

# **ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

## **INTERNATIONAL WORKSHOP**

**«Multiscale Biomechanics and Tribology  
of Inorganic and Organic Systems»**

## **МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**«Перспективные материалы с иерархической структурой  
для новых технологий и надежных конструкций»**

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,  
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ  
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

**«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»**

Томск  
Издательский Дом ТГУ  
2019

DOI: 10.17223/9785946218412/25

**ЭВОЛЮЦИЯ ОТ МИКРО-, К МЕЗО- И МАКРОСКОПИЧЕСКОМУ  
МАСШТАБНОМУ УРОВНЮ УСТАЛОСТИ МЕТАЛЛОВ**

<sup>1,2</sup>Шанявский А.А., <sup>1</sup>Солдатенков А.П.

<sup>1</sup>Авиационный регистр Российской Федерации, Московская область, Химки

<sup>2</sup>Институт автоматизации проектирования РАН, Москва

Рассматривается последовательность протекания процессов накопления повреждений в металле в направлении возрастания уровня напряжения. Показано, что область многоциклового усталости, соответствующая мезомасштабному уровню накопления повреждений, проявляет расслоение усталостных кривых в области перехода от микро- к мезомасштабному уровню (от сверхмногоциклового к многоциклового усталости). Приведены примеры бимодального распределения усталостной долговечности применительно к титановому сплаву ВТ9 на мезомасштабном уровне, для которого зарождение трещин происходит с поверхности, но оно характеризуется двумя разными усталостными кривыми. Обсуждена природа этого явления и показано различие механизмов зарождения трещин для каждой из ветвей усталостных кривых.

Обсуждается последовательность эволюции металла при его циклическом нагружении на основе ранее введённой бифуркационной диаграммы [1]. На основании рассмотренного расслоения усталостных кривых на мезомасштабном уровне введено представление о мультимодальном распределении усталостной долговечности в области между соседними масштабными уровнями в зависимости от соотношения между пределом усталости и текучести материала.

Проведено обобщение результатов усталостных испытаний авиационных материалов на основе Fe, Al, Mg, Ti, Cu и Ni и проанализирована эволюция в поведении металла при определении так называемого «предела усталости» в зависимости от таких механических характеристик, как предел текучести и прочности металла. Используются справочные материалы ВИАМ [3] по результатам усталостных испытаний материалов, выполненных в соответствии с существующим стандартом [2]. Испытания реализованы в условиях различных видов симметричного изгиба гладких образцов.

Выявлено, что для более 90% металлов полная диаграмма усталости реализуется на трёх масштабных уровнях (рис. 1). На каждом масштабном уровне механизм накопления повреждений в металле принципиально отличается. Приведены представления об этих различиях на основе подходов и принципов Физической мезомеханики. Из этого следует, что область макроскопического масштабного уровня, которая ранее была использована для моделирования поведения металла на мезомасштабном уровне, не применима к подавляющему большинству конструкций. Они не испытывают остаточные деформации на макроскопическом масштабном уровне и роль поверхности в накоплении повреждений на мезомасштабном уровне имеет иную природу, чем в области малоциклового усталости.

В области сверхмногоциклового усталости (микромасштабный уровень) поведение металла отражает его свойство сопротивляться циклической нагрузке, т.к. состояние его поверхностного слоя не влияет на накопление повреждений в связи с зарождением трещин на удалении от поверхности. Рассмотрены механизмы зарождения трещин на удалении от поверхности на микроскопическом масштабном уровне, учитывающие результаты исследований состояния материала под поверхностью излома в очаге разрушения.

Выполненное обобщение показывает, что накопленный экспериментальный материал по испытанию металлов на разных масштабных уровнях требует построения усталостных кривых с разными параметрами, характеризующими различия в поведении металла на разных масштабных уровнях. Необходимо ввести границы масштабов для каждого материала и выявлять на границах масштабов области мультимодального распределения усталостной долговечности. Ранее введённое представление о «пределе усталости», как характеристике предельного состояния металла, не соответствует его поведению с учётом

## Секция 1. Основные принципы и методология физической мезомеханики материалов с иерархической структурой

проведённого анализа масштабной иерархии в эволюции механизмов накопления повреждений. Поэтому существующее представление о пределе «усталости металла» дезориентирует металлургов и конструкторов при определении ресурса элементов авиационных конструкций в разных условиях нагружения.

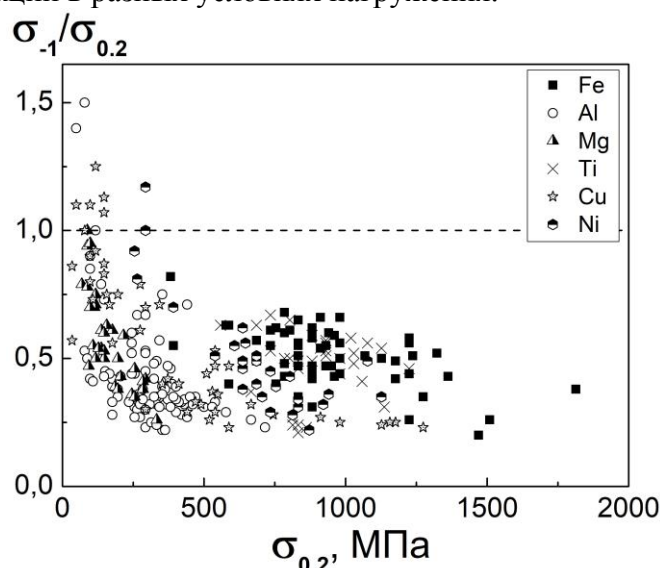


Рис. 1. Зависимость соотношения  $\sigma_{-1} / \sigma_{0.2}$  от  $\sigma_{0.2}$ , построенные по данным из справочника [3] для авиационных материалов на основе Fe, Al, Mg, Ti, Cu и Ni

Многомасштабный подход в построении усталостных кривых позволяет сделать следующее заключение.

Во-первых, моделирование процессов накопления повреждений в металлах должно быть основано на разных механизмах деформирования материала, которые систематизированы и распределены по масштабам в рамках научного направления Физическая мезомеханика.

Во-вторых, в случае эксплуатационного нестационарного нагружения, когда осуществляется суммирование повреждений на разном уровне напряжения, необходимо вводить границы масштабов для параметров усталостных кривых, которые описывают повреждение материала в разных условиях накопления повреждений. Границы масштабов характеризуются областями бимодального распределения усталостной долговечности для предыдущего (меньшего) масштаба к последующему (большему) масштабному уровню. Эти границы определяются не количеством циклов нагружения, а критическим уровнем напряжения.

Таким образом, к настоящему времени возникла необходимость пересмотра не только существующих представлений об усталости металлов, но и принципов построения усталостных кривых, которые регламентированы ГОСТом [2].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-19-00705).

1. Шанявский А.А. Масштабные уровни процессов усталости металлов // Физическая мезомеханика. 2014. Т. 17. № 6. С. 87–98.
2. ГОСТ 25.502-79 «Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость». Издательство «Стандарт», 2005.
3. Авиационные материалы. Справочник в девяти томах (под ред. А.Т. Туманова). М.: ВИАМ, 1973–1975.