

9. Yager, R. R. (1987). On the Dempster-Shafer framework and new combination rules. *Information Sciences*, 41 (2), 93–137. doi: [10.1016/0020-0255\(87\)90007-7](https://doi.org/10.1016/0020-0255(87)90007-7)
10. Yager, R. R. (1987). Quasi-associative operations in the combination of evidence. *Kybernetes*, 16 (1), 37–41. doi: [10.1108/eb005755](https://doi.org/10.1108/eb005755)

Поступила (received) 20.07.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Організація запобігання вторгнень в комп'ютерні мережі алгоритмами виявлення змін/ Балакін С. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 20(1242). – С.3–7. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Организация пресечения вторжений в компьютерные сети алгоритмами выявления изменений/ Балакин С. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 20(1242). – С.3–7. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Organization of prevention of intrusions in computer networks using algorithms for detecting changes / Balakin S. // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 20 (1242). – P.3–7. – Bibliogr.:10. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Балакін Сергій Вячеславович – аспірант, Київський національний авіаційний університет, аспірант Кафедри комп'ютерних систем та мереж; проспект Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 02000

Балакин Сергей Вячеславович – аспірант, Киевский национальный авиационный университет, аспірант Кафедри компьютерных систем и сетей; проспект Космонавта Комарова, 1, г. Киев, Украина, 02000; e-mail: desertq@mail.ua

Balakin Sergii – graduate student, Kyiv national aviation university; ave. Kosmonavta Komarova 1, Kyiv, Ukraine, 02000; e-mail: desertq@mail.ua

УДК 62-278

С. В. САВЧЕНКО, Г. С. ТИМЧИК

МЕТОД КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ СТАЛЕЙ ПОСРЕДСТВОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Рассматривается применение метода акустической эмиссии (АЭ) для контроля сварных соединений баллистических сталей АР. В основе метода лежит физическое явление излучения волн напряжений при быстрой локальной перестройке структуры материала. Исследование проводилось при снятии нагрузки с образца с применением широкополосных акустических пьезодатчиков и новой системой градуировки датчиков АЭ. Была выполнена стыковка системы градуировки с персональным компьютером, разработано специальное программное обеспечение, позволяющее в полуавтоматическом режиме получать амплитудно-частотную характеристику каждого датчика.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, контроль сварных швов, баллистическая сталь, пьезодатчик, неразрушающий контроль, средство защиты.

Розглядається застосування методу акустичної емісії (АЕ) для контролю зварних з'єднань балістичних сталей АР. В основі методу лежить фізичне явище випромінювання хвиль напружень при швидкій локальній перебудові структури матеріалу. Дослідження проводилося при знятті навантаження зі зразка із застосуванням широкосмугових акустичних п'єзодатчиків і новою системою градуювання датчиків АЕ. Була виконана стыковка системи градуювання з персональним комп'ютером, розроблено спеціальне програмне забезпечення, що дозволяє в напівавтоматичному режимі отримувати амплітудно-частотну характеристику кожного датчика.

Ключові слова: акустична емісія, контроль зварних швів, балістична сталь, п'єзодатчик, неруйнівний контроль, засіб захисту.

The application of the acoustic emission method (AE) for the control of welded joints of ballistic steel AR is considered. The method is based on the physical phenomenon of radiation of stress waves during fast local rearrangement of the material structure. The study was carried out with the removal of the load from the sample using broadband acoustic piezoelectric sensors and a new system for calibrating the AE sensors. The calibration system was mapped to a personal computer, special software was developed that allows the semi-automatic mode to obtain the amplitude-frequency response of each sensor.

The use of this method of finding weld defects gives high accuracy and efficiency and allows a tangible reduction in costs and production time. A promising direction is the development of methods for filtering the acoustic signal to increase the accuracy of the method of control.

Keywords: acoustic emission, control of welded joints, ballistic steel, piezoelectric sensor, non-destructive testing, protective equipment.

Введение. Военная промышленность и сфера, связанная с системой безопасности, являются лидерами по максимальному внедрению новейших технологий. Современное оружие дает толчок для развития новейших средств защиты от нее, среди которых баллистическая сталь один из самых ярких представителей. Армия, полиция, различные частные охранные

агентства, службы безопасности, а также инкассаторы - вот где используются как современные виды вооружений, так и системы защиты от них.

Изготовление баллистической стали и конструкций из нее, имеет ряд технологических сложностей. Одна из основных проблем это свариваемость этих

© С. В. Савченко, Г. С. Тимчик. 2017

сталей и сопутствующие проблемы которые при этом возникают.

Актуальной проблемой является диагностика качества сварных швов баллистической стали.

Постановка задачи. В настоящее время сварные соединения имеют широкое распространение во многих областях деятельности человека. Прочность сварных соединений при статических и ударных нагрузках доведена до прочности деталей из целого металла. Но, как и у любого соединения, сварка имеет ряд недостатков, которые могут возникать в тех или иных случаях. Существует много способов выявления дефектов сварных соединений, например, рентгеновский, ультразвуковой и др. У каждого метода есть свои преимущества и недостатки. Более точные методы зачастую очень сложны технически и не мобильны, а также включают материально затратное оборудование. Предложенный метод имеет свои преимущества, высокую точность и чувствительность. Но также есть и недостаток, это низкая помехоустойчивость.

Применение баллистической стали AR 500/560 для изготовления танковой защиты автомобилей является оптимальным решением. Благодаря своим механическим и химическим свойствам баллистическая сталь AR имеет отличное сочетание таких качеств как высокая твердость (HBW 480-580 по Бринеллю), отличная прочность, пластичность и вязкость. Соответствие стандартам основных мировых и украинских классификационных групп (ДСТУ 3975, EN1522, STANAG, VPAM.) гарантируют качество и надежность танковой «брони», произведенной из баллистической стали AR. Также значительным плюсом баллистической стали AR 500/560 является довольно простой химический состав, обеспечивающий легкую обработку и резку металла, как механическими методами, так и с помощью плазмы и лазера.

Бронированная сталь AR 500/560 является низколегированным сплавом толщиной от 2 до 40 мм, что способствует надежной баллистической защите (табл. 1, 2)

Таблица 1

Механические свойства

Название	Твердость (HB) (средняя)	Механические свойства EN 16002-2004			Ударная вязкость EN 10045-1:1904 KV(-40°C) min (J)
		Rm(Мпа)	Rp0,2	AS(%)	
AR 500	510	1500	1350	8.0	20
AR 560	570	1800	1600	6.5	15

Таблица 2

Химический состав стали AR

Название	Химический состав (анализ плавки), % (max значение)						
	C	Si	Mn	P	S	S+P	Другие
AR 500	0.32	0.60	1.60	0.020	0.010	0.025	Cr i B
AR 560	0.36	0.60	1.60	0.020	0.010	0.025	Cr i B

Результаты исследований. Контроль сварных швов баллистической стали с применением метода акустической эмиссии. Метод акустической эмиссии (АЭ) относится к акустическим методам неразрушающего контроля и технической диагностики. В основе метода лежит физическое явление излучения волн напряжений при быстрой локальной перестройке структуры материала. Источником акустическо-эмиссионной энергии служит переменное поле упругих напряжений от развивающихся дефектов. Для стимуляции дефектов излучения акустических волн объект, как правило, нагружают механическим или тепловым способом.

Наш объект исследования это контрольные пластины баллистической стали в нескольких толщинах и конфигурациях сварного шва (рис. 1)

Установка для контроля состояла из такого оборудования: гидравлический пресс с усилием в 10 т., широкополосный акустический пьезодатчик, динамометр, аналого-цифровой преобразователь модели E20-10, усилитель и амплитудный детектор, а также программное обеспечение Power Graph 3.3 Professional. Основным новым элементом рассматриваемой системы является широкополосный датчик АЭ.

Для исследования использовали новую систему градуировки датчиков АЭ, выполнили стыковку системы градуировки с персональным компьютером, разработали специальное программное обеспечение,

позволяющее в полуавтоматическом режиме получать амплитудно-частотную характеристику каждого датчика. Исследовали амплитудно-частотные характеристики датчиков различных конструкций и выбрали оптимальный вариант датчика акустической эмиссии с линейной амплитудно-частотной характеристикой – 200–1200 кГц.

В качестве демпфера использовали оригинальный материал (защищен патентом Украины), состоящий из частиц WC и TiNi, скрепленных эпоксидной смолой с отвердителем. Состав демпфера подобран так, что его акустический импеданс равен импедансу пьезокерамики, а демпфирующие свойства максимальны благодаря использованию мартенситного превращения TiNi с поглощением энергии. За счет этого удалось улучшить демпфирующие свойства демпфера в 1,5–2 раза. В совокупности это позволило значительно уменьшить резонансные пики, исключить паразитные отраженные сигналы с тыльной стороны пластины и от корпуса датчика, уменьшить неравномерность амплитудно-частотной характеристики с 23 до 8,5 дБ.

Искажения формы сигналов АЭ связаны с нелинейностью АЧХ пьезоэлемента датчика АЭ. Уменьшить нелинейность АЧХ можно путем механического демпфирования пьезоэлемента, а именно использования для этого наполнителя с характеристическим импедансом, близким к импедансу пьезоэлемента.

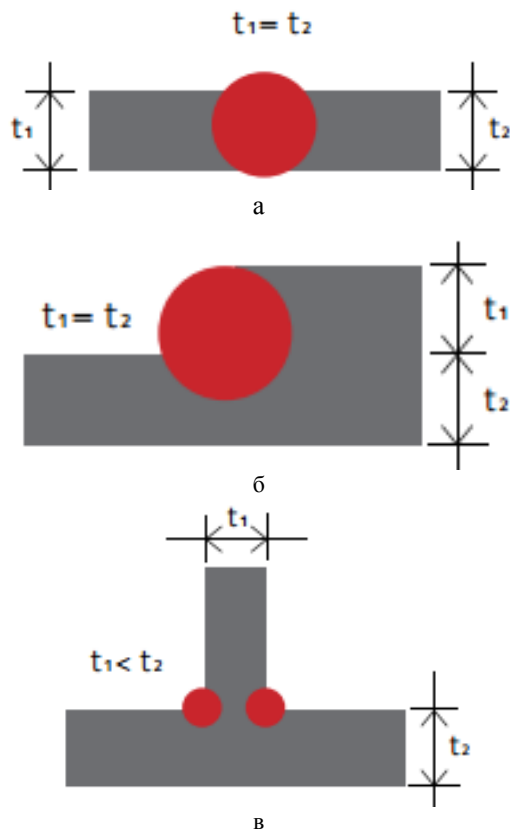


Рис. 1 – Конфигурации сварного соединения баллистической стали: а – прямой; б – разная толщина листов; в – угловое соединение

Введение карбида вольфрама как наполнителя в состав материала демпфера позволило получить материал с высокими демпфирующими свойствами. Частицы карбида вольфрама размером 1–10 мкм, хаотично размещенные в композиционном материале, хорошо поглощали акустические волны в рабочей полосе частот, за счет чего выровнялась АЧХ датчика АЭ. Конструкция широкополосного датчика АЭ позволила уменьшить нелинейность АЧХ на 20 % в диапазоне рабочих частот приемосулицельного

тракта (0,1–2,0 МГц) по сравнению с традиционными датчиками [1].

В нашем случае при контроле сварных соединений, элемент нагружается до его выбранного диапазона, который находится в 0,7–0,8 предела текучести материала, и быстро разгружается, при этом считывается сигнал акустической эмиссии.

Оценка качества сварного шва производится по таким характеристикам полученного акустосигнала:

1. амплитуда акустосигнала h – как его мощность;
2. Угол наклона линии затухания сигнала – α ;
3. время генерирования сигнала при разгрузке – t_p .

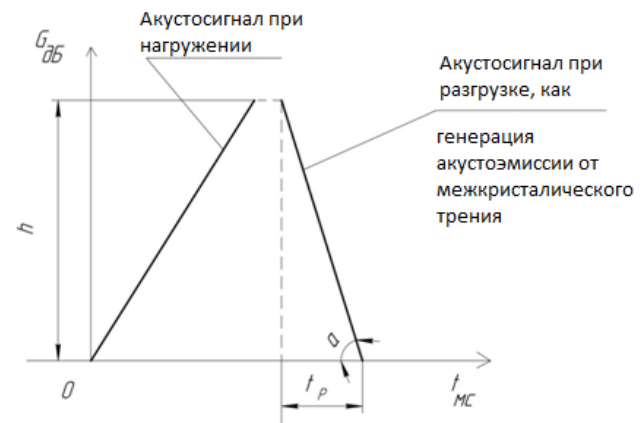


Рис. 2 – Диаграмма акустосигнала при исследовании образца

Выводы. В основе разрабатываемого метода лежит тщательное изучение характеристик сварных соединений для выявления дефектов. Использование данного метода нахождения сварных дефектов дает высокую точность и эффективность и позволяет ощутимо сократить затраты и производственное время. Перспективным направлением является разработка методов фильтрации акустосигнала для увеличения точности метода контроля.

Список литературы:

1. Ремшев, Е. Ю. Обеспечение эксплуатационной надежности упругих элементов акустическими методами [Текст] / Е. Ю. Ремшев, Г. А. Данилин, Г. А. Воробьева, М. Ю. Силаев. – СПб.: Металлург, 2015. – 250 с.
2. Троицкий, В. А. Краткое пособие по контролю качества сварных соединений [Текст] / В. А. Троицкий. – Киев: Феникс, 2006. – 177 с.
3. Волченко, В. Н. Контроль качества сварки [Текст] / В. Н. Волченко. – М.: Машиностроение, 1975. – 328 с.
4. Макарова, Л. Сварка и свариваемые материалы [Текст] / Л. Макарова. – М.: Metallurgiya, 1991. – 528 с.
5. Фролов, В. В. Теория сварочных процессов [Текст] / В. В. Фролов. – М.: Высшая школа, 1988. – 559 с.
6. Волченко, В. Н. Контроль качества сварных конструкций [Текст] / В. Н. Волченко. – М.: Машиностроение, 1986. – 152 с.
7. Алешин, Н. П. Контроль качества сварочных работ [Текст] / Н. П. Алешин, В. Г. Щербинский. – М.: Высш. шк., 1986. – 207 с.
8. Алешин, Н. П. Радиационная, ультразвуковая и магнитная дефектоскопия металлоизделий [Текст] / Н. П. Алешин, В. Г. Щербинский. – М.: Высш. шк., 1991. – 271 с.
9. Еремичев, А. А. Диагностика сварных соединений [Текст] / А. А. Еремичев. – Тольятти, 2006. – 82 с.
10. Троицкий, В. А. Неразрушающий контроль качества сварных конструкций [Текст] / В. А. Троицкий, В. П. Радько, В. Г. Демидко, В. Т. Бобров. – К.: Техника, 1986. – 159 с.
11. Щербинский, В. Г. Методы дефектоскопии сварных соединений [Текст] / В. Г. Щербинский, В. А. Феоктистов, В. А. Полевик и др. – М.: Машиностроение, 1987. – 336 с.

Bibliography (transliterated):

1. Remshev, E. Yu., Danilin, G. A., Vorob'eva, G. A., Silaev, M. Yu. (2015). Obespechenie ehkspluatacionnoj nadezhnosti uprugih ehlementov akusticheskimi metodami. Sankt-Peterburg: Metallurg, 250.
2. Troickiy, V. A. (2006). Kratkoe posobie po kontrolyu kachestva svarnyh soedineniy. Kyiv: Feniks, 177.
3. Volchenko, V. N. (1975). Kontrol' kachestva svarki. Moscow: Mashinostroenie, 328.
4. Makarova, L. (1991). Svarka i svarivaemye materialy. Moscow: Metallurgiya, 528.
5. Frolov, V. V. (1988). Teoriya svarochnyh processov. Moscow: Vysshaya shkola, 559.
6. Volchenko, V. N. (1986). Kontrol' kachestva svarnyh konstrukciy. Moscow: Mashinostroenie, 152.

7. Aleshin, N. P., Shcherbinskiy, V. G. (1986). Kontrol' kachestva svarochnykh rabot. Moscow: Vyssh. shk., 207.
8. Aleshin, N. P., Shcherbinskiy, V. G. (1991). Radiacionnaya, ultrazvukovaya i magnitnaya defektoskopiya metalloizdeliy. Moscow: Vyssh. shk., 271.
9. Eremichev, A. A. (2006). Diagnostika svarnykh soedineniy. Tol'yatti, 82.
10. Troickiy, V. A., Rad'ko, V. P., Demidko, V. G., Bobrov, V. T. (1986). Nerazrushayushchiy kontrol' kachestva svarnykh konstrukciy. Kyiv: Tekhnika, 159.
11. Shcherbinskiy, V. G., Feoktistov, V. A., Polevik, V. A. et. al. (1987). Metody defektoskopii svarnykh soedineniy. Moscow: Mashinostroenie, 336.

Поступила (received) 06.07.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Метод контролю зварних з'єднань балістичних сталей за допомогою акустичної емісії / Савченко С. В., Тимчик Г. С. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 20(1242). – С.7–10. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Метод контролю зварних з'єднань балістичних сталей з допомогою акустичної емісії / Савченко С.В., Тимчик Г. С. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 20(1242). – С.7–10. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Method of control of wall compounds of ballistic steels based on acoustic emissions/ Savchenko S., Timchik G. // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2017. – № 20 (1242).– P.7–10. – Bibliogr.:11. – ISSN 2079-5459

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Савченко Сергій Васильович – аспірант, Кафедра виробництва приладів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», проспект Перемоги 37, м. Київ, Україна, 03056, e-mail: savchenko0102@ukr.net.

Тимчик Григорій Семенович – професор, декан приладобудівного факультету, доктор технічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», проспект Перемоги 37, м. Київ, Україна, 03056, e-mail deanpb@kpi.ua.

Савченко Сергей Васильевич – аспірант, Кафедра виробництва приборів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», проспект Перемоги 37, г. Київ, Україна., 03056, e-mail: savchenko0102@ukr.net.

Тимчик Григорий Семенович – професор, декан приборостроительного факультета, доктор технічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», проспект Перемоги 37, г. Київ, Україна., 03056, e-mail deanpb@kpi.ua.

Sergey Savchenko – postgraduate student, Department of Instrument Production, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute", 37, Peremohy ave., Kyiv, Ukraine, 03056, E-mail: savchenko0102@ukr.net.

Grigoriy Timchik – professor, dean of the Faculty of Instrument-Making, Doctor of Technical Sciences, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorskyi Kiev Polytechnic Institute", 37, Peremogy ave., Kyiv, Ukraine, 03056, e-mail deanpb@kpi.ua.