

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

Булдакова Юлия Андреевна

**Исследование процессообразования трещин на ранних стадиях их
развития в авиационных материалах**

Направление подготовки
22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»

АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

2018



Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет»

Научный руководитель

доктор технических наук,
доцент Башков Олег Викторович

Рецензент

кандидат технических наук,
Матвеевко Дмитрий Викторович

Защита состоится «___» июня 2017 года в ___ часов ___ мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов» в Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. ...

Автореферат разослан ___ июня 2018 г.

Секретарь ГЭК

Белова Инна Валерьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Опасность разрушения деталей машин при многократно повторяющейся нагрузке (усталость металлов) связана с тем, что наряду с величиной максимальной нагрузки, решающее значение имеют еще ряд важных факторов (асимметрия цикла нагружения, частота нагрузки, концентрация напряжения, масштабный фактор, среда испытания, температура испытания и т.д.), которые всегда надо учитывать при расчете и эксплуатации ответственных металлических конструкций.

Проблема осложняется тем, что процесс усталостного разрушения металлов и сплавов состоит из двух периодов: зарождения и распространения усталостных трещин. И эти периоды связаны с различными процессами изменения структурного и напряженного состояния материала и закономерностями накопления повреждаемости в процессе длительного циклического деформирования. Длительность этих периодов усталостного разрушения зависит от уровня прочностных и пластических характеристик металлических материалов.

Зарождение трещин может происходить как на гладких полированных поверхностях, так и в местах концентраторов напряжений: включений, точечной коррозии, царапин, пор, раковин и т.д. По мере увеличения циклов трещины увеличиваются, затем объединяются, образуя микроскопическую трещину.

У краев трещины нарастает напряжение, которое способствует ее дальнейшему развитию, что в свою очередь приводит к ослаблению поперечного сечения детали и ее внезапному разрушению.

Данный процесс постепенного развития трещины под действием деформаций и переменных напряжений, приводящий к постепенному внезапному разрушению, называется усталостью.

Механизм усталостного разрушения состоит в том, что на первом этапе действия рабочих нагрузок дислокации, перемещаются и постепенно

накапливаются в некотором участке кристалла, что влечет за собой образование линий скольжения в какой-то определенный момент.

По мере их развития в структуре происходит процесс упрочнения. В результате упрочнения кристаллов, напряжение между зернами перераспределяется, повышается, и, при достижении критических значений, по плоскостям скольжения зарождаются микротрещины. Далее при продолжении нагружения происходит рост зародышей микротрещин и протекает процесс разрыхления зерна, снижающий его способность противостоять появлению трещины. Слияние групп микротрещин создает благоприятные условия для образования так называемой магистральной трещины. После чего развитие трещины интенсивно увеличивается под рабочими циклическими нагрузками, что приводит к разрушению образца.

Примерно 90% повреждений деталей связано с возникновением и развитием в них усталостных трещин, что свидетельствует о недостаточности знаний о природе этого явления. Это и определяет огромную практическую значимость проблемы усталости и ее место в ряду других проблем современного материаловедения.

И хотя к настоящему времени за более чем 150-летнюю историю изучения процессов разрушения металлических материалов в условиях повторных нагрузок проведено много фундаментальных исследований, посвященных различным аспектам усталостного разрушения (по некоторым данным

в XX в. было опубликовано около 100 тысяч публикаций), эта проблема по-прежнему актуальна для оценки надежности современных ответственных металлических конструкций, изготовленных из новых высокопрочных и композиционных материалов.

Целью данной работы является изучение кинетики развития усталостных трещин в алюминиевом сплаве марки 1163.

В соответствии с поставленной целью в работе решались следующие **основные задачи исследования:**

1) провести испытания алюминиевого сплава при различных напряжениях до образования магистральной трещины различного размера;

2) установить характер образования поверхностных трещин при циклическом деформировании образцов и установить связь между числом трещин и их длиной при различных напряжениях цикла;

3) установить критическое число образующихся трещин до образования магистральной трещины, а также установить влияние максимального напряжения цикла на данную зависимость;

4) установить связь между числом образования поверхностных трещин и максимальным напряжением цикла.

Объектом исследования является процесс образования трещин, возникающих при циклическом нагружении.

Предметом исследований являются образцы алюминиевого сплава марки 1163.

Методы исследования основаны на подходах экспериментальной механики разрушения. Испытания образцов проведены на лабораторной установке для определения усталостных характеристик легких сплавов. Обработка результатов и их анализ проводились с помощью Excel, а также металлографического анализа.

Новизна полученных результатов:

-получен новый экспериментальный материал о кинетике развития усталостных трещин в алюминиевом сплаве 1163;

- установлена связь между числом трещин и их длиной при различных напряжениях цикла;

- приведен характер образования поверхностных трещин при циклическом деформировании образцов и установить связь между числом трещин и их длиной при различных напряжениях цикла;

Достоверность и обоснованность результатов исследования.

Достоверность полученных и представленных в диссертации результатов подтверждается использованием современных независимых,

взаимодополняющих методов исследования, большим объемом непротиворечивых экспериментальных данных, согласованность с данными теоретических исследований. Анализ экспериментальных данных проведен с соблюдением критериев достоверности измерений.

Практическая значимость и ценность работы.

Практическая значимость работы заключается в получении результата - изучения кинетики развития усталостных трещин в исследуемых материалах.

Ценность работы заключается в предложении новой методики оценки характера образования поверхностных трещин при циклическом деформировании.

Личный вклад автора.

Представленные в работе результаты получены лично автором или при его непосредственном участии.

Анализ литературных источников, экспериментальные исследования, а также обработка и анализ результатов экспериментов выполнены лично автором. Постановка задач исследований и обсуждение результатов проведено при непосредственном участии автора совместно с научным руководителем.

Основные положения, выносимые на защиту:

На защиту выносятся следующие основные положения и результаты работы:

- экспериментальный материал о циклических испытаниях образцов из алюминиевого сплава 1163 при различных напряжениях до образования магистральных трещин;

- закономерности влияния максимального напряжения цикла на критическое число образующихся трещин.

Структура и объём магистерской диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, трёх разделов, заключения и списка литературы. Общий объём работы составляет 72

страницы включая приложение и включает 28 рисунков, 5 таблиц, список используемой литературы, состоящий из 20 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлено обоснования актуальности темы диссертационной работы, изложены основные направления проведённых исследований, сформулированы цель и задачи исследований.

В первом разделе представлен обзор литературных данных, посвящённых особенностям кинетике усталостного разрушения, рассмотрены основные механизмы зарождения микротрещин, а также проанализированы периоды усталостного разрушения.

Во втором разделе диссертационной работы описаны материалы, используемые при проведении исследований, методика проведения испытаний и анализа данных, а также оборудование используемое для проведения исследований.

Материалом являлся алюминиевый деформируемый сплав марки 1163 по ОСТ 1 90048-90. Для проведения исследования были изготовлены плоские образцы в форме двойной лопатки с радиусной рабочей частью образцы типа III по ГОСТ 25.502-79. Испытания проводили на лабораторной установке для определения усталостных характеристик легких сплавов методом в соответствии с методами испытаний на усталость по ГОСТ 25502-79. Испытания проводили при различных напряжениях до образования магистральной трещины. Эксперимент останавливали при снижении резонансной частоты колебаний.

В процессе эксперимента прибором измерения усталости регистрировались такие параметры как:

- частота, Гц;
- амплитуда автоколебаний составного вибратора, мм;
- количество циклов нагружения образца;
- мощность;
- нагрузка, МПа.

По полученным параметрам было построено распределение по частоте для каждого образца. На рисунке 1 показано изменение частоты резонансных колебаний на примере образца № 19.

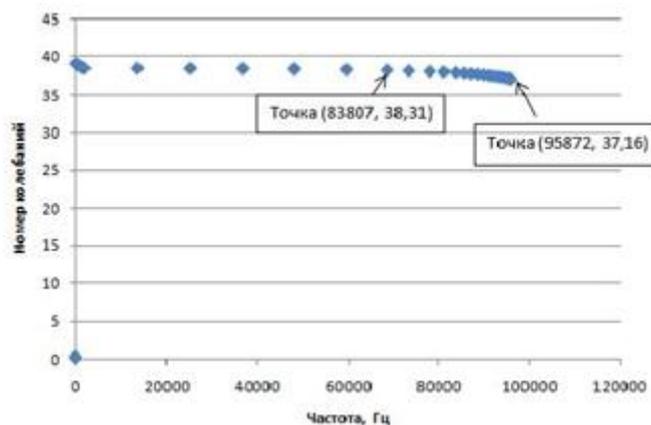


Рисунок 1 - Изменение частоты резонансных колебаний образца № 19

На основании данной зависимости были получены данные:

- частота начальная, $f_{нач}$;
- частота конечная, $f_{кон}$;
- количество циклов начальное;
- количество циклов конечное.

Для испытаний лоскутов стеклотканей использовался метод испытания на растяжение.

Подсчет количества трещин, а также размер их длин производили с использованием метода оптической микроскопии.

В третьем разделе результаты экспериментального исследования малоциклового усталости алюминиевых образцов в форме двойной лопатки при различном напряжении цикла до образования магистральных трещин различной длины.

По результатам полученных данных построены графики зависимостей (рисунки 2 - 3).

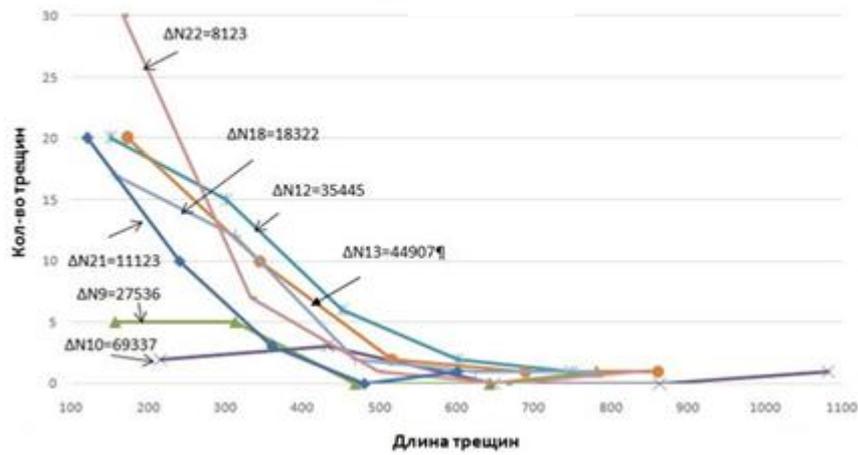


Рисунок 2 – Зависимость количества трещин от длины трещин при напряжении 200 МПа

Исходя из полученных данных следует, что образцы алюминиевого сплава 1163, подвергнутые циклическому нагружению с максимальным напряжением 250 МПа, имеют большее количество поверхностных трещин, выявляемых при микроструктурном анализе, чем в образцах испытанных при максимальном напряжении 200 МПа.

Так же стоит отметить, что длины трещин сравнительно больше в образцах испытанных при напряжении 250 МПа, несмотря на то, что количество циклов нагружения было меньше, чем у образцов $\sigma = 200$ МПа.

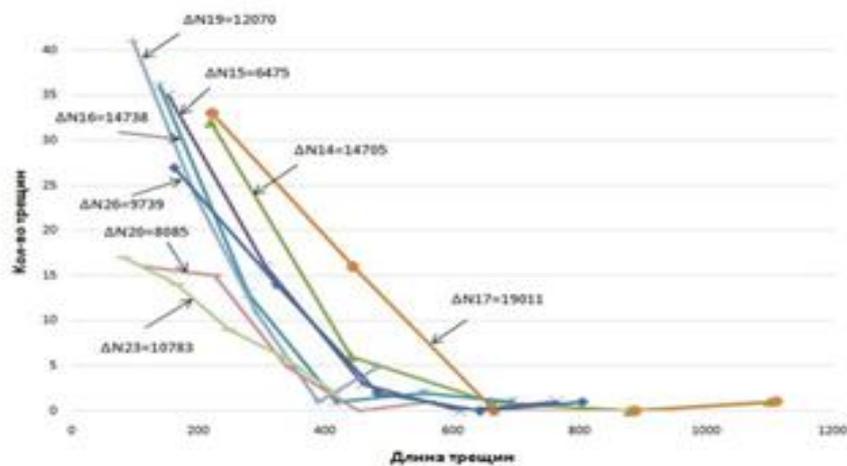


Рисунок 3 – Зависимость количества трещин от длины трещин при напряжении 250 МПа

В доказательство приведен пример подтверждающий данное наблюдение. На образце, представленном на рисунке 4 с напряжением цикла 250 МПа микротрещины длиннее, в сравнение с трещинами образца представленного на рисунке 5.



Рисунок 4 - Усталостные микротрещины образца, испытанного при $\sigma = 250$ МПа

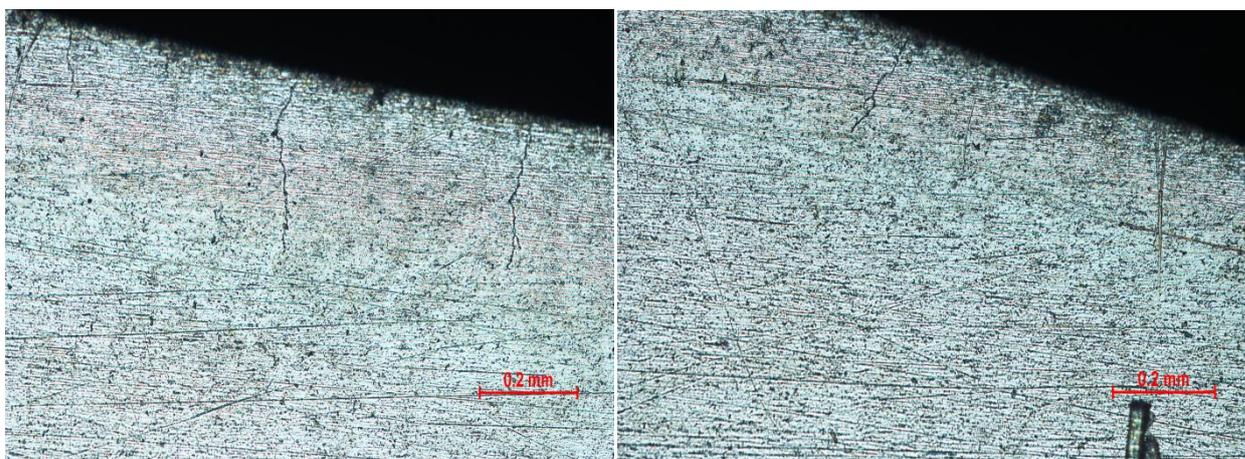


Рисунок 5 - Усталостные микротрещины образца, испытанного при $\sigma = 200$ МПа

На рисунке 6 представлено приращение количества циклов нагружения от длин магистральных трещин для образцов испытанных при разном напряжении. Линия тренда идет выше и круче при напряжении 250 МПа.

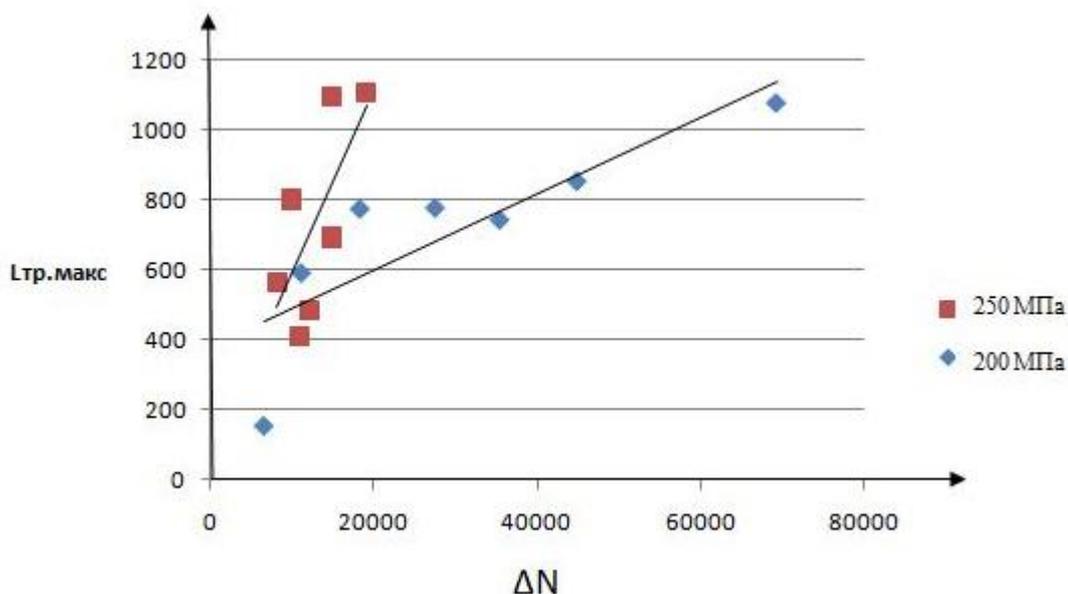


Рисунок 6 - Зависимость длин магистральных трещин от числа циклов нагружения, при различных напряжениях цикла

Представленной на рисунке 6 зависимости можно дать следующее объяснение. При большем значении максимального напряжения цикла, магистральная трещина достигает одной и той же длины при меньшем количестве циклов испытания. В других образцах, в которых испытание проводилось при меньшем максимальном напряжении цикла (200 МПа), зарегистрировано меньшее количество трещин, поскольку период зарождения микротрещин при таких напряжениях более длительный.

На рисунках 7 и 8 представлен общий вид магистральной усталостной трещины для двух образцов.

Сравнив фотографии магистральных трещин двух образцов подвергнутых различным напряжениям можно подтвердить вышесказанное предположение, что магистральная трещина развивается быстрее при большем напряжении цикла.



Рисунок 7 - Фрагмент магистральной трещины образца № 14, $\sigma=250$ МПа, $\Delta N=14705$

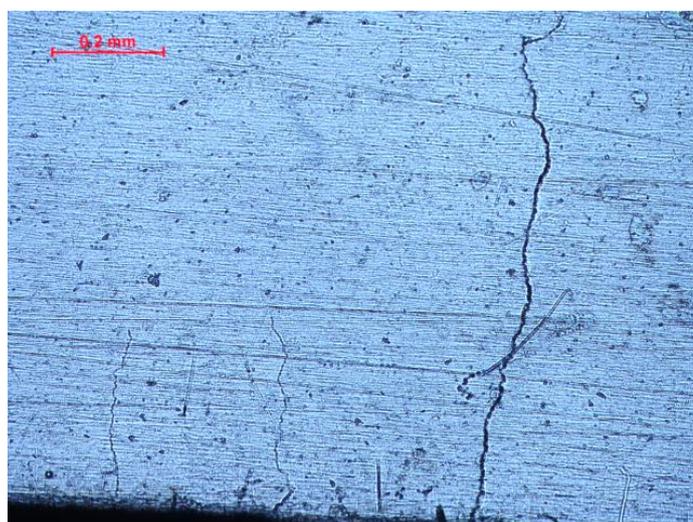


Рисунок 8 - Магистральная трещина, образец № 23, $\sigma = 200$ МПа, $\Delta N = 84388$

На рисунке 9 представлен график зависимости среднего количества трещин, зарегистрированных при испытании с различным напряжением цикла, от различных напряжений цикла. Из графика видно, что среднее количество трещин достигает максимального значения при $\sigma = 230$ МПа, тогда как при последующих по величине напряжениях цикла количество трещин уменьшается.

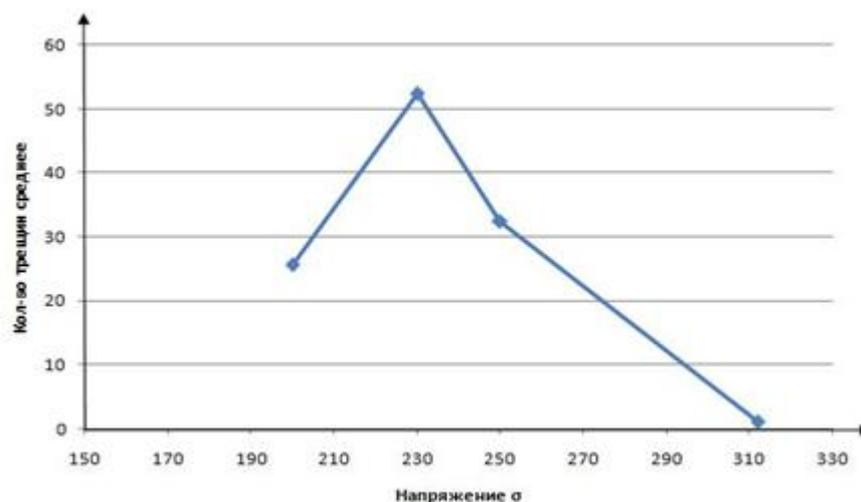


Рисунок 9 – Зависимость количества трещин от напряжения

Как итоговый результат работы был построен фрагмент диаграммы усталости по испытаниям. Усталостные испытания показали, что с уменьшением σ_{\max} число циклов до разрушения N увеличивается и кривая выносливости имеет горизонтальную асимптоту. График, приведенный на рисунке 10 представляет собой вид классической диаграммы усталости. На базе испытаний 10^6 циклов можно определить предел усталости, который соответствует $\sigma_{-1} = 150$ МПа.

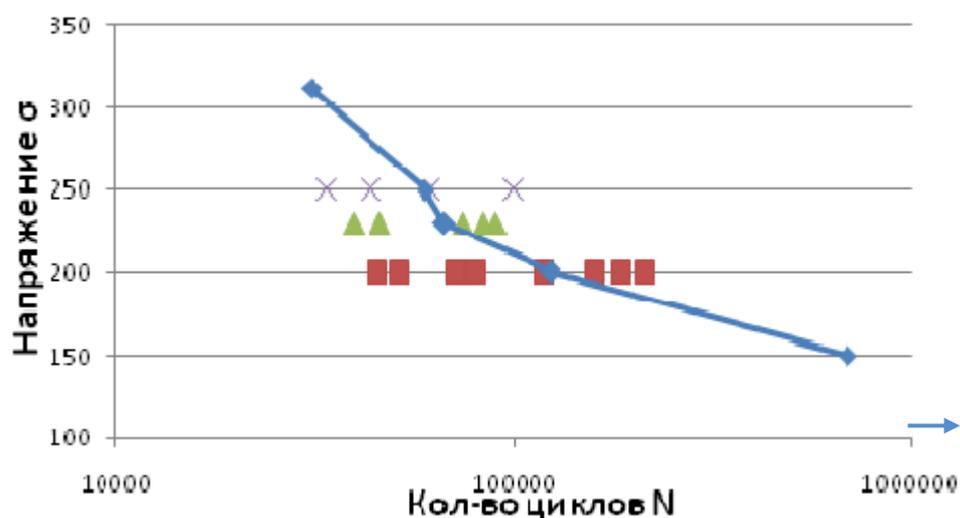


Рисунок 10 – Зависимость напряжения от количества циклов (кривая Велера)

Заключение

По результатам анализа графиков зависимостей распределения количества трещин от их длины следует, что количество микротрещин образующихся на поверхности образцов, а также их длина, зависит от напряжения.

При анализе приращения количества циклов нагружения от длины магистральной трещины для образцов, испытанных при разном напряжении можно сделать вывод о том, что при большем значении максимального напряжения цикла, магистральная трещина достигает одной и той же длины при меньшем количестве циклов испытания.

Сравнив зависимости среднего количества трещин, зарегистрированных при испытании с различным напряжением цикла, от различных напряжений цикла, можно сделать вывод, что среднее количество трещин достигает максимального значения при $\sigma = 230$ МПа, тогда как при последующих по величине напряжениях цикла количество трещин уменьшается.

Как итоговый результат работы был построен фрагмент диаграммы усталости по испытаниям классического вида. На базе испытаний 10^6 циклов определили предел усталости, который соответствует $\sigma_{-1} = 150$ МПа.