

## Результаты

1. При деформировании сухих изначально целых образцов разрушение развивается по двухстадийному механизму: дисперсное накопление дефектов, локализация и развитие очага.

2. При деформировании водонасыщенных образцов происходит изменение механизма разрушения. Наиболее существенным оказывается влияние дефектов, имеющихся в образце до начала нагружения.

3. При разрушении по механизму stick-slip происходит разрушение стопоров, находящихся на берегах разлома. Поэтому для понимания развития таких процессов в Земной коре необходима информация о топографии разломов, которую можно получить методами зондирования.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 09-05-00639 –а) и ФЦП государственный контракт № 02.740.11.0315.*

## Список литературы

1. S. A. Stanchits, D. A. Lockner, and A. V. Ponomarev Anisotropic Changes in *P*-Wave Velocity and Attenuation during Deformation and Fluid Infiltration of Granite. // Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 93, No. 4, pp. 1803–1822, August 2003
2. Н. Г. Томилин, Е. Е. Дамаскинская, П. И. Павлов. Разрушение горных пород как многоуровневый процесс. // Физика земли, 2005, N 8, с. 69-78.
3. Мячкин В.И., Костров Б.В., Соболев Г.А., Шамина О.Г. Лабораторные и теоретические исследования процесса подготовки землетрясения. // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1974. – № 10. – С. 2526-2530.
4. Kuksenko V., N. Tomilin, E. Damaskinskaya, and D. Lockner, A two-stage model of fracture of rocks. // Pure Appl. Geophys.- 1996. - v.146, N2 - p.253-263.
5. Берштейн В.А., Никитин В.В., Степанов В.А., Шамрей Л.М. Гидролитический механизм разрушения стекла под нагрузкой. // ФТТ. – 1973. – Т. 15. – Вып. 11. – С. 3260-3265.

## АВТОГЕНЕРАЦИЯ КОЛЕБАНИЙ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДИАПАЗОНА НА УРОВНЕ НАНОСТРУКТУРЫ СТАЛИ ПРИ МНОГОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ

Кольцун Ю. И.<sup>1</sup>, Хибник Т. А.<sup>1</sup>, Шептунова Н. А.<sup>2</sup>, Арестова М. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ГОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королева» (СГАУ), г.Самара, Россия,  
[koltoun\\_y.i@mail.ru](mailto:koltoun_y.i@mail.ru)

<sup>2</sup> Институт энергетики и транспорта СГАУ, г.Самара, Россия.

Траектория роста усталостной трещины определяется развитием области пластических деформаций в её устье как в глубь материала вдоль нормали к поверхности, так и в противоположных направлениях, перпендикулярной этой нормали. В этом случае фрактографический рисунок линии фронта усталостной трещины в зависимости от факторов внешнего воздействия становится различным. Фрактография траектории линии фронта усталостной трещины наиболее наглядна при испытаниях стальных образцов по типу III ГОСТ 25.506-85г. Как известно, определение коэффициента интенсивности напряжений в таких образцах основано на определении осредненной глубины усталостной трещины по пяти точкам на дугообразной линии фронта.

Испытания образцов из стали 45 и легированного сплава 30ХГСА на сервогидравлической машине INSTRON-8800 в условиях сложного сопротивления при внецентренном растяжении с коэффициентом асимметрии 0,1...0,2 на различных частотах внешнего нагружения от 19,5 Гц до 100 Гц [1] на базе  $(50...150)10^3$  циклов показали, что линии фронта первоначальной усталостной трещины, после которой происходит лавинообразное разрушение, имеют характерный гармонический рисунок. На рис.1 представлены фотографические изображения изломов испытанных образцов, на которых цифрой 1 обозначена усталостная (медленнорастущая) трещина, цифрой 2 – зона интенсивного разрушения или магистральная трещина, цифрой 3 – зона долома.

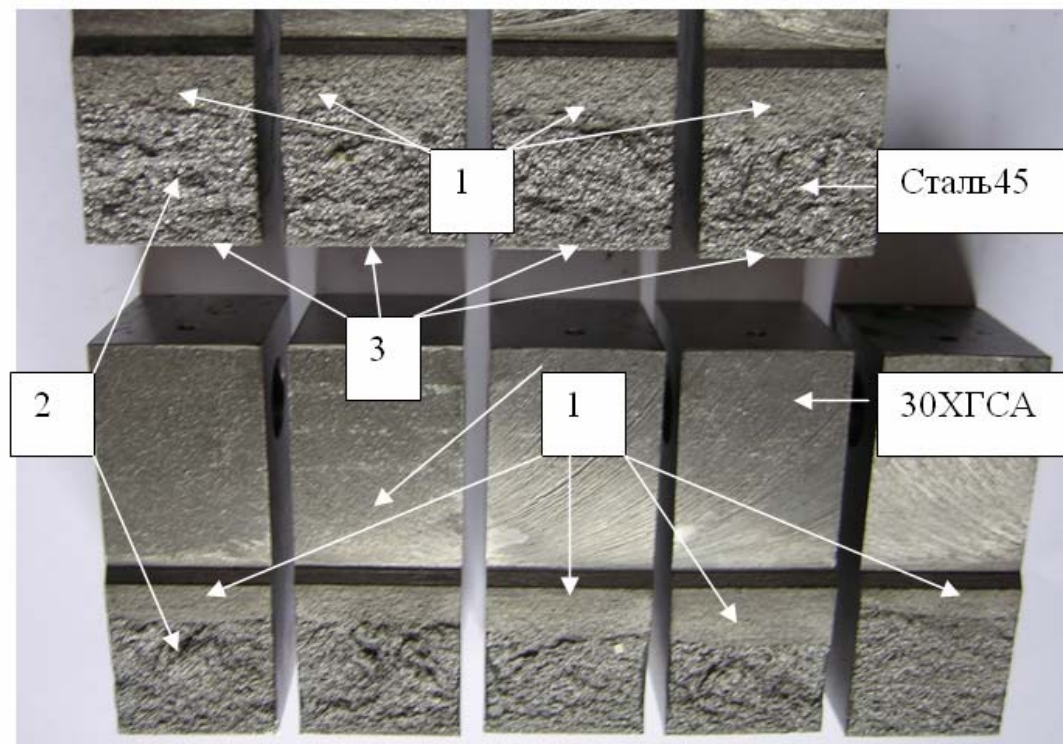


Рис. 1

На рис.2 изображено графическое обобщение линий фронта усталостных трещин на основании многочисленных испытаний. Видно, что рисунки линии фронта этих трещин не просто различный, а, в зависимости от частоты внешнего нагружения, подчиняется гармоническому закону. Очевидно, что область пластических деформаций на линии фронта медленнорастущей усталостной трещины чувствительна к гармоническим колебаниям, причина которых пока неизвестна.

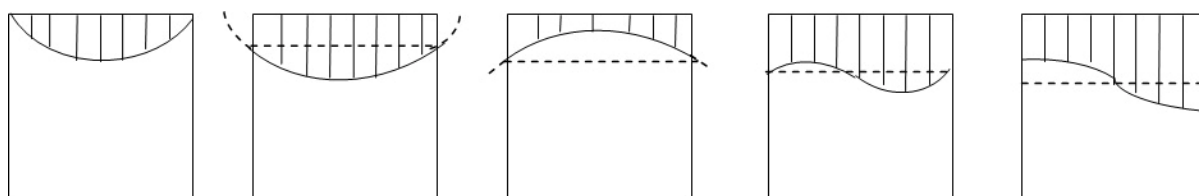


Рис. 2

Наиболее яркая тому иллюстрация – область пластических деформаций 1 в зоне так называемого «раструба» [1] на боковой поверхности образцов и область долома 2 с ярко выраженным пластическим шарниром в виде волнообразной поверхности на образце из сплава АК25, испытанного на кафедре СМ СПбГПУ [2] при вариации частоты внешнего нагружения (см. рис. 3, а, б). На рис. 3,а можно также видеть оптически поля-

ризованные волны в тонком поверхностном слое на гладкой боковой поверхности испытанного образца. Данная картина, возможно, является результатом проявления поверхностных волн Рэлея [3,4,5], в условиях циклического внецентренного нагружения образца.

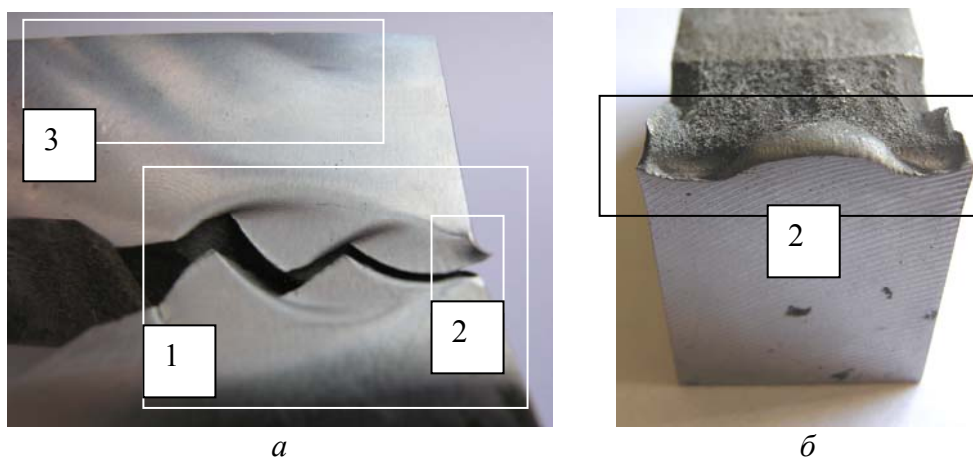


Рис. 3

На рис. 4 приведена иллюстрация боковой поверхности образца из сплава 30ХГСА при частоте испытаний 75Гц. На рис. 5 – его компьютерная обработка с указанием перемещения нейтральной линии при внецентренном циклическом нагружении в случае увеличения глубины усталостной трещины от 0 до 5,5 мм.



Рис. 4

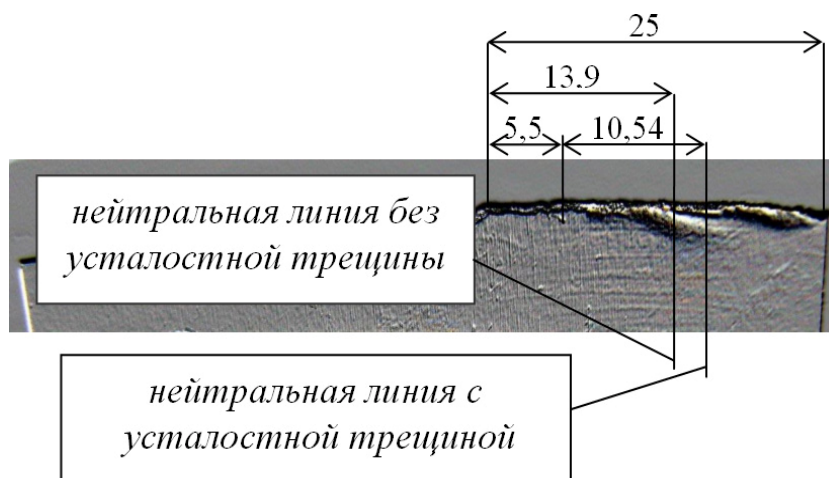


Рис. 5

Возникает вопрос: что является причиной формирования гармонически волнообразных поверхностей в зонах пластических деформаций и волнообразных линий фронта усталостных трещин, которые, в зависимости от частоты внешнего нагружения, как бы смещаются относительно вертикальной осевой линии рабочего сечения с уменьшением или увеличением «периода»? Первый ответ опирается на несоответствие скорости пластических деформаций, связанной со структурой материала, и частоты внешнего нагружения. Однако, данный ответ не объясняет гармонически волнового характера объемного распределения пластических областей. Поэтому авторы произвели соответствующие замеры амплитуд и периодов волнообразных зон пластических деформаций и вычислили частоту  $\nu$  собственных колебаний элементарных частиц в этих зонах, а также период  $T$  и полную энергию колебаний  $U$ . По полученным значениям частот  $\nu$  фрактальных зон вычислили перемещения  $\xi_{cm}$  по направлению действия деформаций при внешнем циклическом нагружении по известным формулам теорий упругости и колебаний и силы  $F$  вызывающие эти перемещения. Из результатов расчетов следует, что волнообразные линии фронта усталостных трещин и волнообразные поверхности в зонах раструбов на боковых поверхностях образцов являются результатом колебаний элементарных частиц на наноструктурном масштабном уровне. При этом их перемещения  $\xi_{cm}$ , или можно сказать амплитуда, составляет от  $0,004 \cdot 10^{-9} м$  до  $0,123 \cdot 10^{-9} м$ , а силы, их вызывающие – от  $15,41 \cdot 10^{-12} Н$  до  $1,15 \cdot 10^{-12} Н$ . Величины этих значений свидетельствует о том, что амплитуда колебаний нано зон соответствует как межатомным расстояниям и расстояниям групп атомов, так и размерам кристаллов и групп кристаллов стали 45 и сплава 30ХГСА, а силы  $F$ , их вызывающие, эквивалентны силам Ван-дер-Ваальса. Причем, частота  $\nu$  этих колебаний соответствует диапазону ультразвука.

Следовательно, при изменении частоты внешнего нагружения от 19,5 Гц до 100 Гц на уровне наноструктуры материала стали 45 и сплава 30ХГСА происходит автогенерация колебаний ультразвукового диапазона, с амплитудой от тысячных до десятых долей нанометров, вызывая тем самым, на макро уровне движение линии фронта усталостной трещины по гармоническому закону. Данные выводы позволяют в будущем рассматривать усталостное разрушение металлов как результат взаимодействия автогенерируемых волновых процессов на наноструктурном масштабном уровне, наглядно проявляющихся в зонах интенсивных пластических деформаций на макро уровне. Это позволит прогнозировать вероятную поверхность рельефа усталостного разрушения и управлять распространением усталостной трещины, максимально используя несущую способность материала деталей машин.

### Список литературы

1. Соппротивление материалов. Учебное пособие/ Под ред. Б.Е.Мельникова – СПб.: Издательство «Лань», 2003. – 528с.
2. Кольцун Ю.И., Мельников Б.Е., Хибник Т.А., Прохоров А.А. Влияние частоты и нагрузки на волновые деформационные процессы при многоциклового усталости//Вестник Самарского гос. аэрок. ун-та.– 2009. – № 3. Ч. 2. – С.274-282.
3. Гольдштейн Р.В. Волны Рэлея и резонансные явления в упругих телах // Прикл. Математика и механика. 1965. Т. 29. № 3. С. 516-525.
4. Гольдштейн Р.В. О поверхностных волнах в соединенных упругих материалах и их связи с распространением трещин по линии соединения // Прикл. математика и механика. 1967. Т. 31. В. 3. С. 468-475.
5. Гольдштейн Р.В. Поверхностные волны и резонансные явления в упругих телах. 1996г. <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/212.html>