

УДК 531.58: 621.791.13

EDN [VCJIMG](#)



## Технологические аспекты применения способа сварки взрывом при изготовлении гетерогенных металлических материалов нового поколения

**Д.Б. Крюков\***, **А.О. Кривенков**, **С.Н. Чугунов**, **М.С. Гуськов**,  
**С.А. Миронов**

Пензенский государственный университет, ул. Красная, 40, Пенза, 440028,  
Россия

\*E-mail: [dabbkk@yandex.ru](mailto:dabbkk@yandex.ru)

**Аннотация.** Проведен анализ технологических способов получения гетерогенных металлических материалов. Обосновано применение технологии сварки взрывом при производстве гетерогенных материалов нового поколения. Показано разработанное авторами работы схемное решение по повышению прочностных показателей композитов за счет использования в их структуре перфорированных армирующих слоев. Дано обоснование практического использования полученных результатов.

**Ключевые слова:** сварка взрывом, гетерогенный металлический материал, прочность.

## Technological aspects of the application of the explosion welding method in the manufacture of heterogeneous metal materials of a new generation

**D.B. Kryukov\***, **A.O. Krivenkov**, **S.N. Chugunov**, **M.S. Guskov**,  
**S.A. Mironov**

Penza State University, Krasnaya str., 40, Penza, 440028, Russia

\*E-mail: [dabbkk@yandex.ru](mailto:dabbkk@yandex.ru)

**Abstract.** The analysis of technological methods for obtaining heterogeneous metallic materials is carried out. The application of explosion welding technology in the production of heterogeneous materials of a new generation is justified. The schematic solution developed by the authors of the work to increase the strength indicators of composites due to the use of perforated reinforcing layers in their structure is shown. The justification of the practical use of the obtained results is given.

**Keywords:** explosion welding, heterogeneous metal material, strength.

## 1. Введение

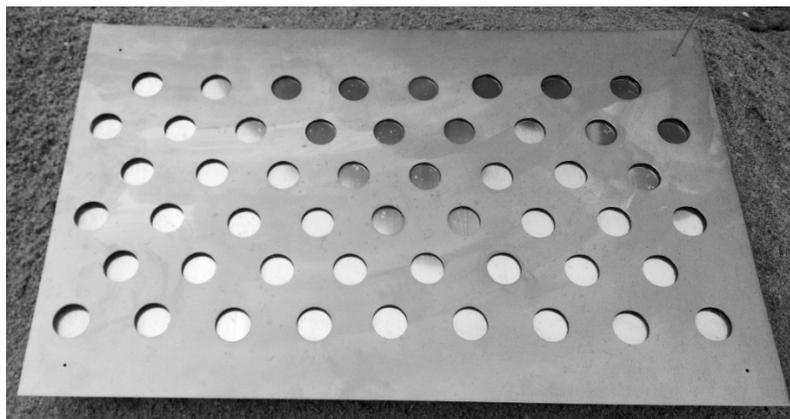
Основными технологическими трендами современного машиностроения является применение новых гетерогенных материалов, обладающих повышенным комплексом физико-механических свойств взамен традиционно используемых монометаллов. Гетерогенные металлические материалы широко используются как в химическом машиностроении, атомной энергетике, станкостроении, приборостроении, так и космической и оборонной сфере.

При проектировании и получении новых гетерогенных материалов главной проблемой является невозможность обеспечения качественного соединения разнородных металлов на межатомном уровне с равнопрочным соединением слоев между собой. Традиционно применяемые технологии формирования металлокомпозитов, такие как пакетная горячая прокатка, диффузионная сварка, наплавка и др., имеют ряд существенных ограничений [1-4].

В этой связи, в последние годы доминирующее место в этом направлении заняла технология сварки материалов взрывом, которая позволяет получать качественные металлические гетерогенные материалы с заданным комплексом физико-механических свойств. Технология сварки взрывом основана на использовании энергии ударных волн и сверхвысоких давлений для обеспечения межатомного контакта соединяемых материалов, а отсутствие существенного нагрева металла в зоне контакта слоев в технологическом цикле сварки, позволяет сваривать между собой металлы с различной температурой плавления.

## 2. Постановка задачи (Цель исследования)

Целью данного исследования является обоснование применения способа сварки взрывом при изготовлении гетерогенных металлических материалов нового поколения. Коллектив авторов статьи проводит исследования в области получения легких гетерогенных металлических материалов нового поколения для изготовления броней [5; 6]. В основу технологии положено запатентованное авторами схемное решение, предусматривающее использование в схеме гетерогенного материала внутренних перфорированных армирующих слоев, внешний вид которых приведен на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Установка армирующего перфорированного слоя в схеме гетерогенного металлического материала перед сваркой взрывом.

### 3. Полученные результаты

Проведена серия экспериментов по получению композиционного материала на основе сплавов алюминия и титана сваркой взрывом. Исследована микроструктура зоны сварного шва композита и определен комплекс основных физико-механических свойств.

Показано, что помимо повышения прочностных показателей армирующие слои в структуре композиционного материала выполняют роль слоев, локализирующих развитие хрупких трещин, возникающих при баллистическом воздействии на гетерогенный бронематериал. Благодаря тому, что в структуре композита имеется возможность контакта через перфорации между слоями металлической основы матрицы, локализация хрупких трещин происходит на их границе сохранением целостности конструкции.

Макроструктура гетерогенного материала приведена на рисунке 2.



**Рисунок 2.** Макроструктура гетерогенного материала.

### 4. Выводы

Таким образом, полученные авторами результаты позволяют говорить о том, что использование легких броневых материалов нового поколения, полученных с использованием технологии сварки взрывом, позволит существенно улучшить тактико-

технические характеристики бронированной техники как военного, так и гражданского назначения.

### **Благодарности**

Финансирование работ осуществляются при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Договор 4619ГС1/78340 от 27.07.2022 г.) в рамках реализации инновационного проекта «Разработка композиционного броневоего материала нового типа на основе легких металлов и сплавов».

### **Список литературы**

1. Medvedovski, E. Ceramic Armor and Armor Systems / E. Medvedovski. John Wiley & Sons, 2012. – P. 200. ISBN 111840680X, 9781118406809.
2. Григорян, В.А. Материалы и защитные структуры для локального и индивидуального бронирования / В.А. Григорян, И.Ф. Кобылкин, В.М. Маринин. –Москва: Изд. Радио Софт, 2008. – 406 с.
3. Hazell, P.J. The design of mosaic armour: the influence of tile size on ballistic performance / P.J. Hazell, C.J. Roberson, M. Moutinho // Materials and Design. – 2008. – Vol. 29. – P. 1497-1503.
4. Xiaogang Chen. Advanced Fibrous Composite Materials for Ballistic Protection / Xiaogang Chen // A volume in Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering. Second Edition. – 2016. – P. 548. <https://www.doi.org/10.1016/C2014-0-01733-9>
5. Крюков, Д.Б. Схемные решения, структура и свойства гетерогенных материалов / Д.Б. Крюков, А.О. Кривенков, С.Н. Чугунов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. – № 9(106). – С. 29-35. <https://www.doi.org/10.30987/1999-8775-2021-9-29-35>
6. Крюков, Д.Б. Структурные особенности и технология получения легких броневых композиционных материалов с механизмом локализации хрупких трещин / Д.Б. Крюков // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2022. – Т. 24(3). – С. 103-111. <https://www.doi.org/10.17212/1994-6309-2022-24.3-103-111>