

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ СИНЕРГЕТИЧЕСКИ ОРГАНИЗОВАННОГО СИГНАЛА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ИСПЫТАНИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Савельев А.Н., Савельева Е.А.

Сибирский государственный индустриальный университет, г.Новокузнецк

Ключевые слова: надежность, акустическая эмиссия, дислокационные структуры, синергетически организованная эмиссия.

Аннотация. Предложен и испытан метод применения синергетически организованных сигналов акустической эмиссии для оценки процессов, протекающих в материалах на дислокационном уровне. Суть метода заключается в том, что при мелкоступенчатом нагружении материала реализуется одновременно два механизма, механизм накачки энергии в область расположения дислокаций и механизм формирования вдоль испытываемого образца управляющей коллективным выходом дислокаций упругой волны. Данный метод позволяет получать устойчивый с точки зрения его регистрации сигнал, дающий возможность оценивать протекающие при нагружении структурные процессы в материале.

THE MECHANISM OF FORMATION OF SYNERGETICALLY ORGANIZED SIGNAL OF ACOUSTIC EMISSION DURING TESTING OF STRUCTURAL MATERIALS

Savel'ev A.N., Savel'eva E.A.

Siberian state industrial university, Novokuznetsk

Keywords: reliability, acoustic emission, dislocation structures, synergistically organized emission.

Abstract. A method of using synergistically organized acoustic emission signals to evaluate the processes occurring in materials at a dislocation level is proposed and tested. The principle of the method is that in case of small-stage loading of the material, two mechanisms are realized simultaneously, a mechanism for pumping energy in the area of dislocations and a mechanism for the formation of a dislocation-guided elastic wave along the test sample. This method makes it possible to obtain a stable signal from the point of its registration, which makes it possible to evaluate the structural processes in the material under loading.

Одной из основных задач тяжелого машиностроения при создании и эксплуатации технологических изделий является обеспечение у них высоких показателей эксплуатационной надежности. Достижение надежности оборудования при его изготовлении связано с оперативной оценкой прочностных свойств конструкционных материалов и определении характера структурных изменений материала в процессе его нагружения. Последнее связано с тем, что ответственные тяжело нагруженные детали большинства технологических машин при эксплуатации подвергаются действию циклически изменяющихся во времени напряжений, что создает условия для особого вида разрушения, называемого усталостью. Усталостное разрушение происходит не мгновенно при достижении нагрузки на деталь предельных значений, а является длительным процессом накопления повреждений: зарождения и развития микротрещин с последующим объединением их в трещины. При этом необходимо иметь в виду тот факт, что

процессы, приводящие к разрушению материала, начинаются уже при первом его нагружении. Наличие метода, способного оценивать изменение структуры уже при первом нагружении материала позволяет значительно упростить оценку его прочностных характеристик.

Один из основных механизмов необратимого структурного изменения металлов и сплавов обусловлен движением и локализацией в них дислокаций. Именно они способствуют образованию усталостных трещин [1,2]. При этом наличие локальных полей напряжений вокруг дислокаций при достаточно высокой скорости их движения создают необходимые условия для возникновения акустической эмиссии [3-5]. Эмиссия волн напряжений является прямым откликом на процессы, происходящие в структуре материала, и отражает все протекающие в ней изменения. Акустический сигнал позволяет судить о величине и моменте возникновения того или иного вида повреждений, включая повреждения, возникающие при достижении нагрузки на материал, соответствующей очень важному для машиностроения показателю - пределу его выносливости. Однако регистрация и анализ этих единичных волн вызывает значительные трудности, связанные с тем, что они обладают низкой энергией и высокой частотой колебаний сигналов, распространение которых в реальных материалах обладает высоким декрементом затухания.

Из литературы [6] достаточно давно известно, что более высокую энергию упругих волн, а также более четкий сигнал акустической эмиссии, обеспечивает движение скоплений дислокаций. Возникает это тогда, когда при движении дислокаций происходит их местная задержка у различных препятствий, преодоление которых приводит к быстрым местным сдвигам. Накопленная при этом от группы дислокаций энергия освобождается в виде достаточно мощной для ее анализа упругой волны. Таким образом, усиление сигнала акустической эмиссии может быть достигнуто путем организации коллективного движения ряда дислокаций или путем синергетически организованной эмиссии на достаточно малом временном промежутке Δt .

Для такой организации сигнала были использованы синергетические представления об уже известных в физике на сегодняшний день коллективных эффектах.

Наиболее яркими примерами реализации синергетического процесса являются процессы, протекающие в лазерах и мазерах (рис. 1а,б) В них реализуется один и тот же механизм. Энергия, запасенная в результате заселенности высоких энергетических уровней носителями энергии – электронами или молекулами – высвобождается синхронно под воздействием входного сигнала, благодаря чему получается усиление энергии сигнала.

При использовании подобного механизма усиления сигнала акустической эмиссии в металлах носителем энергии выступают дислокационные структуры [7]. Энергетическое состояние дислокаций может быть увеличено путем увеличения потенциальной энергии среды, в которой существуют дислокации. Достигается это путем разделения всего возможного диапазона изменения потенциальной энергии материала на уровни с последующим ступенчатым увеличением напряжения материала на величину $\Delta\sigma$. Организация

одновременного процесса накачки энергии в область расположения дислокаций и процесса формирования управляющей коллективным выходом дислокаций упругой волны вдоль испытываемого образца реализуется путем мелкоступенчатого нагружения образца [7,8]. При мелкоступенчатом растяжении образца металла (рис. 1в), при каждом импульсном приросте напряжения активируется до максимального уровня очередная серия дислокаций n_i . Одновременно формируется и упругая волна напряжений, которая распространяется вдоль испытываемого на растяжение образца. Взаимодействие этой волны с дислокациями, которые были активированы во время предыдущего шага нагружения и которые находились к этому моменту в крайне возбужденном состоянии, обеспечивает их коллективное движение с коллективной эмиссией волн напряжений. Таким образом, внутренние процессы в металле, соответствующие данному уровню напряжений, устойчиво фиксируются при помощи регистрации амплитуды колебаний волн напряжений.

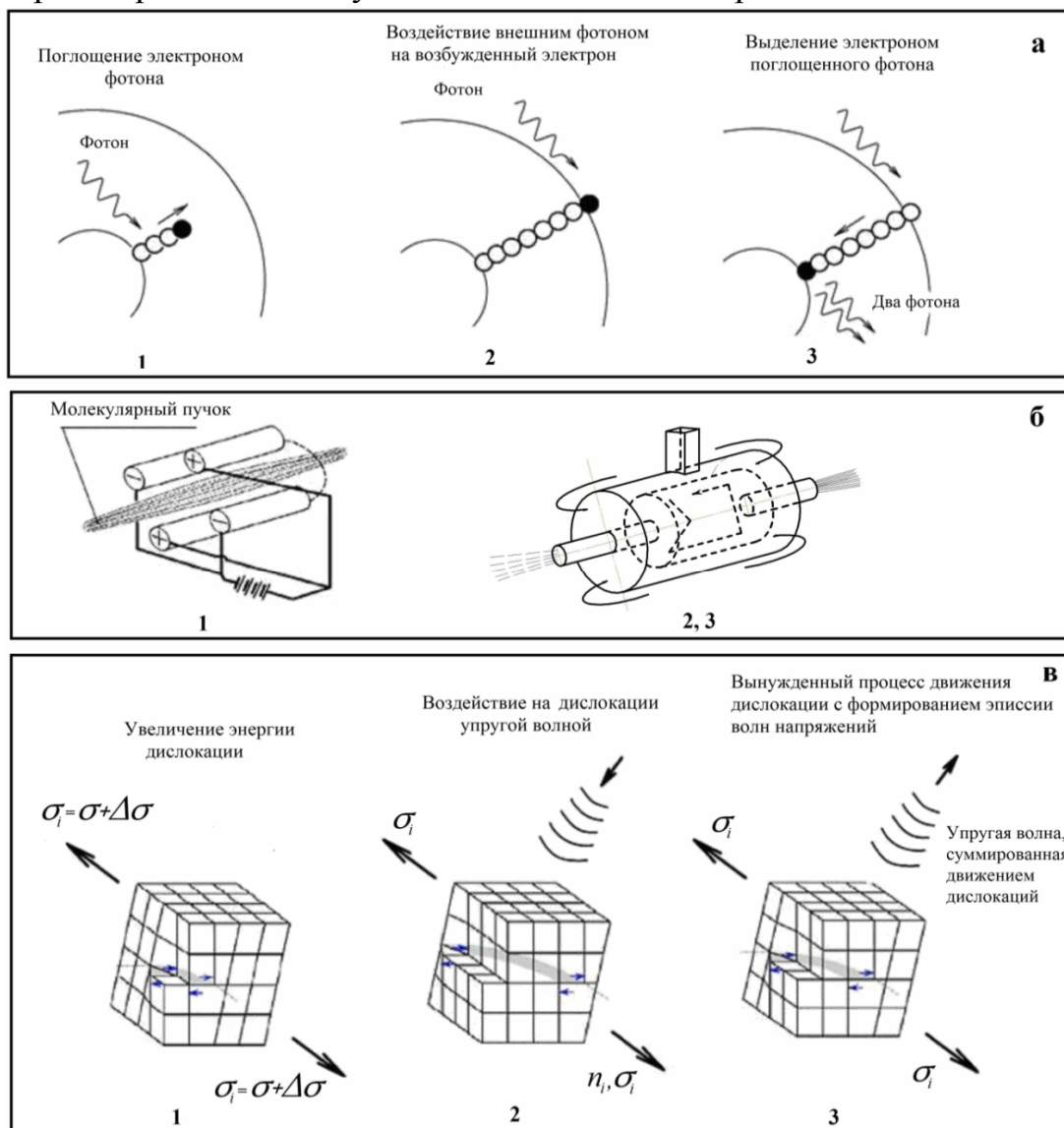


Рис. 1. Синергетический эффект организации сигнала на примере лазера и мазера и возможность его применения для организации суммарного сигнала акустической эмиссии: 1 – увеличение энергии у носителей энергии, 2 – воздействие на носители энергии управляющим сигналом, 3 – коллективное излучение потока энергии

Данный подход к организации мощного эмиссионного сигнала в металлических образцах был реализован в лабораторном эксперименте. В качестве испытательного стенда использовалась специальным образом модернизированная испытательная машина УММ-20. В этой машине была заменена часть элементов ее привода для обеспечения мелкоступенчатого движения плунжера привода при испытании образцов на растяжение. В опытах цилиндрические образцы диаметром 15 мм и длиной цилиндрической части 90 мм растягивались мелкоступенчато со средней скоростью 2,5 мм/с.

В результате каждого импульсного прироста напряжения внутренние процессы, соответствующие данному скачку напряжения в материале, фиксировались при помощи регистрации энергии волн напряжений. В качестве прибора, фиксирующего эмиссионный сигнал, использовался акселерометр КД-10. Величина сигнала характеризовала энергию каждого из суммарных импульсов эмиссии волн напряжений, а процесс, протекающий в материале, оценивался через интенсивность нарастания энергии этой волны. Далее, точки изменения роста амплитуд сигнала сопоставлялись с напряжением в теле образца. По характеру поведения кривой, огибающей величину амплитуд эмиссионного сигнала, достаточно четко выделяются силовые показатели растяжения образцов, такие, как предел выносливости, предел текучести и некоторые другие характеристики материала.

Вывод. Разработанный метод использования эффекта синергетически организованной эмиссии позволяет получать характеристики микродеформационных процессов на дислокационном уровне путем достаточно просто реализуемого испытания мелкоступенчатым растяжением образца материала.

Список литературы

1. Locati L. Le prove di fatica come ausilio alla prodetta sone ed alle predusioni // Metallurgia Italiana. 1955. 47, N9.
2. Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций / Пер. с англ. под ред. Надгорного Э.М. и Осипьяна Ю.А. – М.:Атомиздат, 1972. – 600 с.
3. Болотин Ю.И., Грешников В.А., Гусаков А.А., Дробот Ю.Б. Использование эмиссии волн напряжений для неразрушающего контроля материалов // Дефектоскопия. 1971. №6. С.5-25.
4. Грешников В.А., Дробот Ю.В., Акустическая эмиссия. Применение для испытаний материалов и изделий. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 272 с.
5. Frederick I.R. Dislocations motion as a source of acoustic emission // Acoustic Emission, ASTM STP-505, 1972, p. 129-139.
6. Pollock A.A. Stress-wave emission a new tool for industry // Ultrasonics, 1969, v.6, 32, p. 88-92.
7. Савельева А.Н., Савельева Е.А., Локтева Н.А. Оценка прочностных свойств материалов элементов технологических машин на основе синергетически организованных сигналов акустической эмиссии // Известия ВУЗов. Черная металлургия. 2017. Т.60, № 6. С. 443-450.
8. Патент №2555506 РФ. Способ регистрации сигналов акустической эмиссии / Савельева Е.А., Савельев А.Н. – Заявка 2014111709/28 от 26.03.2014; опубл. 10.07.2015, Бюл. №19.

Сведения об авторах:

Савельев Александр Николаевич – к.т.н., доцент, СибГИУ, г.Новокузнецк;

Савельева Елена Анатольевна – соискатель СибГИУ; ведущий инженер, ООО «НПО «Антрацит-машиностроение», г.Новокузнецк.