

3. Артемьян Г. Я. Виброакустичность вращающихся двигателей малой мощности // Тез. докл. V Всесоюз. НТК «Динамические режимы работы электромашин и электроприводов». — Каунас, 1988. — Ч. 1 — С. 9—10.
4. Филиппов А. П. Колебания деформируемых систем. — М.: Машиностроение, 1970. — 734с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLII, № 5, 1989, с. 213—218

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 620.194.8

М. Г. СТАКЯН, Г. А. МАНУКЯН

О ФОРМЕ КРИВОЙ КОРРОЗИОННОЙ УСТАЛОСТИ ПРИ СЛОЖНОМ НАГРУЖЕНИИ

Дана сравнительная оценка соответствия различных моделей коррозионно-усталостного разрушения реальному физическому процессу. Предложена модель в виде двух семейств кривых коррозионной усталости, имеющих разный наклон в области высоких и низких перенапряжений и точку перелома в области $N = 1-3 \cdot 10^6$ циклов. Проведены массовые испытания на коррозионную усталость при комбинированном действии циклически нормальных и статически касательных напряжений и произведено статистическое исследование параметров сопротивления усталости. Дана сравнительная оценка точности предложенной модели по сравнению с результатами экспериментальной и статистической долговечности и показано, что её применение уточняет расчетные значения этих величин соответственно на 1,05—1,25 и 1,25—3,5 раз.

Ил. 2. Табл. 1. Библиогр. 7 назв.

Տրված է հոսողին լոցնումային բաղադրակ տարրեր մոդելների իրական ֆիզիկական պրոցեսին համապատասխանելու համեմատական գնահատականը Առաջարկված է մոդելի հոսողին լոցնումային կորիզի երկու բևեռներների տեսքով, որոնք բարձր և ցածր դիմադրականների գոտում սեղև տարրեր թեթևամոթյուններ և բեկման կետ $N = 1-3 \cdot 10^6$ ցիկլերի միջափայտում: Համասեղ գործող սրկային նորմալ և ստատիկ շոշափող բարտներին դեպքում հատարված է և հոսողին լոցնումային ցանցվածային փորձարկումներ և իրագործված է Լոցնումային դիտարկության պարամետրերի միջակայքական ճեղատոտումը: Կատարված է անուշարկված մոդելի համաժային համեմատական գնահատումը բազմ գնահատականային անվանակր սրկային երկարակետային և զույգ է արված, որ որակը նախանկան արժեքները մոդելի կիրառման դեպքում ճշգրտված է և նամտարտասխանարտը (1,05—1,25) և (1,25—3,5) անգամ:

Исследование сопротивления коррозионной усталости с целью уточнения расчетных методик на прочность и долговечность деталей машин, работающих в условиях коррозионных сред (прокатное, буровое и камнерезное оборудование, строительво-дорожные машины, морской и речной транспорт и др.), имеет важное народохозяйственное значение, т. к. коррозионные разрушения составляют около 30% из общего числа отказов в промышленности [1] и в связи с интенсивным освоением новых регионов страны, увеличением производительности машин и технологического оборудования имеют тенденцию роста.

Существующие математические модели, описывающие процесс коррозионно-усталостного разрушения деталей машин, не соответствуют современному уровню расчетных оценок характеристик сопротивления коррозионной усталости: в одних случаях они приводят к недооценке степени повреждаемости коррозионного воздействия, а в других — необоснованному завышению запасов прочности и долговечности, без надлежащей статистической оценки рассеяния результатов испытаний. Несмотря на значительный объем коррозионных испытаний, которые фактически выполнены без определенного системного подхода, описывающие их модели несовершенны, т. к. не учитывают всего многообразия протекания процессов разрушения и их взаимовлияния в широком интервале циклических долговечностей. В настоящее время существуют следующие типы моделей: а) ломаная и двойная ломаная [2] прямые в координатах $\sigma - \lg N$; б) прямая линия [3] в координатах $\lg \sigma - \lg N$, получившая наибольшее распространение.

Целью данной работы является уточнение формы и вида кривой коррозионной усталости с учетом разного характера протекания процессов разрушения и влияния переменного сложно-напряженного состояния (комбинированное действие циклически нормальных и статически касательных напряжений), свойственного реальным режимам нагружения валов передаточных механизмов. Для этого проведены массовые испытания на коррозионную усталость образцов из стали 45 ($d = 12$ мм, $r = 0,6$, нормализация, $\sigma_{-1} = 680$ МПа, $\sigma_{-1} = 255$ МПа) на стенде, работающем по принципу замкнутого силового контура и снабженном специальной коррозионной камерой [4]. Испытано 160 образцов на 8 уровнях перенапряжений $\sigma_1 = 300, 270, 230, 200, 160, 140, 120$ и 100 МПа, охватывающих интервал долговечностей $N = 10^4 - 10^8$ циклов, который представляет практический интерес для инженерных расчетов.

Для разработки корректной математической модели и использования аппарата корреляционного и регрессионного анализа первоочередное значение имеет установление закона распределения $\lg N$ от уровня $\lg \sigma$, который до настоящего времени из-за длительности и трудоемкости реализации массовых коррозионных испытаний априори принимался гауссовским. Проверка «нулевой гипотезы» соответствия $\lg N$ нормальному закону произведена согласно комплексной вычислительной программе [5] и показано, что по критериям Шапиро-Уилка w , Колмогорова-Смирнова λ , Пирсона χ^2 на уровне надежности вывода $\alpha = 0,05$ вариационные ряды $\lg N$ не противоречат нормальному закону распределения. Графическая интерпретация гипотезы нормального распределения представлена на рис. 1, откуда вытекает второе важное предположение — постоянство дисперсий $s_{\lg N}^2$ от уровня σ . Расчетная проверка однородности дисперсий рядов $\lg N$ по критерию Кофрена подтвердила условие $s_{\lg N}^2 = \text{const}$ на уровне $\alpha = 0,05$.

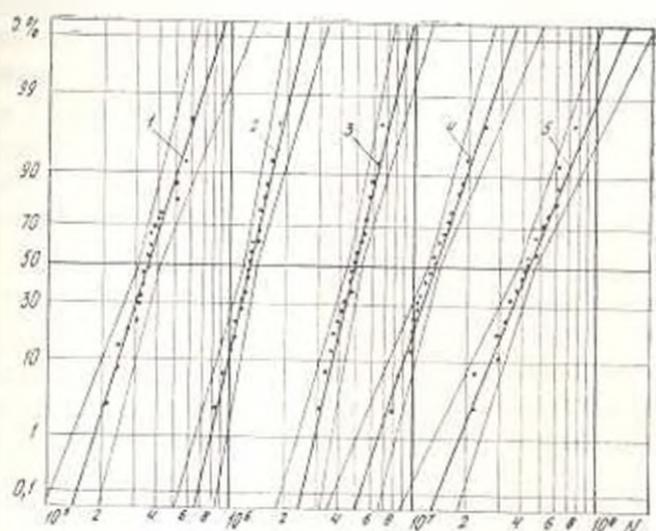


Рис. 1. Эмпирические функции распределения $\lg N$ и их 90%-ые доверительные границы для уровней перенапряжений: 1 — 300 МПа, 2 — 200 МПа, 3 — 140 МПа, 4 — 120 МПа, 5 — 100 МПа.

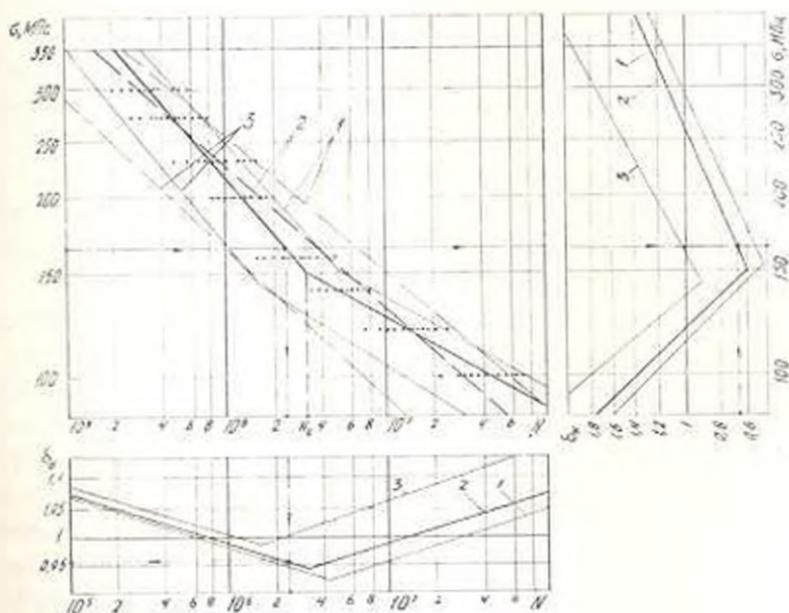


Рис. 2. Сравнительная оценка точности математических моделей. Кривые усталости, рассчитанные: — — — согласно [3]; — — — по предложенной модели. Кривые функции (1), (3), (4) соответствуют 1, 2, 3 — $P(N) = 0,1, 0,5$ и $0,999$.

Характер «естественного» рассеяния $\lg N$ по уровням $\lg \sigma$, вытекающий из природы коррозионно-усталостного разрушения конструкционных сталей (рис. 2), позволяет выбрать математическую модель в виде двух семейств кривых усталости описываемых параметрическим уравнением

$$\lg N = C - m \lg z, \quad (1)$$

где $C = \bar{C} - z_p (s_m \lg z = \lambda_{N_p})$, $m = \bar{m} + z_p s_m$, z_p — квантиль нормированной функции Лапласа, а остальные статистические параметры общеизвестны. Эти семейства имеют разный наклон и точку перелома между зонами долговечностей $N_1 < N_c$ и $N_1 > N_c$ ($N_c = 1 - 3 \cdot 10^6$ циклов), совпадающую с аналогичной точкой кривой усталости, полученной при испытании образцов в воздухе (исходная кривая). Приемлемость предложенной модели подтверждается известными теориями коррозионно-усталостного разрушения конструкционных сталей, преимущественно протекающими на разных уровнях σ — адсорбционно-электрохимической и электрохимической [2, 6]. При высоких σ , соответствующих $N = 10^7 - 10^8$, наблюдается интенсификация адсорбционных процессов из-за сдвигов в изначально существующих «активных» дефектах материала, что приводит к их увеличению и превращению в дальнейшем микро- и макротрещины. Рост дефектов ускоряется также за счет протекания электрохимических (анодных) процессов, действующих в зонах сдвигов и уже образованных микротрещин.

При низких σ , соответствующих $N = 10^7 - 10^8$, влияние адсорбционных процессов в зоне дефектов снижается, поэтому их рост и превращение в коррозионную трещину, в основном, происходит из-за электрохимических процессов, основанных на растворении металла в зоне концентрации напряжений или шероховатостей поверхности вследствие образования гальванической пары «дно трещины — наружная и боковые поверхности трещины».

Преобладающее влияние каждого из указанных процессов разрушения вызывает разный градиент развития микротрещин, что в конечном итоге проявляется в изменении наклона областей рассеяния $\lg N$ в зонах $N_1 < N_c$ и $N_1 > N_c$. Влияние статических касательных напряжений при высоких σ проявляется в упруго-пластическом деформировании тонких поверхностных слоев, а при низких σ — усилении общей напряженности этих слоев, что, не меняя общую закономерность протекания процессов коррозионного разрушения, приводит к изменению лишь наклона и размеров областей рассеяния $\lg N$. Проверка значимости выборочных коэффициентов корреляции и параметров уравнения (1) по критерию Стьюдента показала, что существует высокая корреляционная связь $\lg N$ на $\lg \sigma$ при рассмотрении результатов испытаний в разных зонах N . Это диктует необходимость их отдельной статистической обработки с целью точного определения доверительных границ, оцениваемых квантилями кривых усталости.

Описание результатов испытаний одним лишь семейством кривых усталости является упрощенной методикой, приносящей к неточностям при определении граници рассеяния $\lg N$, в связи с чем она может быть использована в определенном и ограниченном интервале долговечностей либо в приближенных расчетах. Выводы подтверждаются графическим построением семейств кривых усталости согласно [3] и по предложенной методике (рис. 2), а также сопоставлением параметров рассеяния $\lg N$ (таблица).

Таблица

Модель корр. разр.	$\lg N$	$\lg \sigma$	m	C	δ_{RN}	$[\sigma]$	
1	6,5057	2,2275	4,2434	15,9579	0,1824	0,9687	
2	$N_I < N_O$	5,9852	2,3435	3,4093	13,9749	0,1315	9,9494
	$N_I > N_O$	6,9529	2,1073	6,2796	20,1862	0,1426	0,9593

Для количественной оценки расхождения расчетных значений ограниченных пределов выносливости σ_{RN} и циклических долговечностей N определим относительные ошибки по прочности и долговечности

$$\delta_2 = \frac{\sigma_{RN2}}{\sigma_{RN1}}, \quad \delta_N = \frac{N_2}{N_1} \quad (2)$$

где индексами 1 и 2 указаны соответствующие величины, рассчитанные согласно [3] и по предложенной модели. Используя уравнения (1) для сопоставляемых расчетных схем, согласно [7] можно получить функции ошибок $\delta_1 = f_1[N, P(N)]$ и $\delta_N = f_2[\sigma, P(N)]$ ($P(N)$ — уровень доверительной вероятности неразрушения):

$$\lg \delta_1 = \left(\frac{C_2}{m_2} - \frac{C_1}{m_1} \right) - \left(\frac{1}{m_2} - \frac{1}{m_1} \right) \lg N = S - M \lg N; \quad (3)$$

$$\lg \delta_N = (C_2 - C_1) - (m_2 - m_1) \lg \sigma = \Delta C - \Delta m \lg \sigma. \quad (4)$$

Структура зависимостей (1)–(4) и их взаимосвязанность позволяют для графической интерпретации выполненных расчетных процедур строить номограмму в координатах $\sigma - N - \delta_\sigma - \delta_N$ и производить сравнительную оценку точности во всем интервале σ или N , используя в качестве параметра уровень $P(N)$ (рис. 2). Сопоставимые расчетные значения σ_{RN} и N совпадают при $N = (0,6-1,0) \cdot 10^6$ и $(1-2) \cdot 10^7$ циклов, а в интервале $2 \cdot 10^6 \leq N \leq 2 \cdot 10^7$ методика [3] дает завышенные результаты, не подкрепленные экспериментом ($\delta_\sigma = 0,92-0,98$ и $\delta_N = 0,52-0,95$). При $5 \cdot 10^7 \leq N \leq 5 \cdot 10^8$, соответствующем реальному сроку службы большинства типов машин, работающих в коррозионных средах, в связи с перемещением оптических

точек в область больших долговечностей и уменьшением наклона II участка кривой коррозионной усталости методика [3] дает необоснованно заниженные результаты: $\bar{\sigma}_y = 1,05-1,25$ и $\bar{\sigma}_x = 1,25-3,5$, причем высокие значения $\bar{\sigma}_y$ и $\bar{\sigma}_x$ соответствуют значению $P(N) = 0,999$, представляющему интерес для расчетов.

Проведенное исследование позволяет уточнить пределы использования той или иной модели коррозионного разрушения и вводом новой модифицированной модели добиться уточнения срока службы машин и снижения их материалоемкости на стадии проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Родивил В. В. Исследование коррозии металлов под напряжением по потере длительной прочности: Учебн. пос.—М.: Изд-во МОПИ, 1981.—61 с.
2. Карпенко Г. В. Физико-химическая механика конструкционных материалов: Избр. тр.—К.: Наукова думка, 1985, Т. 1.—228 с.
3. Олейник Н. В., Масденко А. Н., Скляр С. И. Сопротивление усталости материалов и деталей машин в коррозионных средах.—К.: Наукова думка, 1987.—200 с.
4. А. с. 1317329 СССР, А1 G 01 A 17/00. Устройство для испытания на усталость в коррозионных средах/Н. В. Олейник, М. Г. Стакян, А. В. Вольчев, Г. А. Манукян (СССР).—№ 3848578/25—28; Заявл. 01.02.85, Оubl. 15.06.87, Бюл. № 22,—3 с.
5. Стакян М. Г., Осинесян Л. Г. Комплексное исследование сопротивления результатов механических испытаний нормальному закону распределения//Изв. вузов. Машиностроение.—1988.—№ 9.—С. 8—13.
6. Эванс Ю. Р. Коррозия и окисление металлов.—М.: Машигиз, 1962.—856 с.
7. Стакян М. Г., Манукян Г. А. Вероятностная оценка сопротивления усталости деталей, работающих в коррозионных средах//Теория и конструирование машин.: Междунар. тем. сб. науч. тр. по маш.—Ереван: Изд-во ЕрПИ, 1986.—С. 21—25.

ЕрПИ им. К. Маркса

10. 1. 1989

Изв. АН АрмССР (сер. III), т. XLII, № 5, 1989, с. 218—223.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.762

Г. Л. ПЕТРОСЯН, Г. К. АСКИДЖЯН, Г. В. МУСАЕЛЯН

МЕТОДИКА УЧЕТА УПРОЧНЕНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ПРОКАТКИ ПОРИСТЫХ ЗАГОТОВОК

С помощью метода тонких сеточек и теории пластичности реальных пористых материалов получена система уравнений, которая позволяет определить компоненты напряженно-деформированного состояния прокатываемой спеченной заготовки. Предлагаемое решение позволяет сформулировать методику учета упрочнения на основании получения и использования диаграммы деформирования спеченного материала.