 2-го), а композиції із загартованої й відпущеної сталі 65Г, плакованої алюмінієм і сталлю 3, цілком прийнятні для цієї мети. Також прийнятні композиції з алюмінію, плакованого титаном, але стримуючим фактором є висока (в порівнянні з іншими застосовуваними металами) вартість листового титану.



а)



б)

Рис. 3 Композиції, отримані зварюванням вибухом, після прострілу:

а) пластини сталі 65Г, плаковані листовим алюмінієм і сталлю 3; б) лист алюмінію, плакований титаном

При ударному впливі куль й уламків рикошету не виникає. Куля застряє у в'язкому шарі композиції. Найкращі показники балістичної стійкості досягаються при використанні композицій з мартенсито-старіючих сталей, що володіють найбільш високою питомою міцністю й технічно чистого алюмінію.

Багатошаруваті композиції можуть успішно конкурувати з керамічними матеріалами, стійкими до впливу бронебійно-запальних куль.

У результаті проведення досліджень по малоінтенсивному імпульсному навантаженні шихти або попередньо опресованих і готових виробів з твердих сплавів отримана структура, монолітність якої значно перевищує монолітність виробів з відомих твердих сплавів.

Для оцінки балістичної стійкості шаруватого захисту вирішувалися за методикою [4] (чисельно й аналітично) завдання про удар циліндричного ударника по тришаровій пластині: високотвердий шар в'язкий – високо твердий шар, а саме сталь-алюміній-сталь і титан-алюміній-титан. Швидкість ударника  $800 \text{ мс}^{-1}$ . При вирішенні задачі оптимізації було враховано конструктивне обмеження, пов'язане з мінімізацією товщини в'язкого, менш міцного шару й постійністю суми товщин лицьового і тильного шарів.

Таким чином, від місця удару в матеріалі броні починає поширюватися плоска ударна хвиля, за якою матеріал знаходиться в стані плоского одновимірного руху.

Так для сталей, легованих марганцем, і високоміцних титанових сталей критична швидкість удару знаходиться в межах  $200\text{--}300 \text{ мс}^{-1}$ . Це гранична швидкість гальмування кулі, після проходження високотвердого й в'язкого шарів при зіткненні з тильним шаром. Однак у цьому рівнянні невідома швидкість кулі після пробивання високотвердого шару.

Рішення системи рівнянь знайдено методом прямих, що дало зробити висновок – необхідно використовувати шаруваті композиції захисту з тонким високоміцним лицьовим шаром і товстим – тильними.

В основу способу отримання шаруватої броні з високими амортизаційними характеристиками покладено завдання підвищення стійкості до ударних навантажень та захисних характеристик броньових елементів.

### ВИСНОВОК

При вирішенні проблем балістичної стійкості захисних структур локального бронезахисту:

- розроблена ефективна захисна структура від холодної зброї, що складається як мінімум з двох шарів поздовжніх жорстких елементів. При цьому поздовжні елементи другого шару знаходиться в промежині елементів першого шару.

- розроблено промислові технології отримання шаруватих бронепластин сталь-алюміній-сталь, титан-алюміній-титан. Наявність в'язкого шару забезпечує уловлювання кулі і відсутність осколків бронеелементів при ураженні.

Крім цього, встановлено, що:

- додаткове імпульсне навантаження малої інтенсивності заготовок з твердих сплавів призводить до зниження їх пористості і крихкості, що дозволяє багаторазово використовувати керамічні бронеелементи в бойових умовах;

- залежність дефекту імпульсу системи: куля шарувата перешкода від структурного параметра має яскраво виражений екстремум при малій товщині високоміцного лицьового шару.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

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. Средства индивидуальной бронезащиты* / М.В. Сильников, В.А. Химичев. – 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-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 592 с.
4. *Dragobetskii V.V. Development of Elements of Personal Protective Equipment of New Generation on the Basis of Layered Metal Compositions* / V.V. Dragobetskii, A.A. Shapoval, V.G. Zagoryanskii // *Steel in Translation*. – 2015. – Vol. 45. – Issue 1. – Allerton Press, Inc.. – P. 33–37.
5. *Shapoval A.A. Ensuring High Performance Characteristics For Explosion-Welded Bimetals* / A.A. Shapoval, D.V. Mos'pan & V.V. Dragobetskii // *Metallurgist*. – July 2016. – Volume 60. – Issue 3. – P. 313–317.
6. *Технические средства обеспечения защиты и безопасности. (Экипировка, средства индивидуальной бронезащиты тела): Учебное пособие.* – Тольятти: Электронный документ, 2010. – 93 с.
7. *Огородников В.А. Моделирование процессов обработки давлением на основе гипотезы о силовом и кинематическом подобии параметров деформирования* / В.А. Огородников, А. В. Грушко, И.А. Деревенько // *Обработка материалов давлением : сборник научных трудов.* – Краматорск : ДГМА, 2012. – №4 (33). – С. 46–52.
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. *Gorbatyuk S.M. Calculation Of The Geometric Parameters Of Rotary Rolling By Using The Automated Design System Autodesk Inventor* / S.M. Gorbatyuk, V.A. Osadchii, E.Z. Tuktarov // *Metallurgist*. – Volume 55. – Issue 7-8. – P. 543–546.

10. Kukhar V.V. *Experimental research of distribution of strains and stresses in work-piece at different modes of stretch-forging with rotation in combined dies* / V. V. Kukhar, O. V. Vasylevskiy // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2014. – № 3. – P. 71–78.
11. Альтман Ю. *Военные нанотехнологии* / Ю. Альтман. – М.: Техносфера, 2006. – 423 с.
12. *Совершенствование технологий взрывного компактирования порошковых смесей карбидов и кобальта* / В. В. Драгобецкий, Е. А. Наумова, В. В. Лотоус, Г. Л. Дубров, О. В. Гнатенко. – *Вісник НТУ«ХПІ»*. – 2013. – № 42 (1015). – С. 131–135.
13. Майборода В.П. *Скоростное деформирование конструкционных материалов* / В.П. Майборода, А.С. Кравчук, Н.Н. Хомин. – М.: Машиностроение, 1986. – 264 с.
14. *Технические средства обеспечения защиты и безопасности. (Экипировка, средства индивидуальной бронезащиты тела): Учебное пособие*. – Тольятти: Электронный документ, 2010. – 93 с.
15. *Материаловедение* / Б.Н. Арзамасов, И.И. Сидорин, Г.Ф. Косолапов и др.; Под общ. Ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.

## REFERENCES

1. *Materialy i zashhitnye struktury dlja lokal'nogo i individual'nogo bronirovanija* / V.A. Grigorjan, I.F. Kobylkin, V.M. Marinin, E.N. Chistjakov. Pod red. V.A. Grigorjana. – М.: Izd. RadioSoft, 2008. – 406 s.
2. *Sil'nikov M.V. Sredstva individual'noj bronzashhity* / M.V. Sil'nikov, V.A. Himichev. – SPb: Fond «Universitet», 2000. – 480 s.
3. *Chastnye voprosy konechnoj ballistiki* / V.A. Grigorjan, A. N. Beloborod'ko, N.S. Dorohov i dr.; pod red. V.A. Grigorjana. – М.: Izd-vo MGTU im. N. Je. Baumana, 2006. – 592 s.
4. *Dragobetskii V.V. Development of Elements of Personal Protective Equipment of New Generation on the Basis of Layered Metal Compositions* / V.V. Dragobetskii, A.A. Shapoval, V.G. Zagoryanskii // *Steel in Translation*. – 2015. – Vol. 45. – Issue 1. – Allerton Press, Inc.. – P. 33–37.
5. *Shapoval A.A. Ensuring High Performance Characteristics For Explosion-Welded Bimetals* / A.A. Shapoval, D.V. Mos'pan & V.V. Dragobetskii // *Metallurgist*. – July 2016. – Volume 60. – Issue 3. – P. 313–317.
6. *Tehnicheskie sredstva obespechenija zashhity i bezopasnosti. (Jekipirovka, sredstva individual'noj bronzashhity tela): Uchebnoe posobie*. – Tol'jatti: Jelektronnyj dokument, 2010. – 93 s.
7. *Ogorodnikov V.A. Modelirovanie processov obrabotki davleniem na osnove gipotezy o silovom i kinematicheskom podobii parametrov deformirovanija* / V.A. Ogorodnikov, A. V. Grushko, I.A. Dereven'ko // *Obrabotka materialov davlenim : sbornik nauchnyh trudov*. – Kramatorsk : DGMA, 2012. – №4 (33). – S. 46–52.
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. *Gorbatyuk S.M. Calculation Of The Geometric Parameters Of Rotary Rolling By Using The Automated Design System Autodesk Inventor* / S.M. Gorbatyuk, V.A. Osadchii, E.Z. Tuktarov // *Metallurgist*. – Volume 55. – Issue 7-8. – P. 543–546.
10. Kukhar V.V. *Experimental research of distribution of strains and stresses in work-piece at different modes of stretch-forging with rotation in combined dies* / V. V. Kukhar, O. V. Vasylevskiy // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2014. – № 3. – P. 71–78.
11. Альтман Ю. *Военные нанотехнологии* / Ю. Альтман. – М.: Техносфера, 2006. – 423 с.
12. *Совершенствование технологий взрывного компактирования порошковых смесей карбидов и кобальта* / В. В. Драгобецкий, Е. А. Наумова, В. В. Лотоус, Г. Л. Дубров, О. В. Гнатенко. – *Вісник НТУ«ХПІ»*. – 2013. – № 42 (1015). – С. 131–135.
13. Майборода В.П. *Скоростное деформирование конструкционных материалов* / В.П. Майборода, А.С. Кравчук, Н.Н. Хомин. – М.: Машиностроение, 1986. – 264 с.
14. *Технические средства обеспечения защиты и безопасности. (Экипировка, средства индивидуальной бронезащиты тела): Учебное пособие*. – Тольятти: Электронный документ, 2010. – 93 с.
15. *Материаловедение* / Б.Н. Арзамасов, И.И. Сидорин, Г.Ф. Косолапов и др.; Под обшх. Ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.

Драгобецкий В. В. – д-р техн. наук, проф., зав. каф. ТМ КрНУ

Шаповал О. О. – канд. техн. наук, доц. каф. ТМ КрНУ

Дука О. А. – магистр КрНУ

КрНУ – Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук.

E-mail: tungsten@yandex.ua

Статья поступила в редакцию 23.09.2016 г.