

УДК 620.184.6:620.179.12:620.178.325

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

© 2011 г.

*В.И. Капустин, В.П. Гилета, К.В. Захарченко, А.И. Попелюх*

Новосибирский государственный технический университет

macler06@mail.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Представлены методика и данные исследования кинетики деформированного состояния материала в процессе периодического одноосного нагружения. Приводятся диаграммы главных компонент тензора полных деформаций при асимметричном периодическом мягком растяжении-сжатии образцов. Выявленные закономерности деформирования образцов могут быть полезны в решении задач, связанных с разработкой критерия усталостного разрушения материала и раскрытия механизма деформационного упрочнения мест предразрушения деталей машин.

*Ключевые слова:* кинетика деформированного состояния, периодическое нагружение, выносливость, компакция, дилатансия, превращения фазовые.

### Введение

Известно, что при пластическом деформировании одновременно со структурными изменениями происходит превращение фазового состояния в сплавах и сталях. Предполагается, что и при усталости в местах предразрушения деталей также происходят фазовые превращения материалов [1].

В работах, посвященных построению теории фазовых превращений [2], рассматриваются деформации, обеспечивающие переход вещества в требуемое структурное состояние. Очевидно, что адекватность теории будет зависеть от точности описания деформированного состояния.

С другой стороны, экспериментальные методы, используемые в механике сплошной среды, позволяют с высокой точностью создать в образце требуемое однородное деформированное состояние, измерить величину деформации сдвига, выделить гидростатическую составляющую деформации, получить характеристики напряженного состояния [3–5].

Цель работы – изучение кинетики трехосного деформированного состояния при усталостном повреждении материала с позиции, объединяющей исследования на микро- и макромасштабном уровнях.

### Образцы, оборудование, методика измерений

В исследовании использовались плоские образцы с рабочей частью, подвергнутой электрохимической полировке, и без концентраторов на-

пряжений. Исследовались сплавы 1163, В95, Д16АТ и сталь 40Х. Деформирование образцов проводилось на сервогидравлических машинах фирм «MTS» и «INSTRON» при мягком режиме нагружения. Для измерения компонент тензора полных деформаций использовались штатные экстензометры из комплекта машин «MTS» и «INSTRON».

При деформировании материалов макрохарактеристики измерялись по способу [4]. Это истинные деформации образца  $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ , по которым вычислялись относительное изменение объема  $\epsilon_V = \epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z$  и интенсивность деформаций

$$\epsilon_i = \sqrt{2} / 3 \sqrt{(\epsilon_x - \epsilon_y)^2 + (\epsilon_x - \epsilon_z)^2 + (\epsilon_y - \epsilon_z)^2}.$$

Деформационные характеристики на микромасштабном уровне измерялись до и после регулярного деформирования полированных образцов при помощи средств оптической микроскопии и трехмерной топографии. Для оценки кинетики изменения картин микро- и макродеформаций выполнялось их соответственное сравнение при увеличивающейся усталостной поврежденности материала.

### Основные результаты

На рис. 1 представлены диаграммы деформирования по одинаковым программам с постоянным максимальным напряжением и ступенчато увеличивающейся амплитудой цикла (всего 10 одинаковых ступеней) сплавов 1163 и В95. Наработка на ступени была по 100 циклов, кроме

последней, – 1000 циклов.

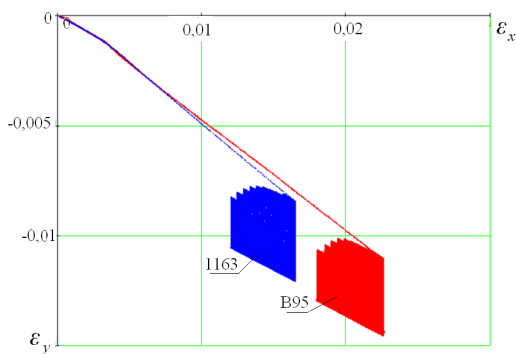
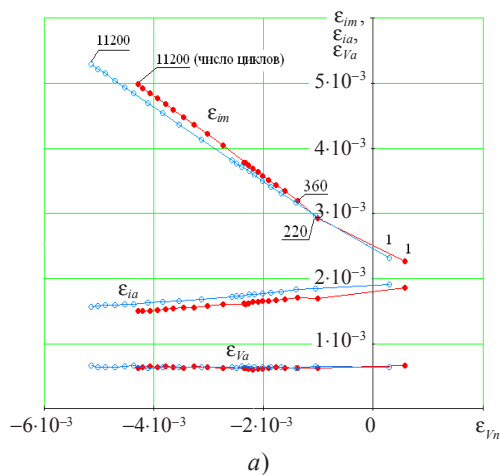


Рис. 1

На рис. 2а представлены диаграммы деформирования сплава Д16АТ асимметричными циклами напряжений, позволяющие оценить кинетику процесса. Указанные на рисунке числа циклов деформирования (параметр диаграммы) регистрировались, начиная с первой разгрузки, индексы «а» и «т» переменных  $\epsilon_i$  и  $\epsilon_{\nu}$  указывают на амплитуду и среднюю составляющую цикла; синие кружочки соответствуют значениям при  $\sigma_{\max} = 300$  МПа,  $\sigma_{\min} = 8.3$  МПа, красные кружочки –  $\sigma_{\max} = 293$  МПа,  $\sigma_{\min} = 15.3$  МПа.



а)

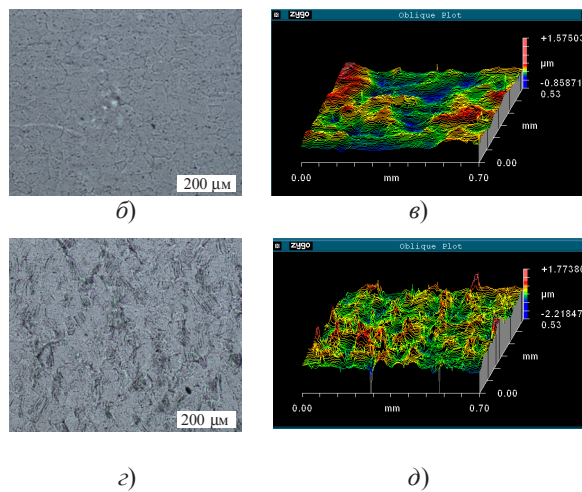
пределом выносливости, при приближении к которому обнаруженные процессы деформирования замедляются до нулевых значений.

На рис. 2б–д приведены результаты металлографического исследования поверхности рабочей части образцов в процессе усталости, полученные на оптическом микроскопе «Carl Zeiss AxioObserver A1m» (б, з) и на «Zygo New View 7300» (в, д). На рис. 2б, в показан исходный материал, Ra 0.081 мкм; з, д – материал после деформирования с  $\sigma_a = 145.9$  МПа,  $N = 11200$  циклов, Ra 0.204 мкм.

## Заключение

1. Исследование деформированного состояния материалов при усталости показало, что периодическое нагружение асимметричным циклом в области положительных напряжений может приводить к возникновению эффекта компакци и появлению текстуры на поверхности образца.

2. Возникновение эффекта компакци можно связать с переупаковкой структуры и фазовыми превращениями при деформировании реальных материалов за пределом упругости.



б)

д)

Рис. 2

Из рис. 1 и рис. 2а видно, что в процессе усталостного повреждения идет накопление деформаций, которое не описывается ни одной из существующих теорий механики сплошной среды. Этот процесс – компакция – происходит при деформировании в области растяжения и в условиях сдвига, сопровождается уменьшением объема деформируемого материала. По полученным данным можно сделать вывод о том, что может существовать некоторое предельное напряженно-деформированное состояние, характеризуемое

*Работа выполнена в рамках РФФИ (проект №10-08-00-220) и ФЦП «Научные и научно-производственные кадры инновационной России» (госконтракт 02.740.11.0819).*

## Список литературы

1. Терентьев В.Ф. и др. Усталостная прочность аустенитной стали X18H10T после равноканального углового прессования // Деформация и разрушение материалов. 2008. №10. С. 30–38.
2. Гринфельд М.А. Методы механики сплошных

- сред в теории фазовых превращений. М.: Наука, 1990. 312 с.
3. Аннин Б.Д., Жигалкин В.М. Поведение материалов в условиях сложного нагружения. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999.
4. Новожилов В.В. О пластическом разрыхлении. // Прикладная математика и механика. 1965. №4. С. 681–689.
5. Патент №2346257 Россия, М. Кл G 01 N3/32. Способ оценки влияния параметров нагружения на процесс деформирования / В.И. Капустин, В.М. Корнев, В.М. Степанов. 2009.

## EXPERIMENTAL STUDY INTO MATERIAL PERIODIC DEFORMATION REGULARITIES

*V.I. Kapustin, V.P. Gileta, K.V. Zakharchenko, A.I. Popelyuh*

The methodology and data of the investigation into the kinetics of the strained state of materials in the process of periodic uniaxial loading are presented. Diagrams of the major components of the total strain tensor in asymmetric periodic mild tension-and-compression of specimens are shown. The detected regularities of deformation of specimens may be useful in solving the problems associated with the development of the material fatigue fracture criterion and in disclosure of the strain-hardening mechanism in the pre-fracture areas of structural engineering parts.

*Keywords:* kinetics of the strained state, periodic loading, durability, compaction, dilatancy, phase transformations.