

# ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНИКИ СПЕКЛОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ УСТАЛОСТНОЙ ДЕГРАДАЦИИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА Д16

© 2025 г. Константин Вячеславович Наумов<sup>1,2\*</sup>, А.П. Владимиров<sup>1\*\*</sup>,  
И.С. Каманцев<sup>1\*\*\*</sup>, Н.А. Друкаренко<sup>1\*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup> – ИМАШ УрО РАН, 620049 Екатеринбург, ул. Комсомольская, д. 34

<sup>2</sup> – УрФУ, 620002 Екатеринбург, ул. Мира, д. 19

\* - [knaumov98@mail.ru](mailto:knaumov98@mail.ru); \*\* - [var52@bk.ru](mailto:var52@bk.ru); \*\*\* - [trophyland@mail.ru](mailto:trophyland@mail.ru); \*\*\*\* - [targosk@ya.ru](mailto:targosk@ya.ru)

Спекловые методы уже применялись для изучения процессов усталостного разрушения в стали и оргстекле. Установлено, что с самого начала испытаний на усталость имеет место локализация необратимых процессов в малых зонах, а в стали усталостная трещина зарождается на участке размером порядка 10 мкм при относительной макроскопической деформации порядка  $10^{-1}$ , что схоже с процессами при квазистатических нагрузках. Но было неизвестно, происходят ли схожие процессы при многоцикловой усталости в других материалах. Поэтому объектом исследования были выбраны образцы из алюминиевого сплава Д16, а целью – выяснить, схожи ли процессы в алюминиевых сплавах с теми, что происходят в других материалах.

Образцы подвергались различной нагрузке (равной пределу текучести, а также на 20 процентов большей и на 20 процентов меньшей) на высокочастотной резонансной испытательной машине, шероховатая сторона освещалась красным лазером. Спекловые изображения с трёх разных ракурсов регистрировались каждые 0,5 секунды, далее обрабатывались специальным программным обеспечением для получения на отдельных участках значений средней интенсивности  $\tilde{I}$  и временной автокорреляционной функции  $\eta(t)$ . В дальнейшем находили компоненты вектора относительного перемещения  $\Delta U$  точек поверхности в сопряжённых точках образца.

Уже в самом начале испытаний локализовывались необратимые деформации, а в дальнейшем (в точках, где зарождались трещины, при амплитудах цикла, не меньших предела текучести) значения  $\eta(t)$  изменялись квазипериодически с изменением знака или сразу, или после некоторого количества циклов, подобно тому, как это происходило в образцах из других материалов, в частности стали.

Компоненты вектора относительного перемещения изменялись схожим образом с тем, как это происходило в стали (см. рис. 1), количественно и качественно, а предельный порядок растягивающих деформаций  $\Delta u_y / \Delta u$  на базе  $\Delta u = 60$  мкм составил около  $10^{-1}$ . Также было обнаружено, что деградация сплава Д16, как и в оргстекле и в стали, в начальной стадии происходит путем циклической ползучести и разрывов межатомных связей. На

заключительной стадии имеет место деформационное разупрочнение материала малого участка.

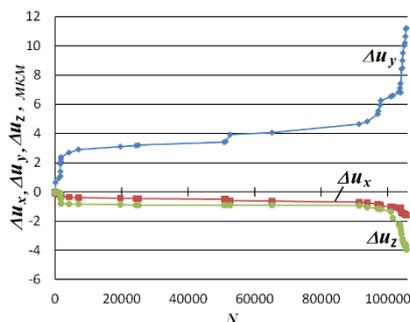


Рис. 1. Изменение компонент вектора относительного перемещения  $\Delta U$  от числа циклов  $N$

На основании анализа данных можно заключить, что и усталостные процессы в разных материалах схожи по своей природе.

*Авторы благодарят Кузнецова А.В. за помощь в проведении экспериментов. Эксперименты проводились на оборудовании центра коллективного пользования "Пластометрия" ИМАШ УрО РАН в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации для ИМАШ УрО РАН. Работа была частично поддержана Программой развития Уральского федерального университета в рамках программы «Приоритет-2030».*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Vladimirov A.P. Speckle metrology of dynamic macro- and micro-processes in deformable media // Optical Engineering. 2016. V. 55. No. 12. Art. no. 121727.
2. Vladimirov A.P. Dynamic Speckle Interferometry of High-Cycle Material Fatigue: Theory and Some Experiments // AIP Conference Proceedings. 2016. V. 1740. Art. no. 040004.
3. Владимиров А.П., Каманцев И.С., Друкаренко Н.А., Тришин В.Н., Акашев Л.А., Дружинин А.В. Оценка усталостных повреждений в органическом стекле оптическими методами // Оптика и спектроскопия. 2019. Т. 127. Вып. 5. С. 870–880.
4. Vladimirov A.P. Drukarenko N.A., Myznov K.E. Using speckle images for determining the local plastic strains arising at high-cycle fatigue of 09G2S steel // Technical Physics Letters. 2021. V. 47. No. 8. P. 773–776.
5. Владимиров А.П., Каманцев И.С., Друкаренко Н.А., Мызнов К.Е., Наумов К.В. Сравнение результатов применения двух спекловых методов изучения многоциклового усталости конструкционной стали. // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2024. Т. 24. № 1. С. 20–29.