

**«EurasiaScience»**  
XXVII Международная научно-практическая конференция

15 февраля 2020  
Научно-издательский центр «Актуальность.РФ»

СБОРНИК СТАТЕЙ

Collected Papers  
XXVII International Scientific-Practical conference  
**«EurasiaScience»**

Research and Publishing Center  
«Actualnots.RF», Moscow, Russia  
February, 15, 2020

Moscow  
2020

УДК 00, 1, 33, 34, 36, 37,39, 50, 51, 57, 60, 61, 62, 63, 67, 68, 7

ББК 1

E91

EurasiaScience

E91 Сборник статей XXVII международной научно-практической конференции  
Москва: «Научно-издательский центр «Актуальность.РФ», 2020. – 308 с.  
ISBN 978-5-6043978-9-3

Книга представляет собой первую часть сборника статей XXVII международной научно-практической конференции «EurasiaScience» (Москва, 15 февраля 2020 г.). Представленные доклады отражают наиболее значительные достижения в области теоретической и прикладной науки. Книга рекомендована специалистам, преподавателям и студентам.

Сборник рецензируется членами оргкомитета. Издание включено в Elibrary согласно лицензионному договору 930-03/2015К.

**Организатор конференции:**

Научно-издательский центр «Актуальность.РФ»

**При информационной поддержке:**

Пензенского государственного университета

Федерального государственного унитарного предприятия «Информационное  
телеграфное агентство России (ИТАР-ТАСС)»

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

«Российская книжная палата»

Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU

Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

## РЕЗУЛЬТАТЫ СОПОСТАВЛЕНИЯ ВНУТРЕННИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В МАТЕРИАЛАХ, С СИГНАЛОМ СИНЕРГЕТИЧЕСКИ ОРГАНИЗОВАННОЙ ЭМИССИИ ВОЛН НАПРЯЖЕНИЙ.

*Савельева Е.А, Савельев А.Н, Анисимов Д.О.*

*Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк*

*Показана возможность использования метода синергетически организованной эмиссии волн напряжений для определения границ доминирования дислокационных субструктур в материале при его деформировании. Интенсивность возрастания сигнала акустической эмиссии может свидетельствовать о степени увеличения процентного содержания вновь формирующейся дислокационной структуры. Переход амплитуды эмиссии волн напряжений с возрастающего участка на стабильный дает возможность выделить значение предела выносливости материала. В конечном итоге метод синергетически организованной эмиссии является достаточно точным откликом на происходящие на уровне дислокаций процессы в материалах.*

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

Одним из способов инструментального контроля прочностных характеристик материалов в процессе изготовления машиностроительных изделий является метод, основанный на синергетически организованной эмиссии волн напряжений [1,2]. Этот метод позволяет определить характер процессов, происходящих в материале в течение одного акта его деформации растяжения, включая и явления, связанные с определением предела выносливости материала. Обеспечивается информация о протекающих в металле внутренних изменениях с помощью эмиссии волн напряжений, которая является прямым откликом на процессы, происходящие в структуре материала, и отражает все протекающие в ней изменения. Акустические сигналы представляют собой механические колебания амплитуда каждого из которых очень мала, а интенсивность сигналов размазана во времени и составляет от 0 до 105 импульсов в секунду, [3], что при прямой регистрации таких сигналов создает определенные трудности. В методе синергетической организации акустических сигналов. [1,2] сконцентрированный в достаточно малом временном периоде  $\Delta t$  акустический сигнал от ряда дислокаций становится достаточно мощным для его устойчивого восприятия приборами. В данной работе показана возможность использования метода на основе синергетически организованных сигналов акустической эмиссии для оценки вида и плотности дислокационных субструктур (ДСС), возникающих в процессе деформации материала..

В публикациях [4-6] показано, что по мере накопления в материале деформаций выделяются пороговые значения плотности дислокаций, определяющие изменение механизма формирования дислокационных субструктур. Наименее плотной дислокационной структурой в металлах при их растяжении является хаотическая, за которой следует клубковая ее форма. Переход от клубковой структуры к ячеистой происходит при плотности дислокаций порядка  $\rho = 10^{10} \text{см}^{-2}$ , затем, от ячеистой к полосовой - при плотности дислокаций  $\rho = 10^{12} \text{см}^{-2}$ , и при переходе от полосовой структуры к фрагментированной – плотность дислокаций соответствует  $\rho = 10^{14} \text{см}^{-2}$ . Таким образом, в достаточно большой степени сформированный один тип структуры дислокаций является предвестником перехода к новому лидирующему

типу формирования в материале дислокаций или микродефектов. При этом спонтанная перестройка дислокационной субструктуры предполагает спонтанную смену лидирующего механизма, ответственного за диссипацию энергии деформации и, соответственно, смену величины эмиссионного сигнала. А так как появление в системе иерархической последовательности дислокационных структур все новых и новых субструктур дислокаций, необходимых для организации диссипации упругой в материале энергии, является фундаментальным диссипативным механизмом упруго-пластичных материалов, то и изменение акустического сигнала, сопровождающего деформационные процессы в материале, также является закономерным. При этом диссипативные механизмы, контролирующие переход структуры из одного устойчивого состояния в другое, а также иерархическая смена диссипативных структур инвариантны к внешним условиям нагружения [7]. Это представление о поведении структуры металлов во время их нагружения, позволило, используя работу [2], сформировать новый подход к выявлению возникающих в материале дислокационных субструктур.

Основывается данный подход на том, что одним из основных механизмов необратимого структурного изменения металлов и сплавов при их деформации является движение и локализация в них дислокаций и формирование, таким образом, усталостных трещин [8,9]. При этом наличие локальных полей напряжений вокруг дислокаций при достаточно высокой скорости их движения создают необходимые условия для возникновения акустической эмиссии [12,13]. Информация, которую этот сигнал несет напрямую из точки локального повреждения материала, позволяет судить о величине и моменте возникновения того или иного вида повреждений или того или иного вида формирующихся при этом дислокационных субструктур.

Для сопоставления величины и характера акустических сигналов с дислокационными субструктурами, появляющимися при этом, были выполнены записи силовой, деформационной и акустической величин деформируемого материала. В процессе проведения опытов образцы подвергались мелкоступенчатому растяжению, в результате которого при каждом импульсном приросте напряжения внутренние процессы, соответствующие данному скачку напряжения в материале, фиксировались при помощи регистрации энергии волн напряжений. Величина сигнала характеризовала энергию каждого из суммарных импульсов эмиссии волн напряжений и оценивалась через интенсивность воздействия этой волны на прибор. Пример записи эмиссии волн напряжений, усилия и деформации образцов из стали 45 показан на рисунке 1а. Огибающая импульсов акустических сигналов, изображенная на рисунке 1,б, позволяет проанализировать характер этих сигналов и сравнить их со структурными изменениями в материале (рисунок 1,в). Относительные величины деформации материала  $\epsilon$ , и объемная доля, занятая в металле тем или иным типом дислокационной субструктуры в % по своей сути являются критериями подобия процессов, происходящих в металле на дислокационном уровне. Это позволяет сопоставить результаты, полученные в эксперименте с результатами оценки изменения субструктур дислокаций при деформации металла, полученными в работе [10].

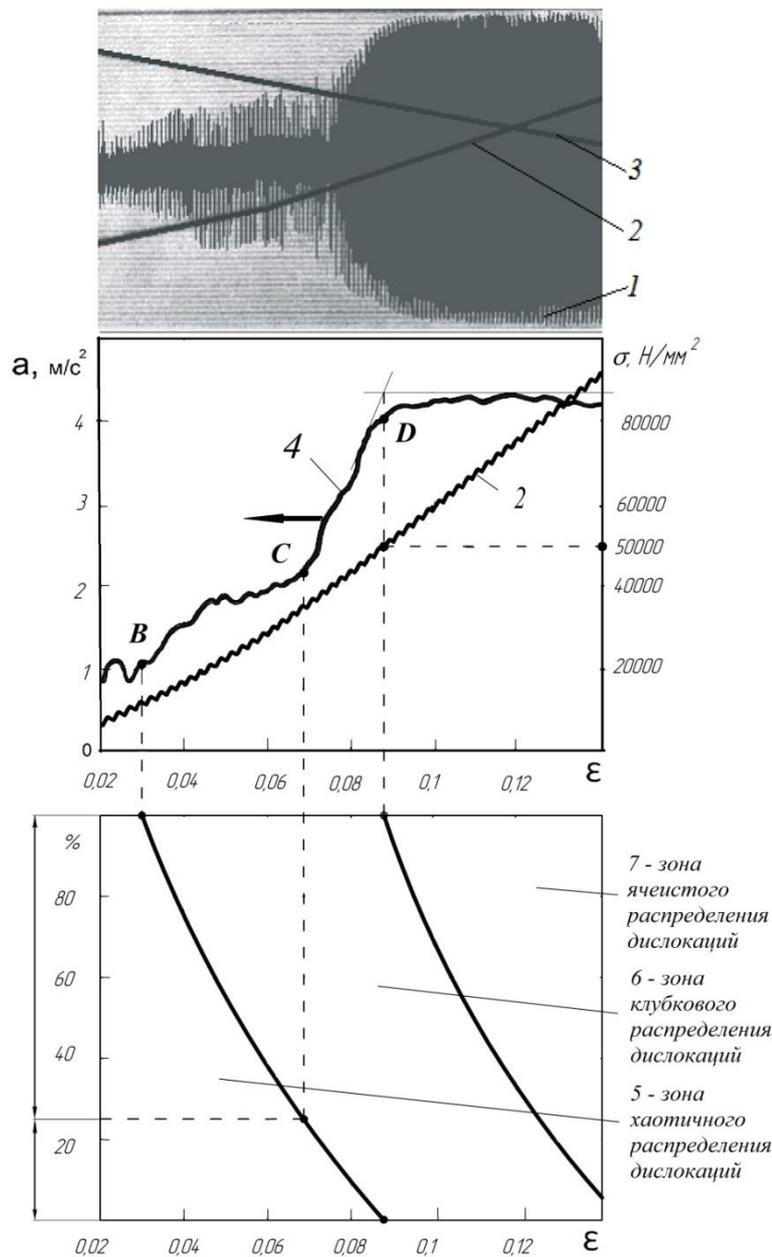


Рисунок 1. Осциллограмма записи акустических сигналов при квазиимпульсном нагружении образца 1 – величина сигнала эмиссии волн напряжений; 2 – величина напряжения в испытываемом образце; 3 – величина деформации образца; 4 – огибающая импульсов акустического сигнала; 5 – зона хаотического распределения дислокаций в образце; 6 – зона клубкового распределения дислокаций в образце.

Из рисунка 1 следует, что при достижении определенного момента в процессе растяжения образцов энергия эмиссионного сигнала начинает возрастать. Интенсивность нарастания сигнала эмиссии волн напряжений в процессе нагружения образцов неоднородна. На кривой изменения энергии сигнала ЭВН можно выделить 3 характерные точки. В точке В появляется первый изгиб огибающей кривой сигналов ЭВН. Эта точка соответствует относительной деформации образца  $\epsilon = 0.03$ ; где, согласно рисунка 1,в, начинается формирование из хаотической клубковая субструктура дислокаций. Вторая точка, точка С на рисунке 1,б, характеризует начало перехода от плавного возрастания величины эмиссионного

сигнала к более крутому его изменению. Эта точка соответствует значению  $\varepsilon = 0.07$ ; где клубковая структура в объеме деформируемого материала занимает более 75%. Третья точка  $D$  (рис. 1,б), – это точка перехода от участка крутого возрастания сигнала к его неизменной величине. Соответствует эта точка значению  $\varepsilon = 0.09$ . и совпадает с началом формирования ячеистой дислокационной субструктуры (рисунок 1,в). Для силовой оценки процесса деформации материала в точке  $D$  было определено напряжение материала в этой точке и сопоставлено со значением этой величины пересчитанным через предел прочности по зависимости, взятой из работы [11]. Результаты сопоставления напряжений показали, что напряжение в образце, соответствующее точке  $D$ , близко по величине значению предела выносливости  $\sigma_{-1}$  испытываемой стали. Полученный результат позволяет предположить, что напряжение предела выносливости соответствует моменту деформации материала, при котором клубковая дислокационная субструктура занимает весь объем материала и начинает формироваться ячеистая дислокационная субструктура. Эмиссия волн напряжений при этом переходит от этапа возрастания ее значения к этапу стабилизации этого значения. Это может означать, что если нагрузка возрастает до предела выносливости в зернах материала, начинается стабильное накопление поверхностных полос скольжения и, в конечном итоге, зарождение микротрещин [14,15,16]. При образовании каждой из полос скольжения выделяется в виде ЭВН однозначное по величине количество энергии.

Вывод. Таким образом, основываясь на том, что деформируемые металлы являются самоорганизующимися системами с реализацией на разных стадиях их нагружения различных диссипативных механизмов образующих соответствующие дислокационные структуры, в работе обозначена взаимосвязь интенсивности ЭВН со структурными особенностями ДСС. Одновременно, в работе сопоставлена интенсивность ЭВН с пределом выносливости материала. Результат сопоставления структурных и эмиссионных данных подтверждает тот факт, что использование синергетически организованной акустической эмиссии позволяет оценить внутренние процессы, происходящие в материалах на дислокационном уровне.

#### **Список литературы:**

1. Савельев А.Н., Савельева Е.А., Локтева Н.А. Оценка прочностных свойств материалов элементов технологических машин на основе синергетически организованных сигналов акустической эмиссии // Изв. вуз. Черная металлургия. 2017. Т. 60. № 6. С. 443 – 450.
2. Пат. № 2555506 РФ. Способ регистрации сигналов акустической эмиссии / Е.А. Савельева, А.Н. Савельев. Заявл. 26.03.2014. Бюл. № 19.
3. Нацик В. Д. Излучение звука дислокацией, выходящей на поверхность кристалла. – «Письма в ЖЭТФ», 1968, т. 8, вып. 6, с. 324-328.
4. Синергетика и фракталы в материаловедении / В.С. Иванова, А.С. Баланкин, И.Ж. Бунин, А.А. Охсотоев. – М.: Наука, 1995. – 280 с.
5. Конева Н.А., Лычагин Д.В., Жуковский С.П., Козлов Э.В. Эволюция дислокационной структуры и стадии пластического течения поликристаллического железоникелевого сплава // Физика металлов и металловедение. 1985. Т. 60. Вып. 1. С. 171 – 179.
6. Зуев Л.Б., Баранникова С.А. Физика прочности и экспериментальная механика: учебное пособие. – Новосибирск: Наука, 2011. – 350 с.
7. Гурьев А.В., Мишарев Г.М. Особенности процесса начальной стадии пластической деформации при статическом и циклическом нагружениях углеродистой стали // Металловедение и прочность материалов, том 3. Труды волгоградского политехнического института. Волгоград, 1971, с 56 – 64.

8. Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций. Перевод с англ. под ред. Надгорного Э. М. и Осипьяна Ю.А.. Атомиздат, 1972. – 600 с.
9. Конева Н.А., Лычагин Д.В., Жуковский С.П., Козлов Э.В. Эволюция дислокационной структуры и стадии пластического течения поликристаллического железоникелевого сплава // Физика металлов и металловедение. 1985. Т. 60. Вып. 1. С. 171 – 179.
10. Болотин Ю. И., Грешников В.А., Гусаков А.А., Дробот Ю.Б.. Использование эмиссии волн напряжений для неразрушающего контроля материалов. Дефектоскопия №6, 1971, с. 5-25.
11. Грешников В.А., Дробот Ю.В., Акустическая эмиссия. Применение для испытаний материалов и изделий. М.: Издательство стандартов, 1976. – 272 с.
12. Koneva N.A. Self-organization and phase transition in dislocation structure / N. A. Koneva et al. // In: Proc. of 9<sup>th</sup> ICSMA, Israel, Haifa 1991. Fluid Publ. Company LTD. London. – 1991 – P. 157-164.
13. Winter A.T. Dislocation microstructures in fatigue copper polycrystals [Text] / A.T. Winter, O.B. Pederson, K.V. Rasmussen // Acta met. – 1981. Vol. 29. – P.735-748.
14. Winter A.T. Dislocation structure in the interior of fatigued copper polycrystal [Text] / A.T. Winter // Acta met. – 1980. Vol. 28. – P.963-964.

## **RESULTS OF COMPARISON OF INTERNAL PROCESSES OCCURRING IN MATERIALS WITH THE SIGNAL OF SYNERGISTIC EFFECT OF STRESS WAVE EMISSION**

*Savel'eva E. A., Savel'ev A. N., Anisimov D.O.  
Siberian State Industrial University, Novokuznetsk*

*The possibility of using the method of synergistically organized acoustic emission signals to determine the boundaries of the domination of dislocation substructures in the material during its deformation is shown. The intensity of the increase in the acoustic emission signal may indicate the degree of increase in the percentage of the newly formed dislocation structure. The transition of the amplitude of the stress wave's emission from the increasing area to the stable makes it possible to distinguish the value of the endurance limit of the material. In the end, the method of synergistically organized emission is a fairly accurate response to the processes occurring at the level of dislocations in materials.*

*Key words: reliability, acoustic emission, dislocation structures, synergistically organized emission, endurance limit.*