

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
Механико-математический факультет
НИИ механики

ЛОМОНОСОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

СЕКЦИЯ МЕХАНИКИ

4–14 апреля 2023 года

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



Издательство Московского университета

2023

УДК 531/534
ББК 22.2
Л75

*Публикуется по решению Ученого совета НИИ механики МГУ
и постановлению Редакционно-издательского совета
механико-математического факультета МГУ*

РАБОЧАЯ ГРУППА:

Е. В. Заплетина, М. Ю. Рязанцева, Т. А. Якубенко

Л75 **Ломоносовские чтения.** Научная конференция. Секция механики. 4–23 апреля 2023 года. Тезисы докладов. — Москва : Издательство Московского университета, 2023. — 181, [1]. с.— (Электронное издание сетевого распространения).

ISBN 978-5-19-011959-6 (e-book)

Сборник включает тезисы докладов по современным направлениям механики и ряду междисциплинарных проблем.

УДК 531/534
ББК 22.2

© Авторы, 2023
© НИИ механики МГУ, 2023
ISBN 978-5-19-011959-6 (e-book) © Механико-математический факультет МГУ, 2023

Завойчинская Э.Б., Каблин А.Р. О много- и гигацикловой усталости металлов и сплавов.....	68
Завойчинская Э.Б., Панарин И.Ю. Структурно-масштабные уровни многоциклового усталости сталей при периодических программных нагружениях.....	69
Загайнов И.А., Егоров К.С., Попович С.С. Обзор исследований сверхзвуковых потоков методами PIV.....	70
Заплетин М.П., Зайнулинова Г.Т. Построение оптимального портфеля следования для валют стран БРИКС Плюс.....	71
Заплетин М.П., Самохин А.С. О решении выпуклых задач нелинейного программирования с ограничениями типа равенств и неравенств.....	72
Заплетин М.П., Укасова Д.Е. Исследование нейронных сетей для оптимизации портфеля.....	73
Зверев Н.А., Земсков А.В. Одномерные нестационарные связанные механодиффузионные процессы в полем цилиндре с учетом релаксации диффузионных потоков.....	74
Звягин А.В., Лужин А.А. Сравнение различных граничных элементов при решении задач о трещине с гладкой границей в трехмерном пространстве.....	75
Звягин А.В., Удалов А.С. Численные способы решения стационарной задачи теплопроводности тел с трещинами.....	75
Здитовец А.Г., Киселев Н.А., Виноградов Ю.А., Попович С.С. Экспериментальное исследование эффекта Эккерта – Вайса при поперечном обтекании пары круговых цилиндров сжимаемым потоком воздуха.....	76
Земсков А.В., Ле Ван Хао Моделирование термомеханодиффузионных нестационарных колебаний балки Бернулли – Эйлера на упругом основании.....	76
Земсков А.В., Сердюк Д.О., Федотенков Г.В. Фундаментальные решения для анизотропной пластины Тимошенко на упругоинерционном основании.....	77
Знаменская И.А., Козлов П.В., Виноградов Ю.А. Экспериментальные методы исследования высокоскоростных газовых потоков.....	78
Зубин М.А., Зубков А.Ф., Чулюнин А.Ю. Особенности структуры отрывного обтекания дозвуковым потоком цилиндрической каверны на стенке плоского канала.....	79
Зубин М.А., Максимов Ф.А. Численное и экспериментальное исследования структуры сверхзвукового обтекания полуконуса на пластине.....	80
Зудов В.Б., Селюцкий Ю.Д. О движении в вертикальной плоскости квадрокоптера, несущего груз с вязким наполнителем.....	81

цикла описываются функциями четырех независимых переменных вида: $\sigma_{max}^* \in (v, N, T, R)$, где σ_{max}^* – предельное максимальное напряжение, v – частота нагружения, N – число циклов, T – температура и R – асимметрия цикла, по каждой из переменных являются единичными непрерывными кривыми, у них отсутствуют разрывы и различные пределы выносливости, в зависимости от диапазона по долговечности для разных материалов разрушение может развиваться как по первому механизму, так и по второму механизму. При заданной частоте отсутствуют: «бифуркационные участки», т. е. участки, где существует «две ветви кривой усталости» в одном диапазоне по числу циклов, наличие которых полагали и связывали с разными механизмами разрушения А.А. Шанявский, Л.Р. Ботвина, В.Ф. Терентьев, Т. Sakai, K. Shiozawa, S. Ishihara и др. На известной диаграмме Н. Муграби на одном графике представлены две разные кривые усталости при разных частотах для материала с зависящими от частоты усталостными свойствами. Циклы экспериментов Т.П. Захаровой, А.А. Шанявского, К. Shiozawa, S. Ishihara, L. Lu и др. при изгибе с вращением не учитывают, что в условиях изгиба в образцах формируется неоднородное напряженное состояние по сечению и если очаг микроразрушения находится внутри тела, то разрушение при одном и том же числе циклов наступает при меньшем напряжении (которое и нужно брать в качестве σ_{max}^*). Поэтому, в частности, не наблюдается двух ветвей кривой усталости в опятах при растяжении-сжатии. Также доказывают правомерность предложенных объяснений известные данные о том, что кривая усталости при изгибе с вращением лежит выше кривой при растяжении-сжатии.

Влияние частоты на усталостные свойства различно, по некоторым данным, возможна немонотонная зависимость кривых усталости от частоты. К материалам, усталостные свойства которых практически не зависят от частоты, относят никелевые, никеле-медные, хромоникелевые сплавы, высокоуглеродистые и мартенситно-хромистые стали. Другие материалы, такие как титановые сплавы, низкоуглеродистые и среднеуглеродистые стали, алюминиевые сплавы, демонстрируют устойчивую зависимость от частоты (по приведенным данным увеличение пределов усталости, например, для низкоуглеродистых сталей достигает 40 %). Оба механизма развития разрушения могут реализовываться с различной вероятностью при любых частоте и асимметрии цикла в зависимости от областей по долговечности. Соответствующие результаты приведены в работах: Y. Furuya, S. Murakami, C. Bathias, А.А. Шанявского, Н. Mayer, Y. Nishimura и др. Методы высокочастотных испытаний как методы ускоренных испытаний не могут быть применимы для материалов, усталостные свойства которых зависят от частоты, их применение может привести к предсказанию предела усталости при заданной долговечности выше реального.

СТРУКТУРНО-МАСШТАБНЫЕ УРОВНИ МНОГОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ СТАЛЕЙ ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПРОГРАММНЫХ НАГРУЖЕНИЯХ

Э.Б. Завойчинская, И.Ю. Панарин

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

Периодическими двухчастотными нагружениями, программными одночастотными нагружениями с блоками разных амплитуд и чисел циклов, которые рассматриваются в этой работе, моделируются эксплуатационные режимы различных элементов инженерных систем. Анализ их отказов показывает, что в ряде случаев аварии происходят

из-за усталостных повреждений в условиях длительной эксплуатации, что делает задачу изучения много- и гигацикловой усталости при этих видах нагружений актуальной проблемой. Исследование физических закономерностей развития усталостного разрушения приводит к необходимости его рассматривать как разномасштабный случайный стадийный процесс прохождения определенных структурных уровней (вводится шесть уровней дефектов). В качестве функции распределения вероятности неразрушения (надежности) на каждом уровне: $R_j(\tau) = P(Q_j(\tau) < Q_{j,th})$, $j = 1, \dots, 6$, принимается вероятность, с которой случайное значение функции процесса нагружения $Q_j = Q_j(\tau)$ в момент времени τ меньше определенного значения $Q_{j,th}$ (при этом дефект j -го уровня достигает предельного состояния), и определяется вероятность разрушения в виде: $F_j = 1 - R_j$. Уравнения вида: $Q_j(t_j) = Q_{j,th}$, задают кривые усталости по уровням дефектности. Для $Q_j = Q_j(\tau)$ записывается рекуррентная система определяющих соотношений с использованием интегрального оператора Гильберта – Шмидта. Кривая усталости по образованию макротрещины-лидера определяется как сумма независимых событий – вероятностей разрушений j -го уровня при отсутствии разрушений других уровней, $j = 4, 5, 6$. Дается алгоритм нахождения базовых функций по данным стандартных усталостных испытаний при одночастотном осевом нагружении с учетом результатов физических исследований по развитию хрупких трещин. По известным опытным данным для 0,23 % углеродистой стали определяются базовые характеристики модели при одночастотном осевом нагружении. При двухчастотном нагружении для заданного отношения частот и разных амплитуд по одной из частот определяется долговечность по уровням дефектности при различных амплитудах по другой частоте. Полученные результаты удовлетворительно согласуются с опытными данными. Если рассматривать эквивалентное нагружение с амплитудой, равной сумме первой и второй амплитуд, то пределы усталости при соответствующих числах циклов ниже, чем в расчетах при двухчастотном нагружении, т. е. в этом случае недооценивается прочность (такое рассмотрение идет в запас прочности). По гипотезе линейного суммирования усталостных повреждений, если под повреждением понимать отношения амплитуд действующей нагрузки к соответствующим пределам усталости, также получено соответствие опытным данным (расхождение составляет около 10 %). Проведены расчеты для двух групп одночастотных нагружений, состоящих из двух блоков, для 0,25 % углеродистой стали. К первой группе относятся четыре режима: с возрастающей (на 10 %) амплитудой, действующей 2/3 долговечности в каждом режиме, и возрастающими (на 10 %) амплитудами от режима к режиму, для которых получено, что долговечность определяется по кривой Велера для большей амплитуды. Во второй группе рассматривались нагружения в обратном порядке к первой группе. Получено, что для нее (при нагружениях вначале с большей амплитудой 2/3 времени) имеет место уменьшение долговечности по сравнению с определенной по кривой Велера при большей амплитуде (максимально, в среднем, в три раза), что подтверждается результатами опытов для этой стали.

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ СВЕРХЗВУКОВЫХ ПОТОКОВ МЕТОДАМИ PIV

И.А. Загайнов, К.С. Егоров, С.С. Попович

Научно-исследовательский институт механики МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

Метод анемометрии по изображениям частиц PIV (particle image velocimetry) находит широкое применение в практике исследований течения газов с высокими