

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ПРОЧНОСТИ

На правах рукописи

ПОНОМАРЕВ Сергей Леонидович

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ
МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ
КОНСТРУКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ КОНЦЕНТРАЦИИ
НАПРЯЖЕНИЙ И ФРЕТТИНГ-КОРРОЗИИ

01.02.06 – Динамика, прочность машин,
приборов и аппаратуры

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев 1992

Работа выполнена в Институте проблем прочности Академии наук Украины

Научный руководитель: академик АН Украины, доктор технических наук, профессор В.Т.Трощенко

Официальные оппоненты: академик ТА Украины, доктор технических наук, профессор Канарчук В.Е.

кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Дегтярев В.А.

Ведущее предприятие: Институт проблем надежности и долговечности машин АН Белоруссии

Защита состоится "24" декабря 1992 г. в 9 час 30 мин. на заседании специализированного совета Д 016.33.01 при Институте проблем прочности Академии наук Украины по адресу: 252014, Киев-14, ул.Тимирязевская, 2, Институт проблем прочности.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института.

Автореферат разослан "24" ноября 1992 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
доктор техн.наук

Ф.Ф.Лигиняк



ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00691469 (Z)

Ар 26.031

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Среди проблем конструкционной прочности материалов важное место занимает задача прогнозирования усталостной долговечности конструктивных элементов, материал которых испытывает совместное воздействие концентрации напряжений и фреттинг-коррозии. Сложность данной задачи обусловлена тем, что физическая природа концентрации напряжений и фреттинг-коррозии различна. В то же время требуется общий подход для учета их суммарное повреждающее действие и взаимного влияния. Такой подход до настоящего времени еще не выработан.

Кроме того не существует пока полной ясности относительно сущности процесса фреттинг-коррозии. Можно сказать лишь, что фреттинг представляет собой сложное явление, являющееся результатом целого комплекса процессов, таких как механический износ поверхностей, химические реакции взаимодействующих материалов и внешней среды, адгезия и схватывание поверхностей, тепловые явления, возникновение температурной э.д.с. и ряда других. Поэтому попытки учесть влияние фреттинга на долговечность материалов используя только подходы механики редко дают положительные результаты. Необходимо выявление комплексных параметров, всесторонне характеризующих действие данного повреждающего фактора. Однако этому вопросу до настоящего времени посвящено ограниченное количество работ.

Совместное действие фреттинг-коррозии и концентрации напряжений является причиной разрушения конструкций многих видов объектов техники. Полностью исключить присутствие этих факторов в узлах и соединениях практически невозможно. В связи с этим актуальной представляется разработка методов, позволяющих получить достоверный прогноз долговечности конструктивных элементов на стадии их разработки, до изготовления и ввода в эксплуатацию, с целью обеспечения надежности, долговечности и безопасности разрабатываемой техники.

Цель работы - исследование влияния концентрации напряжений и фреттинг-коррозии на характеристики сопротивления усталости конструктивных сталей и разработка метода прогнозирования усталостной долговечности конструктивных элементов с учетом совместного воздействия данных повреждающих факторов.

На защиту выносятся:

- методика определения характеристик сопротивления уста-

лости, неупругих деформаций и параметров фреттинг-коррозии конструкционных сталей;

- методика определения характеристик сопротивления усталости модельных узлов крепления;

- методика определения характеристик сопротивления усталости узлов крепления дисковых колес;

- результаты экспериментальных исследований усталости, неупругости и фреттинг-коррозии малоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей;

- результаты экспериментальных исследований характеристик сопротивления усталости модельных узлов крепления, а также узлов крепления натуральных дисковых колес;

- метод прогнозирования усталостной долговечности узлов крепления и конструкционных сталей.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 работ.

Объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и приложения. Работа содержит 220 страниц машинописного текста, 62 рисунков, 17 таблиц и списка использованных источников из 104 наименований.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы были доложены и обсуждены на Всесоюзном научно-техническом совещании "Динамика и прочность автомобиля" (Москва, 1984 г.), на II Всесоюзной научно-технической конференции "Надежность и долговечность машина и приборов" (Куйбышев, 1984 г.), на III Конференции молодых ученых Института проблем прочности АН УССР "Прочность материалов и элементов конструкций с учетом реальных условий эксплуатации" (Киев, 1987 г.), на III Всесоюзном научно-техническом совещании "Динамика и прочность автомобиля" (Москва, 1988 г.), на тематическом семинаре Института проблем прочности АН Украины "Усталость, термоусталость и механика разрушения" (Киев, 1992 г.).

Научная новизна работы.

Выявлены закономерности влияния концентрации напряжения и фреттинг-коррозии на характеристики сопротивления усталости конструкционных сталей. Установлены параметры материалов, отражающие их чувствительность к воздействию указанных повреждающих факторов при циклическом нагружении. Показана связь между уровнем циклической пластичности конструкционных сталей и снижением их долговечности под влиянием концентрации напряжений. Показана роль поверхностного слоя материала в процессе неупругого деформирования

стали и влияние неупругости на долговечность стали при наличии дефектов поверхности. Впервые для анализа работоспособности конструкционных сталей в условиях фреттинга использованы специальные параметры, отражающие интенсивность электрохимических процессов в очаге фреттинг-коррозии. Такими параметрами являются:

Q - полный заряд, выделяющийся в фреттинг-паре в течение долговечности до разрушения образца, а также q - удельный заряд, выделяющийся в фреттинг-паре в течение одного цикла нагружения. Предложена расчетная зависимость, описывающая кривую усталости конструкционного элемента, материал которого работает в условиях совместного воздействия концентрации напряжения и фреттинг-коррозии. Установлен механизм разрушения конструкционных элементов - узлов крепления - при совместном воздействии данных повреждающих факторов.

Практическая ценность. Предложен метод прогнозирования долговечности конструкционных элементов типа "узел крепления". Разработана методика, реализующая данный метод. Предложен способ повышения характеристик сопротивления усталости узлов крепления путем защиты поверхности деталей от воздействия фреттинга. Обоснован экспериментальный поиск оптимальных материалов и толщин защитных покрытий.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе выполнен анализ литературы, посвященной вопросам прогнозирования и расчета характеристик прочности деталей и элементов конструкций, работающих в условиях циклических нагрузок при наличии конструкционных, технологических и эксплуатационных повреждающих факторов. В качестве основополагающих отмечены работы Афанасьева Н.Н., Биргера И.А., Даулинга Н.Е., Клеснило М., Кобаева В.П., Лукаша П., Махутова Н.А., Серенсена С.В., Трощенко В.Т., Хейвуда Р.Б., Шнейдеровича Р.М., и др. Проведена классификация рассмотренных методов по общности применяемых подходов, проанализированы их достоинства и недостатки.

Отмечено, что в настоящее время вопрос определения усталостной долговечности конструкционных элементов с учетом одно-временного действия фреттинг-коррозии и концентрации напряжений разработан недостаточно, в связи с чем сформулированы задачи настоящей работы:

- исследовать влияние концентрации напряжения и фреттинг-коррозии на характеристики сопротивления усталости конструкцион-

ных сталей;

- найти параметры, определяющие степень воздействия повреждающих факторов на долговечность исследуемых материалов;

- установить механизм разрушения конструкционного элемента при наличии совместного воздействия фреттинга и концентрации напряжения;

- разработать метод прогнозирования долговечности конструкционных элементов, материал которых находится под воздействием концентрации напряжения и фреттинг-коррозии;

- выработать рекомендации по повышению долговечности конструкционных элементов типа "узел крепления".

Во второй главе содержатся сведения об экспериментальном оборудовании, методах проведения исследований и исследуемых материалах.

Весь цикл экспериментальных работ, выполненных в объеме данной работы, состоит из трех этапов. На первом этапе исследование раздельного влияния концентрации напряжения и фреттинг-коррозии на характеристики сопротивления усталости конструкционных сталей выполнялось на типовых лабораторных образцах. При этом использовались установки УРС-50/50 и МУН-2.

На втором этапе совместное воздействие повреждающих факторов имитировалось на специально разработанных модельных узлах крепления, для нагружения которых использовалась установка УМП-02-04.

На третьем этапе проверка результатов и выводов, полученных в данной работе осуществлялась путем проведения испытаний реальных объектов: дисковых автомобильных колес типа Б.00Р-15 и 7.0-20, для усталостного нагружения которых использовались специальные стенды ЦКТБ КП (г.Челябинск).

Материалами, на которых проводились исследования, являются малоуглеродистые стали 15кп, 20кп и низколегированные 08Г2СЮТ, 20ГЮТ, 22Г2ТЮ и 15Г2АФДис. При испытаниях использовались образцы трех типов: гладкие образцы, образцы с геометрическим концентратором напряжений и образцы с очагом фреттинг-коррозии.

Очаг фреттинг-коррозии создавался с помощью специальных П-образных накладок (см. рис. 1) с базой $l = 10$ мм. Накладки прижимались к поверхности образца при помощи динамометрического кольца.

Испытания образцов с очагами фреттинг-коррозии сопровожда-

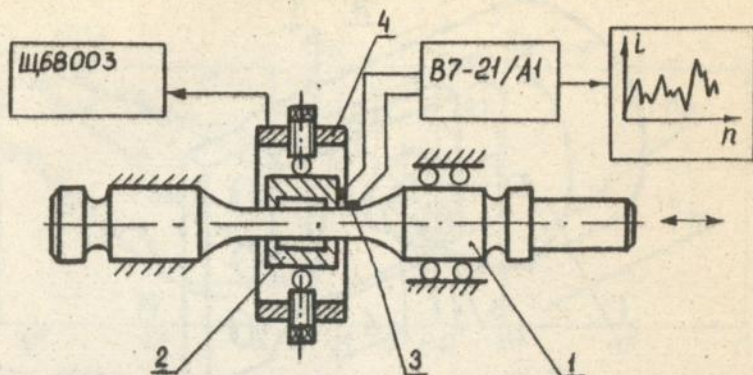


Рис. 1. Схема испытаний образцов с очагом фреттинг-коррозии
1 - образец; 2 - накладка; 3 - контакт; 4 - динамометрическое кольцо.

лись измерением микротока фреттинга i . Для регистрации кинетики микротока $i(n)$ (n - текущее значение числа циклов нагружения) на поверхностях накладки и образца вблизи зоны их контакта были установлены электроды, подключенные к высокочувствительному цифровому вольтметру, позволяющему регистрировать ток до 10^{-11} А.

По результатам данных измерений вычислялись значения следующих величин:

а) заряда Q , выделившегося в очаге фреттинга в течение полной долговечности N до разрушения образца:

$$Q = \int_0^{t_N} i(t) dt,$$

б) удельного заряда q , выделяющегося в очаге фреттинга за один цикл нагружения:

$$q = \frac{Q}{N}.$$

При испытании гладких образцов выполнялось измерение величины неупругой деформации методом динамической петли гистерезиса.

Для имитации совместного воздействия концентрации напряжения и фреттинг-коррозии, имеющего место в конструкционном элементе, был разработан специальный модельный узел крепления. Он имитирует узел крепления дискового автомобильного колеса в двух исполнениях: по ГОСТ 10409-74 и ИСО 4107-79. Общий вид модельного узла, выполненного по ИСО 4107-79 показан на рис. 2. Он

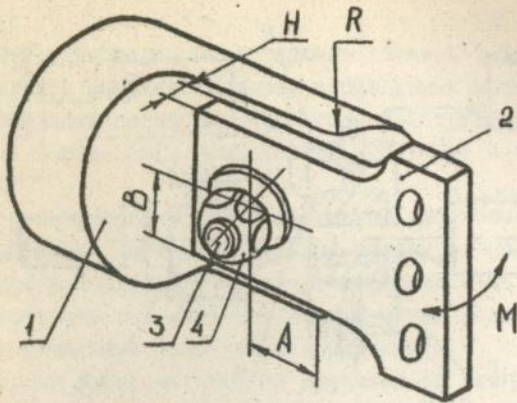


Рис. 2. Модельный узел крепления
1 - захват; 2 - образец; 3 - шпилька; 4 - гайка.

состоит из захвата I, образца 2 и специальных крепежных деталей 3 и 4.

В конструкции модельного узла максимально учтены конструкционные и технологические особенности реальной конструкции: геометрические размеры, технология обработки и шероховатости поверхностей, внешние силовые факторы.

Третья глава посвящена исследованию влияния концентрации напряжений и фреттинг-коррозии на характеристики сопротивления усталости конструкционных сталей.

Проведены комплексные испытания сталей 15кп, 20кп, 22Г2ТЮ, 08Г2СЮТ, 15Х2АФДлс. Результаты приведены на рис. 3 и 4. Снижение характеристик сопротивления усталости исследованных материалов оценивалось эффективным коэффициентом концентрации напряжений

K_{σ} и коэффициентом влияния фреттинг-коррозии $K_{Фр}$, определяемых как

$$K_{\sigma} = \frac{\sigma_a}{\sigma_{ак}} ; \quad K_{Фр} = \frac{\sigma_a}{\sigma_{аФр}} ,$$

где $\sigma_a, \sigma_{ак}, \sigma_{аФр}$ - амплитуды номинальных разрушающих напряжений для гладких образцов, образцов с концентратором напряжений и образцов с очагом фреттинг-коррозии при фиксированном значении числа циклов до разрушения N .

На основе полученных результатов выполнен анализ механических характеристик исследованных материалов с целью определения

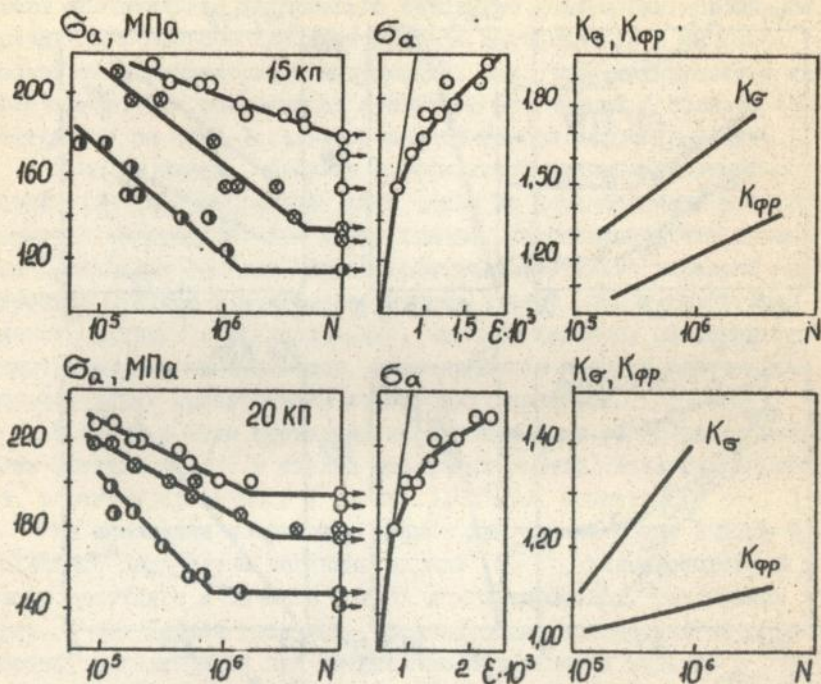


Рис. 3 Результаты испытаний сталей 15кп и 20кп
 ○ — гладкие образцы; ● — образцы с концентратором напряжений; ⊙ — образцы с очагом фреттинг-коррозии.

критериев, позволяющих оценивать их способность сопротивляться воздействию концентрации напряжений и фреттинг-коррозии при условии раздельного действия данных факторов. В качестве таких параметров рассмотрен ряд характеристик статической и усталостной прочности материалов, а именно: предел прочности σ_a , предел текучести σ_T , относительное удлинение δ , предел выносливости σ_{-1} , циклический предел упругости σ_{cy} , уровень неупругих деформаций $\Delta \epsilon_n$, критерий И.А.Одинга $V = E(\Delta \epsilon_n / \sigma_{-1})$, а также комбинированные параметры $\sigma_{cy} / \sigma_{-1}$, $\sigma_{-1} - \sigma_{cy}$, $(\sigma_{-1} - \sigma_{cy}) / \sigma_{-1}$.

Результаты анализа показывают следующее:

Чувствительность материала к воздействию концентрации напряжений, выражающаяся коэффициентом K_σ , наилучшим образом коррелирует с величиной неупругих деформаций. Установлено, что те из исследованных сталей, которые при циклическом нагружении

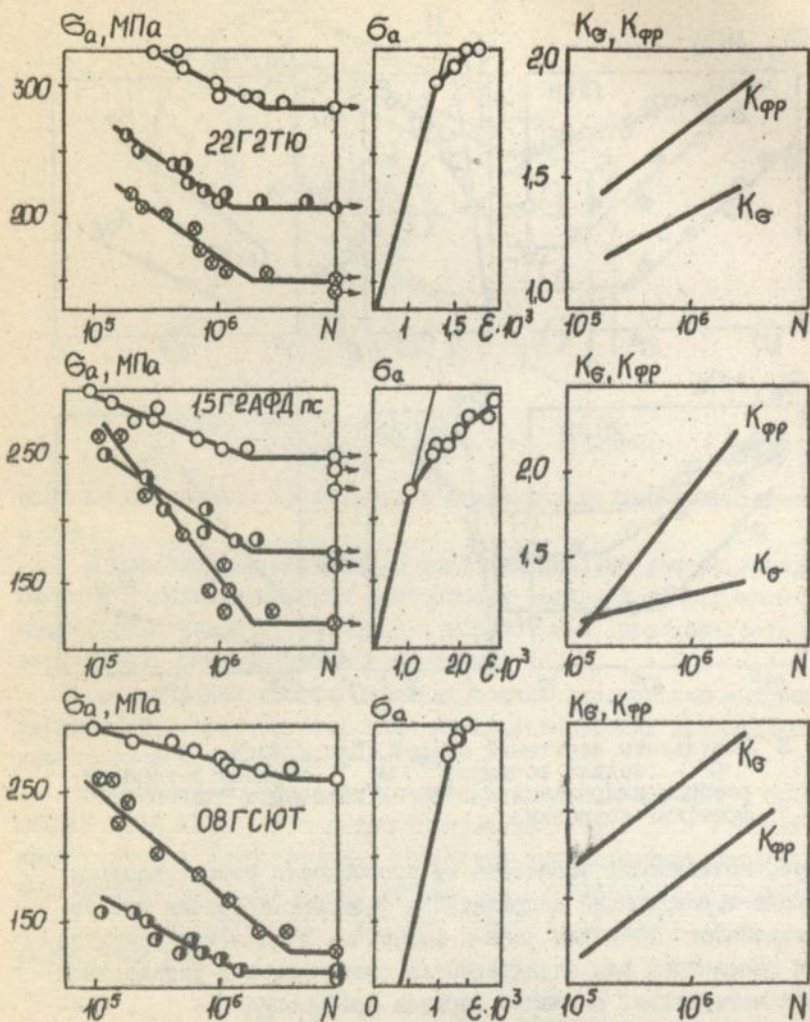


Рис. 4 Результаты испытаний сталей 22Г2ТЮ, 15Г2АФДпс, 08Г3ЮТ

○ - гладкие образцы; ● - образцы с концентратором напряжений; ⊗ - образцы с очагом фреттинг-коррозии.

имеют значительные циклические неупругие деформации, проявляют значительно меньшее снижение предела выносливости в условиях воздействия концентрации напряжений, чем стали неупругостью не обладающие. Это объясняется снижением напряжений в области концентратора за счет локального пластического деформирования.

В то же время, величина коэффициента влияния фреттинг-коррозии $K_{ФР}$ не коррелирует ни с одним из перечисленных выше параметров материалов. При этом, однако, установлено, что снижение предельных напряжений под действием фреттинга выражено значительно сильнее у низколегированных сталей, чем у малоуглеродистых. Выдвинуто предположение, что это является следствием электрохимических процессов, развивающихся в очаге фреттинга и обусловленных присутствием легирующих элементов.

В связи с этим проведены исследования по регистрации микротока фреттинга i у сталей различных сортов. Кинетика микротока, зарегистрированного у стали 15Х2АФДпс, показана на рис. 5 а.

На основании полученных данных для сталей 15кп, 22Г2ТЮ и 15Х2АФДпс определены величины заряда Q , выделившегося в очаге фреттинга в течение полной долговечности до разрушения (рис. 5 б). Данная величина отражает общее количество заряженных частиц, выделившихся при разрушении поверхности металла в очаге фреттинга. Таким образом заряд Q пропорционален массе материала, подвергнутого электрохимическому разрушению, и, следовательно, отражает интенсивность повреждения поверхности детали при фреттинге.

Результаты экспериментов показывают наличие существенной разницы в интенсивности процесса электрохимического повреждения у различных исследованных сталей. Установлена зависимость между величиной заряда Q , выделяющегося в очаге фреттинга в течение долговечности до разрушения образца и коэффициентом влияния фреттинг-коррозии $K_{ФР}$ (рис. 5 в). Наличие такой зависимости свидетельствует о том, что при выработке подхода к прогнозированию долговечности конструкции, испытывающей воздействие фреттинга, необходимо учитывать процесс электрохимического разрушения материала.

Четвертая глава посвящена разработке и применению методики прогнозирования усталостной долговечности конструктивных элементов, материал которых находится в условиях совместного воздействия концентрации напряжения и фреттинг-коррозии.

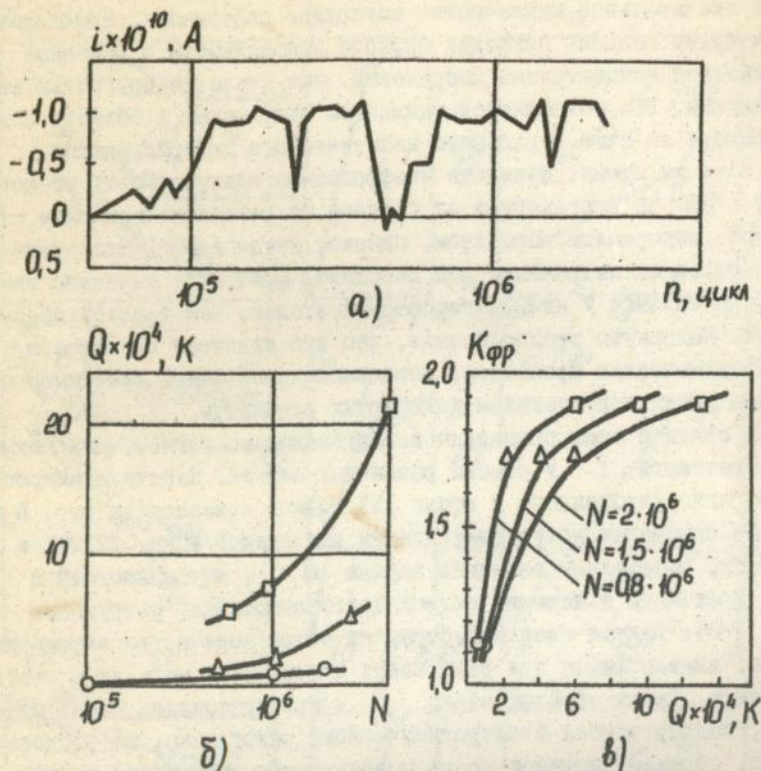


Рис. 5 Результаты исследований электрохимических процессов в очаге фреттинг-коррозии
 а) кинетика микротока I (n); б) зависимости величины полного заряда Q от долговечности до разрушения N ; в) зависимость $K_{фр}(Q)$ для различных значений долговечности; \circ - сталь 15 кп; Δ - сталь 22Г2ТЮ; \square - сталь 15Г2АФДис.

С целью определения основного фактора, определяющего механизм зарождения и развития усталостного разрушения конструкционного элемента при совместном действии концентрации напряжения и фреттинга выполнен фраттографический анализ изломов образцов модельных узлов. Результаты анализа показывают, что разрушение образцов вследствие концентрации напряжений имеет место только при малых долговечностях ($N < 10^6$). При больших долговечностях (соответствующих уровню эксплуатационных нагрузок конструкции) зарождение усталостных трещин происходит не в местах максималь-

ной концентрации напряжений, а в зоне наиболее интенсивной фреттинг-коррозии. При этом трещина имеет характерный для трещин от фреттинга наклон на начальном участке.

Аналогичные результаты получены как при стационарном циклическом нагружении, так и при нестационарном блочном нагружении, воспроизводящем реальный эксплуатационный спектр нагрузок узла крепления автомобильного колеса. Отсюда следует вывод о том, что для исследуемых конструктивных элементов в характерном для них диапазоне долговечностей ($N > 10^6$) фреттинг играет роль основного повреждающего фактора, определяющего их усталостную долговечность. При этом роль концентрации напряжений заключается в создании условий, в которых развивается фреттинг-процесс.

Принимая во внимание изложенное выше, снижение уровня предельных напряжений в конструкционном элементе предлагается учитывать с помощью коэффициента $K_{фб}(N)$, учитывающего совместное влияние фреттинг-коррозии, развивающейся в условиях концентрации напряжений:

$$\sigma_{акз}(N) = \frac{\sigma_a(N)}{K_{фб}(N)}, \quad (I)$$

где $\sigma_{акз}(N)$, $\sigma_a(N)$ - амплитуды разрушающих напряжений, соответственно, в конструкционном элементе и в гладком образце.

Для определения формы представления $K_{фб}(N)$ выполнен анализ литературных источников, посвященных исследованиям механизма фреттинга. Из всех совокупности процессов, образующих это сложное явление, выделены две составляющие, обладающие наибольшим повреждающим действием. А именно:

1. Механическое повреждение поверхностей, обусловленное их относительным взаимным перемещением.
2. Электрохимическое разрушение контактирующих поверхностей.

Первая составляющая характеризуется амплитудой взаимного перемещения деталей (амплитудой взаимного скольжения) A_c , а вторая - удельным электрическим зарядом, выделяющимся за один цикл нагружения q . В то же время обе составляющие имеют общий источник, физическую причину - перемещение поверхностей, обусловленное циклической деформацией деталей под действием переменной нагрузки. Являясь функцией амплитуды полной деформации, величины A_c и q связаны с долговечностью до раз-

рушения N .

Учитывая вышеизложенное и исходя из предположения о линейной зависимости коэффициента $K_{\Phi_6}(N)$ от главных параметров, характеризующих интенсивность разрушения при фреттинге A_c и q , выражение (1) может быть представлено в форме:

$$\sigma_{акз}(N) = \frac{\sigma_a(N)}{K_c A_c (\varepsilon_a, N) + K_3 q (\varepsilon_a, N)}, \quad (2)$$

где K_c и K_3 - экспериментально определяемые константы фреттинг-пары материалов, ε_a - амплитуда полной деформации.

Для определения значений K_c и K_3 предлагается использовать кривые усталости гладких образцов и образцов с фреттинг-накладками, производную от них зависимость $K_{\Phi_6}(N)$, а также диаграмму циклического деформирования, полученную при измерении неупругости на гладких образцах.

Выражение (2) представляет собой уравнение кривой усталости конструкционного элемента, материал которого испытывает совместное воздействие фреттинг-коррозии и концентрации напряжения.

Таким образом предложена методика прогнозирования усталостной долговечности конструкционного элемента, основанная на использовании уравнения (2) и определения входящих в его состав физических величин и констант путем проведения комплексных испытаний образцов используемого в конструкции материала.

Проверка работоспособности данной методики выполнена на модельных узлах крепления для двух материалов и двух толщин образцов, входящих в состав модельного узла. Построены соответствующие расчетные кривые усталости (рис. 6). Исходными данными для расчета являются результаты испытаний на усталость гладких образцов, образцов с концентратором и образцов с очагом фреттинга с измерением неупругих деформаций и микротоков фреттинга, описанные в третьей главе.

Проведено сравнение результатов и экспериментальных кривых усталости. Сравнительный анализ показывает, что расчетные и экспериментальные данные хорошо коррелируют между собой. Погрешность определения предела выносливости (на базе 10^7 циклов) составляет 12...15%, а в области ограниченной долговечности расчет обеспечивает консервативную оценку с погрешностью не более 17%.

Величина погрешности определения долговечности до разрушения лежит в пределах от 72% и 115%, что обеспечивает удовлет-

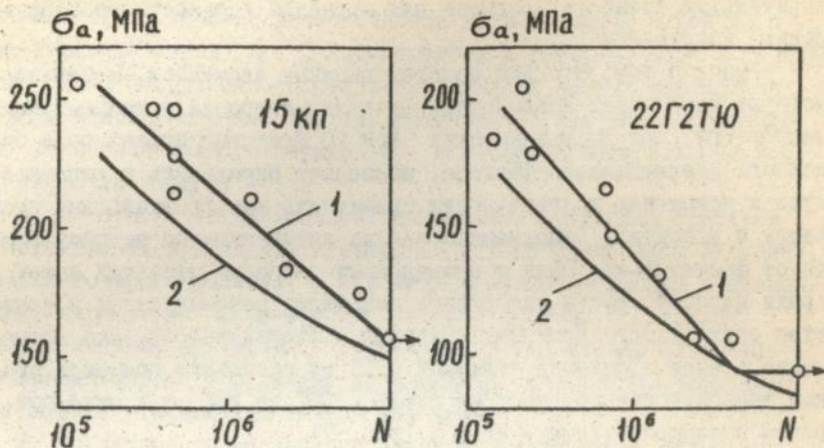


Рис. 6 Результаты прогнозирования долговечности модельных узлов крепления
 1 - экспериментальные кривые усталости;
 2 - расчетные кривые усталости.

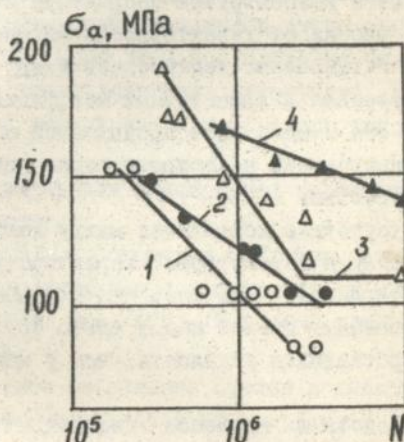


Рис. 7 Результаты применения антифреттинговых покрытий
 1 - колесо (сталь 15кп, без покрытия);
 2 - колесо (сталь 15кп, прокладка: фторопласт Ф4);
 3 - модельный узел (сталь 22Г2ТЮ, без покрытия);
 4 - модельный узел (сталь 22Г2ТЮ, покрытие: фторопласт Ф4).

ворительную точность прогноза для процесса усталостного разрушения конструкций.

Вывод о том, что для конструкционных элементов, материал которых испытывает воздействие фреттинг-коррозии и концентрации напряжений, при долговечностях $N > 10^6$ фреттинг играет роль основного повреждающего фактора, позволяет определить в качестве пути к повышению долговечности применение антифреттинговых прокладок и покрытий. Выполненный анализ литературы по вопросу защиты от фреттинг-коррозии и проведенный экспериментальный поиск среди широкой группы материалов позволяет рекомендовать в качестве оптимального защитного материала фторопласт Ф4. Его применение в виде прокладки толщиной 0,15 мм позволило повысить предел выносливости образцов из стали 20ГЮТ на 16%, а в виде покрытия толщиной 0,1 мм - на 30% (рис. 7).

ВЫВОДЫ

1. Проведены исследования многоциклового усталости малоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей в условиях воздействия концентрации напряжений и фреттинг-коррозии. Получены характеристики, определяющие влияние данных повреждающих факторов на сопротивление усталости исследованных материалов.

2. Для исследованных сталей выполнен анализ зависимости эффективного коэффициента концентрации напряжений и коэффициента влияния фреттинг-коррозии от характеристик механической прочности и пластичности. Установлена взаимосвязь между уровнем неупругих деформаций материала и эффективным коэффициентом концентрации напряжений. Эта взаимосвязь проявляется в снижении влияния концентрации напряжений на сопротивление усталости сталей, обладающих неупругостью.

3. Установлено отсутствие корреляции между коэффициентом влияния фреттинг-коррозии и параметрами, характеризующими механическую прочность материалов. Показано, что в условиях фреттинг-коррозии у низколегированных сталей имеет место большее снижение характеристик сопротивления усталости, чем у малоуглеродистых.

3. Проведены исследования процесса электрохимического повреждения поверхности материалов в очаге фреттинг-коррозии. Получены параметры, определяющие интенсивность этого процесса. Такими параметрами являются полный заряд Q , выделяющийся в

фреттинг-паре в течение долговечности до разрушения образца, а также удельный заряд q , выделяющийся в фреттинг-паре в течение одного цикла нагружения. Определены значения данных параметров для ряда конструкционных сталей. Установлено наличие корреляции между величиной полного заряда Q и коэффициентом влияния фреттинг-коррозии $K_{фр}$.

4. На основе установленной зависимости предложен критерий для определения предельных напряжений в конструкционном элементе, материал которого работает в условиях фреттинг-коррозии и концентрации напряжений. Предложенный критерий позволяет учитывать взаимное влияние фреттинга и концентрации напряжений путем использования общего для данных повреждающих факторов определяющего параметра - амплитуды полной деформации.

5. На основе предложенного критерия разработана методика прогнозирования долговечности конструкционного элемента типа "узел крепления". Методика позволяет строить кривую усталости конструкционного элемента, используя в качестве исходных данных результаты испытаний стандартных гладких образцов, а также аналогичных образцов с очагами фреттинг-коррозии. Проведена экспериментальная проверка методики на модельных узлах крепления из малоуглеродистых и низколегированных сталей.

6. Предложен способ повышения характеристик сопротивления усталости конструкционных элементов путем применения антифреттинговых покрытий. Проведены исследования защитных свойств ряда металлических и неметаллических материалов. Установлено, что наиболее высокой эффективностью обладает покрытие из фторопласта Ф4.

Основные результаты выполненной работы нашли отражение в следующих публикациях:

1. Цыбанев Г.В., Пономарев С.Л. Повышение точности поддержания режимов нагружения при испытаниях на многоцикловую усталость на установках типа УРС //Проблемы прочности. - 1973. - № 10, с. 108-111.

2. Усталостное разрушение сталей и дисков колес автомобилей и рекомендации по их расчетам на прочность. Влияние различных факторов на характеристики сопротивления усталости сталей и колес /Трошенко В.Т., Цыбанев Г.В., Пономарев С.Л. и др. АН УССР. Ин-т пробл.прочности. - Препр. - Киев, 1988. - 46 с.

3. Усталостное разрушение сталей и дисков колес автомобилей и рекомендации по их расчетам на прочность. Испытания и расчет долговечности автомобильных колес с учетом трещиностойкости их материала /Трощенко В.Т., Цыбанев Г.В., Пономарев С.Л. и др. АН УССР, Ин-т пробл.прочности. - Препр. - Киев, 1988. - 33 с.

4. Оценка применимости материалов в дисках автомобильных колес по результатам усталостных испытаний образцов /В.Т.Трощенко, Г.В.Цыбанев, С.Л.Пonomарев и др. //Динамика и прочность автомобиля: Тез.докл. Всесоюзного научно-технического совещания. - Москва, 1984. - С. 76-77.

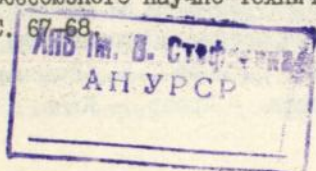
5. Метод расчета усталостной долговечности дисковых колес грузовых автомобилей /В.Т.Трощенко, Г.В.Цыбанев, С.Л.Пonomарев и др. // Динамика и прочность автомобиля: Тез.докл. III Всесоюзного научно-технического совещания. - Москва, 1988. - С. 123-124.

6. Цыбанев Г.В., Пономарев С.Л., Хоцяновский А.О. Оценка возможности повышения ресурса изделий на основе учета эксплуатационных и конструкционных факторов, действующих в силовых узлах //Надежность и долговечность машин и приборов: Тез.докл. II Всесоюзной научно-технической конференции. - Куйбышев, 1984. - С. 98-99.

7. Пономарев С.Л. Методика и результаты исследования усталостных характеристик колесных сталей и узлов крепления автомобильных колес //Прочность материалов и элементов конструкций с учетом реальных условий эксплуатации: Тез.докл. III Конференции молодых ученых Института проблем прочности АН УССР. - Киев, 1987. - С. 35-36.

8. Пономарев С.Л., Цыбанев Г.В. Расширение функциональных возможностей испытательного оборудования на абазе электрогидравлической машины с замкнутой системой управления //Оборудование и средства для механических испытаний материалов: Тез.докл. Всесоюз.симпоз. - Армавир, 1987. - С. 145-146.

9. Цыбанев Г.В., Пономарев С.Л. Методики и результаты экспериментальной оценки характеристик сопротивления усталостному разрушению дисков автомобильных колес //Динамика и прочность автомобилей: Тез.докл. III Всесоюзного научно-технического совещания. - Москва, 1988. - С. 67-68.



Подп. к печ. 20. XI. 92. Формат 60x84/16.
Бум.офс. Офс.печ. Усл. печ.л. 0,82.
Усл. кр.-отт. 0,94. Уч. -изд.л. 0,88.
Тираж 100 экз. Заказ 378. Бесплатно.

Участок роталитной печати ОНТИ АН Украины.
252014 Киев 14, ул.Тимирязевская, 2

408818

AB 26.031

AB 26.031