

УДК 621.9

**САВЧЕНКО С. В.**

Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

## **КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИБОРОВ ПО СИГНАЛУ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ РАЗГРУЗКЕ ОБРАЗЦА**

***Цель.** Нахождение взаимосвязи между сигналом акустической эмиссии в чувствительных упругих элементах, в данном случае упругих пластин (плоских пружин), при снятии с них нагрузки, и их характеристиками, для построения методики контроля.*

***Методика.** Использовано метод акустической эмиссии в основе которого улавливание и усиление звуковых колебаний, излучаемых дефектами, а также смещающимися дислокациями при нагружении конструкции и ее разгрузке.*

***Результаты.** Проведен эксперимент и получен сигнал акустической эмиссии при снятии нагрузки с исследуемого упругого элемента. Установлена закономерность между основными характеристиками упругих элементов и акустосигналом, который изменяется относительно нагружению объекта. Для наглядности приведены несколько диаграмм образцов из разных материалов.*

***Научная новизна.** Впервые использовано пьезоэлектрический датчик новой компоновки для исследования взаимосвязи параметров акустического сигнала и характеристик упругих элементов. Что позволило получить более качественные показания исследования акустосигнала.*

***Практичная значимость.** Значимость полученных результатов исследований заключается в совершенствовании дефектоскопии с применением акустических методов и возможности полного контроля упругих чувствительных элементов на стадии производства, что позволит сократить брак готовых изделий.*

***Ключевые слова:** упругий элемент; сигнал акустической эмиссии; широкополосный пьезоэлектрический датчик*

**Вступ.** На приборостроительных предприятиях большое внимание уделяют оценке качества материала и прогнозированию эксплуатационных характеристик готовых изделий. В настоящее время, как правило, осуществляется выборочный контроль качества изделий достаточно трудоемким методом визуального осмотра, не всегда гарантирующим надежный результат. Возможность прогнозирования качества готового изделия во времени (эксплуатационные свойства) также важна. Применяемые в настоящее время способы прогнозирования эксплуатационных характеристик приборостроительных изделий в большинстве своем разрушающие, основаны на результатах оценки выборочной партии изделий и связаны со значительными трудовыми и энергетическими затратами.

**Постановка задачи.** На стадии контроля предлагается внедрить методику, основанную на регистрации сигналов акустической эмиссии, которая позволит без больших затрат времени дать оценку качества поступившего изделия (упругого элемента), его соответствия требованиям, указанным в сертификате, подтверждающую отсутствие недопустимых дефектов.

Контроль упругих чувствительных элементов необходим для выявления недопустимых неоднородностей, пустот и трещин на поверхности и внутри в соответствии с сертификатом химического состава, механических свойств и микроструктуры. Обнаружение трещин осуществляется методом ультразвуковой дефектоскопии, но ввиду особенностей УЗ-метода невозможно контролировать качество тонких пластин и проволоки размерами меньше 3-4 мм. В

связи с этим актуальны решение задачи комплексного контроля и разработка неразрушающего способа оценки качества плоских упругих элементов.

Интерес для производства представляет установление закономерностей между параметрами акустической эмиссии и микроструктурой исходного материала и готовых изделий (упругих элементов из рессорно-пружинных сталей 65Г, 60С2А и 65С2ВА).

Акустические методы основаны на регистрации параметров упругих колебаний, возбужденных в контролируемой конструкции. Колебания возбуждаются обычно в ультразвуковом диапазоне (что уменьшает помехи) с помощью пьезометрического или электромагнитного преобразователя, удара по конструкции, а также при изменении структуры самой конструкции вследствие приложения нагрузки.

Весьма перспективным в дефектоскопии является метод акустической эмиссии (АЭ). Основой этого метода является улавливание и усиление звуковых колебаний, излучаемых дефектами, а также смещающимися дислокациями при нагружении конструкции. О наличии дефекта судят по появлению сигналов акустической эмиссии, об уровне напряженного состояния - по интенсивности сигналов акустической эмиссии (число сигналов в 1 с).

Итак, источником акустико-эмиссионной энергии служит поле упругих напряжений в материале. Без напряжений нет и эмиссии, поэтому АЭ контроль обычно проводится путем нагружения контролируемого объекта. Это может быть проверочный контроль, контроль изменений нагрузки во время работы объекта, испытания на усталость, ползучесть или комплексное нагружение. Очень часто конструкция нагружается произвольным способом. В этом случае использование АЭ контроля позволяет получать дополнительную ценную информацию о поведении конструкции под действием нагрузки. В других случаях эмиссия используется по причинам экономичности и безопасности; для таких задач разрабатываются специальные процедуры нагружения и тестирования [1].

Рассмотрим исследование по поиску взаимосвязи между параметрами акустической эмиссии и характеристиками готовых изделий. Для исследования было выбрано плоские пружины с геометрическими параметрами 300x30x3 мм. из пружинно рессорной сталей 65Г и нержавеющей инструментальной стали 12х18н9. Образцы обладают одинаковой геометрией, но разными упругими параметрами и рабочим диапазоном. Установка для контроля состояла из такого оборудования: гидравлический пресс с усилием в 10 т., широкополосный акустический пьезодатчик, динамометр, аналого-цифровой преобразователь модели Е20-10, усилитель и амплитудный детектор, а также программное обеспечение Power Graph 3.3 Professional. Схема автоматизированной системы контроля упругих чувствительных элементов представлена на Рис. 1.

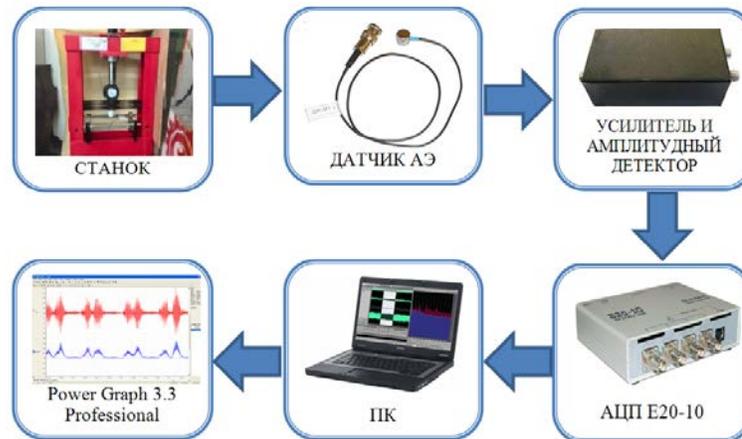


Рис.1. Основным новым элементом рассматриваемой системы является широкополосный датчик АЭ

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. Введение карбида вольфрама как наполнителя в состав материала демпфера позволило получить материал с высокими демпфирующими свойствами. Частички 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 приемоусилительного тракта (0,1–2,0 МГц) по сравнению с традиционными датчиками [3].

В нашем случае при контроле упругих чувствительных элементов, а именно плоских пружин (рессор) элемент нагружается до его рабочего диапазона, который находится в 0,7–0,8 предела текучести материала, и быстро разгружается, при этом считывается сигнал

акустической эмиссии. Полученный сигнал сравнивается с сигналом эталонного изделия и делается вывод, пригоден упругий элемент или отбракован.

Оценка качества упругих элементов производится по таким характеристикам полученного акустосигнала:

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

Был проведен эксперимент и получен сигнал акустической эмиссии при снятии нагрузки с исследуемого упругого элемента. Для наглядности приведем несколько диаграмм образцов из разных материалов. На диаграммах видно как изменяется амплитуда сигнала и угол затухания при наличии дефекта в образце.

На Рис.2. и Рис.3. диаграммы акустосигналы эталонной пластины из стали 65Г и образца с дефектом, соответственно.

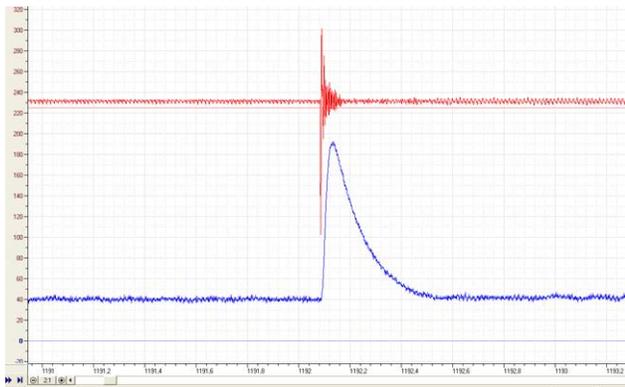


Рис.2.

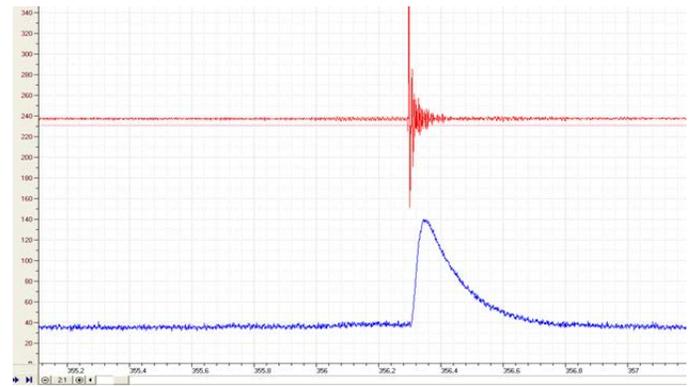


Рис.3.

На Рис.4. и Рис.5. сигналы акустической эмиссии образцов из стали 12x18н9, пригодного и дефектного соответственно.

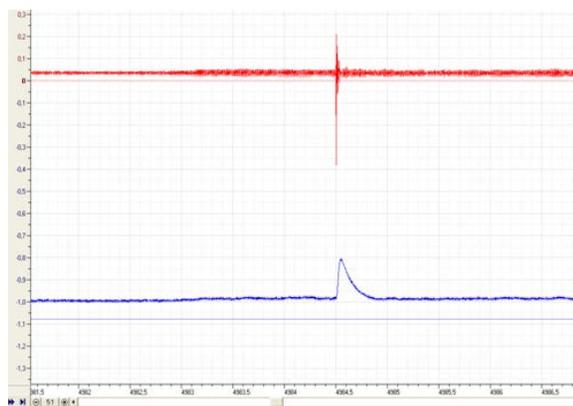


Рис.4.

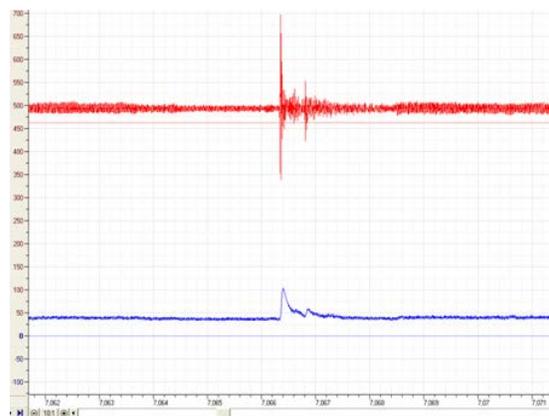


Рис.5.

На (Рис. 2–5) показаны диаграммы распространения сигнала АЭ, зависимость амплитуды сигнала АЭ от времени его распространения в теле образца.

Сравним параметры сигнала для наглядности.

для пластины №1:

- ✓  $h_1 = 196$  дБ
- ✓  $\tau_p = 0,29$  мс
- ✓  $\alpha = 82^\circ$

для пластины №2:

- ✓  $h_1 = 140$  дБ
- ✓  $\tau_p = 0,35$  мс
- ✓  $\alpha = 71^\circ$

для пластины №3:

- ✓  $h_1 = 96$  дБ
- ✓  $\tau_p = 0,21$  мс
- ✓  $\alpha = 62^\circ$

для пластины №4:

- ✓  $h_1 = 71$  дБ
- ✓  $\tau_p = 0,32$  мс
- ✓  $\alpha = 41^\circ$

При сравнительном анализе, видим, как изменяются параметры образцов при приложении одинаковой нагрузки, но с наличием и без наличия дефектов.

**Выводы.** Как вывод можно сказать, что зависимость между акустосигналом упругих чувствительных элементов приборов и их характеристиками существует и она достаточно четкая для построения методики контроля. Также изложенный метод может быть использован для дальнейшего изучения и развития управления качеством изготовления упругих элементов приборов.

#### Литература

- 1 Ремшев Е. Ю. Обеспечение эксплуатационной надежности упругих элементов акустическими методами / Е. Ю. Ремшев, Г. А. Данилин, Г. А. Воробьева, М. Ю. Силаев. – Спб.: Металург, 2015. – 250 с.
- 2 Маричев С. Н. Технология изготовления упругих элементов приборов : учеб. пособие / С. Н. Маричев ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. – 36 с.
- 3 Андреева Л. А. Сильфоны. Расчет и проектирование. Под ред. Л. Е. Андреевой. М., «Машиностроение», 1975., 156 с.
- 4 Лясников А. В., Агеев Н. П., Кузнецов

#### References

- 1 Remshev E. Yu. (2015). *Obespechenie ekspluatatsionnoy nadezhnosti uprugih elementov akusticheskimi metodami* [Ensuring the operational reliability of elastic elements by acoustic methods]. Spb. : Metalurg [in Russian].
- 2 2. Marichev S. N. (2008). *Tehnologiya izgotovleniya uprugih elementov priborov : ucheb. Posobie* [Technology of manufacturing of elastic elements of devices]. Vladimir : Izd-vo Vladim. gos. un-ta [in Russian].
- 3 Andreeva L. A. (1975) *Silfonyi. Raschet i proektirovanie* [Bellows. Calculation and design] M: Mashynostroenye [in Russian]
- 4 Lyasnikov A. V., Ageev N. P., Kuznetsov D. P. i dr. (1995) *Soprotivlenie materialov plasticheskomu*

Д.П. и др. Сопротивление материалов пластическому деформированию в приложениях к процессам обработки металлов давлением. СПб.: Внешторгиздат, 1995. 527 с.

5 Никулин С. А., Ханжин В. Г. Мониторинг материалов, процессов и технологий методом акустической эмиссии // Митом. 1999. № 4. С. 40-48.

6 Семашко Н. А., Рощупкин В. В., Чернов А.И. и др. Оценка структурной эволюции металлических материалов в процессе деформации и разрушения по комплексным параметрам акустической эмиссии // Деформация и разрушение материалов. 2006. № 10. С. 36-40.

7 Кудря А. В., Марков Е. А. Классификация источников акустической эмиссии в тонкой пластине по различиям структуры сигналов // Деформация и разрушение материалов. 2008. № 6. С. 32-38.

8 Куксенко В. С., Нагинаев К. Е., Савельев В. Н., Рустамова М. З. Акустико-эмиссионный метод регистрации трещинообразования в реальных конструкциях // Деформация и разрушение материалов. 2009. № 9. С. 45-48.

*deformirovaniyu v prilozheniyah k protsessam obrabotki metallov davlenie* [Resistance of materials to plastic deformation in applications to processes of metal forming] SPb.: Vneshtorgizdat [in Russian]

5 Nikulin S. A., Hanzhin V. G. (1999) *Monitoring materialov, protsessov i tehnologiy metodom akusticheskoy emissii* [Monitoring of materials, processes and technologies by acoustic emission method] MiTOM. [in Russian]

6 Semashko N. A., Roschupkin V. V., Chernov A. I. i dr. (2006) *Otsenka strukturnoy evolyutsii metallicheskih materialov v protsesse deformatsii i razrusheniya po kompleksnyim parametram akusticheskoy emissii* [Evaluation of the structural evolution of metallic materials in the process of deformation and destruction by complex parameters of acoustic emission] // *Deformatsiya i razrushenie materialov*. # 10. [in Russian]

7 Kudrya A. V., Markov E. A. (2008) *Klassifikatsiya istochnikov akusticheskoy emissii v tonkoy plastine po razlichiyam struktury signalov* [Classification of sources of acoustic emission in a thin plate by differences in signal structure] *Deformatsiya i razrushenie materialov*. # 6. [in Russian]

8 8. Kuxenko V. S., Naginaev K. E., Savelev V. N., Rustamova M.Z. (2009) *Akustiko-emissionnyy metod registratsii treschinoobrazovaniya v realnykh konstruksiyah* [Acoustics-emission method for detecting crack formation in real structures] *Deformatsiya i razrushenie materialov*. # 9. [in Russian]

## КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИЛАДІВ ПО СИГНАЛУ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ПІД ЧАС РОЗВАНТАЖЕННЯ ЗРАЗКА САВЧЕНКО С. В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Мета.** Знаходження взаємозв'язку між сигналом акустичної емісії в чутливих пружних елементах, у даному випадку пружних пластин (плоских пружин), при знятті з них навантаження, і їх характеристиками, для побудови методики контролю.

**Методика.** Використано метод акустичної емісії в основі якого уловлювання та посилення звукових коливань, випромінюваних дефектами, а також зміщаються дислокаціями при навантаженні конструкції і її розвантаження.

**Результати.** Проведено експеримент і отриманий сигнал акустичної емісії при знятті навантаження з досліджуваного пружного елемента. Встановлено закономірність між основними характеристиками пружних елементів і акустосигналом, який змінюється щодо навантаженню об'єкта. Для наочності наведено кілька діаграм зразків з різних матеріалів.

**Наукова новизна.** Вперше використано п'єзоелектричний датчик нової компоновки для дослідження взаємозв'язку параметрів акустичного сигналу і характеристик пружних елементів. Що дозволило отримати більш якісні показання дослідження акустосигнала.

**Практична значимість.** *Значимість отриманих результатів досліджень полягає в удосконаленні дефектоскопії із застосуванням акустичних методів і можливості повного контролю пружних чутливих елементів на стадії виробництва, що дозволить скоротити шлюб готових виробів.*

**Ключові слова:** *пружний елемент; сигнал акустичної емісії; широкопasmовий п'єзоелектричний датчик*

## CONTROL OF QUALITY OF THE ELECTRICAL ELEMENTS OF THE ACOUSTIC EMISSION SIGNALING SYSTEMS AT THE TIME OF LOADING OF THE SAMPLE SAVCHENKO S.

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

**Goal.** *Finding the relationship between the acoustic emission signal in sensitive elastic elements, in this case elastic plates (flat springs), when removing the load from them, and their characteristics, for constructing a control technique.*

**Methodology.** *The method of acoustic emission is based on the capture and amplification of acoustic vibrations emitted by defects, as well as by dislocating dislocations when the structure is loaded and unloaded.*

**Results.** *An experiment was performed and an acoustic emission signal was obtained when the load from the elastic element under investigation was removed. A regularity is established between the main characteristics of the elastic elements and the acoustic signal, which varies with respect to the loading of the object. For clarity, several diagrams of samples from different materials are given.*

**Scientific novelty.** *For the first time, a piezoelectric sensor of a new layout was used to investigate the relationship between the parameters of an acoustic signal and the characteristics of elastic elements. This made it possible to obtain more qualitative indications of the study of the acoustic signal.*

**Practical significance.** *The significance of the obtained research results lies in the improvement of flaw detection with the use of acoustic methods and the possibility of complete control of elastic sensitive elements at the production stage, which will reduce the marriage of finished products.*

**Key words:** *elastic element; acoustic emission signal; broadband piezoelectric sensor.*