

УДК 620.111.3

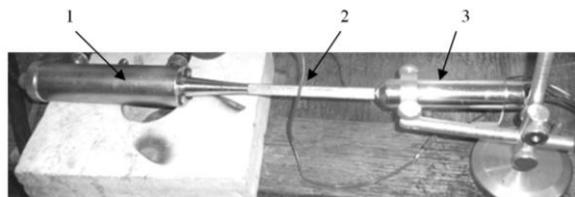
## ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА АКУСТИЧЕСКУЮ ЭМИССИЮ В СПЛАВЕ Д1

© А.Е. Волков, Е.В. Черняева, В.В. Рубаник, В.В. Рубаник мл., Ю.Н. Вьюненко

*Ключевые слова:* акустическая эмиссия; спектральный анализ; ультразвуковое облучение.

Изучено влияние двух режимов ультразвукового облучения (УЗО) на параметры акустической эмиссии (АЭ) при индентировании сплава Д1. Показано, что в зависимости от величины амплитуды ультразвуковых колебаний наблюдаются различия в поведении АЭ, что связывается с изменением в структуре материала при УЗО.

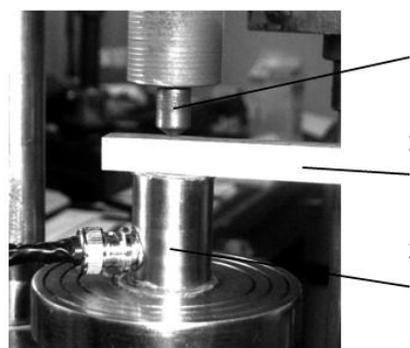
Настоящая работа посвящена изучению АЭ при индентировании образцов сплава Д1, предварительно подвергнутых УЗО в свободном состоянии. Длина образца соответствовала половине длины волны ультразвука в исследованном материале. При этом в образце создавалась стоячая волна продольных ультразвуковых колебаний. Общий вид акустического узла приведен на рис. 1. Облучение проводилось по двум режимам: I – «слабый» с частотой  $f = 22$  кГц и амплитудой  $A = 8$  мкм (максимальная амплитуда напряжения в образце  $\sigma_0 = 15$  МПа) и II – «сильный» с  $f = 21$  кГц и  $A = 20$  мкм ( $\sigma_0 = 37$  МПа).



**Рис. 1.** Установка для УЗО: 1 – магнестрикционный преобразователь; 2 – образец; 3 – емкостной датчик для измерения амплитуды колебательных смещений

Инициирование АЭ осуществляли путем внедрения твердосплавного конического индентора со скоростью 1,0 мм/мин. на испытательной машине ИМ-4А. Максимальная нагрузка на индентор составляла 1000 Н. Для регистрации и преобразования АЭ сигналов в электрические применяли широкополосный датчик АЭ MSAE-L2 и усилитель MSAE-FA010 с общим усилением 80 dB и полосой пропускаемых частот  $60 \div 1000$  кГц. Индентирование образца производили по всей длине образца непосредственно на датчике, как показано на рис. 2.

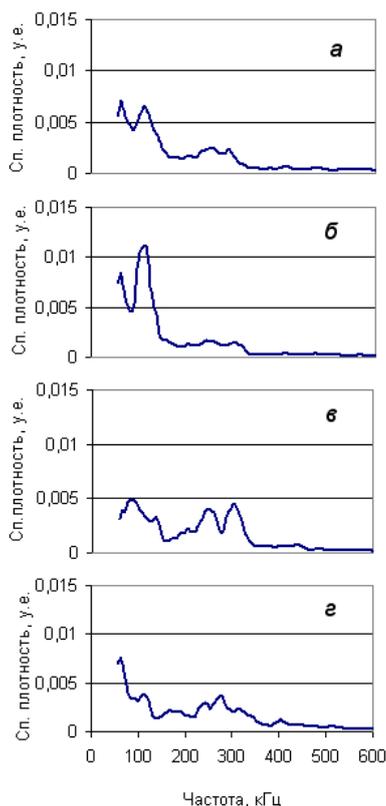
Для изучения параметров АЭ использовали спектральный анализ, т. е. для каждого зарегистрированного сигнала было применено быстрое распределение Фурье и построены кривые спектральной плотности мощности, которые в дальнейшем для краткости названы спектральными портретами или спектрами. Оценивалось также общее количество сигналов, их энергия и медианная частота, т. е. частота, делящая площадь под кривой спектральной плотности пополам.



**Рис. 2.** Внешний вид нагружающего устройства установки: 1 – нагружающее устройство с коническим индентором; 2 – образец; 3 – датчик АЭ

Во всех изученных случаях были зарегистрированы сигналы только одного вида, содержащие несколько пиков на кривой спектральной плотности мощности в диапазоне 60–400 кГц (рис. 3). Однако распределение энергии по этим пикам существенно зависело от режима ультразвуковой обработки и от места индентирования. Наибольшее изменение спектральных портретов всегда наблюдалось в центральной части образца, где в силу резонансных условий воздействие УЗО было максимальным. На рис. 3 приведены наиболее характерные для зоны максимального воздействия спектры АЭ. Видно, что  $50 \cdot 10^6$  циклов обработки по режиму I привело к увеличению доли низкочастотной составляющей (рис. 3б) относительно исходного (без облучения) состояния (рис. 3а). При этом в районе крепления вибратора и на свободном конце образца (рис. 1) АЭ была более высокочастотной, близкой к АЭ в необлученном состоянии. Противоположная картина наблюдалась при облучении «сильным» ультразвуком по режиму II. В этом случае в центре образца наблюдалось смещение спектров в область высоких частот (рис. 3в). Подобное явление было неоднократно зафиксировано в разных металлах после усталостных испытаний [1–3].

Изменение медианной частоты по длине образца для разных режимов облучения показано на рис. 4. Штриховые линии на графиках соответствуют уровню медианных частот в исходном металле.



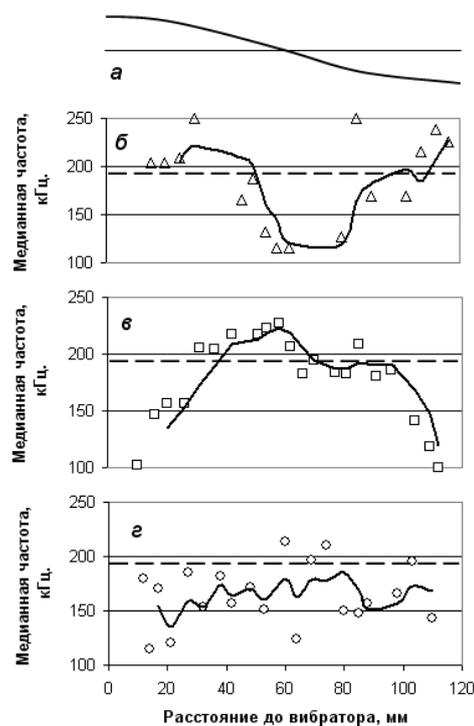
**Рис. 3.** Спектральные портреты АЭ при индентировании центральной части образцов в исходном состоянии (а) и после УЗО. б –  $50 \cdot 10^6$  циклов по режиму I ( $A = 8$  мкм), в –  $100 \cdot 10^6$  циклов по режиму II ( $A = 20$  мкм) и г –  $150 \cdot 10^6$  циклов по режиму I +  $500 \cdot 10^6$  циклов по режиму II

Из полученных данных можно сделать вывод, что воздействие «слабого» и «сильного» УЗО на сплав Д1 различно, что и приводит к разному влиянию его на параметры АЭ. Если сильный ультразвук вызывает типичную картину усталости металла (и, очевидно, в перспективе может привести к его разрушению), то слабый может стабилизировать состояние материала. Это предположение было проверено на образцах, предварительно облученных слабым ультразвуком, а потом сильным (рис. 3г и 4г). Видно, что после действия слабого УЗО даже длительное облучение мощным ультразвуком не вызывает признаков усталости (с точки зрения АЭ) материала. При этом наблюдается смещение спектров в область низких частот.

Во всех рассмотренных случаях количество сигналов АЭ и их энергия были примерно одинаковыми. Исключение составило только резкое увеличение (в 4 раза) количества сигналов АЭ в центре образца после сильного (режим II) УЗО, что также характерно для картины «усталости» [1–3].

Таким образом, спектральный анализ АЭ при индентировании позволяет оценить воздействие УЗО на металлические сплавы. Слабый и мощный ультразвук по-разному воздействуют на материал, вызывая смещение спектров АЭ, соответственно, в сторону низких или высоких частот. Увеличение высокочастотной составляющей в спектрах АЭ может служить индикатором усталости металла. При этом предварительно

облучение слабым ультразвуком может снизить негативное воздействие сильного, вызывающего усталость металла.



**Рис. 4.** Схема распределения механических смещений в образце (а) и изменение медианной частоты спектров АЭ по длине образцов, облученных по режимам I (б), II (в) и I + II (г). Параметры облучения как на рис. 3. Штриховые линии – уровень медианных частот в исходном металле

## ЛИТЕРАТУРА

1. Черняева Е.В., Мерсон Д.Л., Бигус Г.А., Галкин Д.И. Применение метода акустической эмиссии для неразрушающего контроля состояния основного металла и сварных соединений трубопроводов, работающих в условиях малоциклового усталости // Сварка и диагностика. 2010. № 2. С. 50-57.
2. Черняева Е.В., Мерсон Д.Л. Спектральный анализ акустической эмиссии как перспективный метод оценки состояния материалов // Перспективные технологии и методы контроля. Витебск: Изд-во УО «ВГТУ», 2009. С. 316-359.
3. Черняева Е.В., Галкин Д.И., Мерсон Д.Л. Влияние малоциклового усталости на спектральные характеристики акустической эмиссии в стали 20 // Сб. материалов 19 Петербургских чтений по проблемам прочности. 2010. Ч. 1. С. 131-133.

Поступила в редакцию 10 апреля 2013 г.

Volkov A.E., Chernyayeva E.V., Rubanik V.V., Rubanik V.V. jr., Vyunenko Y.N. EFFECT OF ULTRASONIC IRRADIATION ON ACOUSTIC EMISSION IN D1 ALLOY

Influence of two regimes of preliminary ultrasonic irradiation on the parameters of acoustic emission (AE) under indentation of D1 alloy is studied. It is shown that there are distinctions in AE spectra depending on the amplitude of ultrasonic vibrations, which are connected with the changes in the structure of the material under ultrasonic irradiation.

*Key words:* acoustic emission; spectral analysis; ultrasonic irradiation.