

В. И. МАЛЫИ, О. М. КОЧИН, Н. С. ГУСЯТИНСКАЯ,
 В. И. КОЗЛОВ, Ю. Н. КОРОБКИН

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ФОРСИРОВАННЫХ УСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ КОНСТРУКЦИЙ

В работе [1] на основе анализа общей структуры выражения для кривых Велера конструкций, ведущих себя линейно при изменении действующих нагрузок, предлагается определять величину параметра форсирования $F(N_1, N)$ натуральных ускоренных испытаний конструкций на усталость согласно соотношениям

$$F(N_1, N) = \max_q k_q(N_1, N), \quad k_q(N_1, N) = \frac{\sigma_q^*(N_1)}{\sigma_q^*(N)} \quad (1.1)$$

или

$$F(N_1, N) = \max_{q, P} k_o(N_1, N, P), \quad k_o(N_1, N, P) = \frac{\sigma_q^*(N_1, P)}{\sigma_q^*(N, P)} \quad (1.2)$$

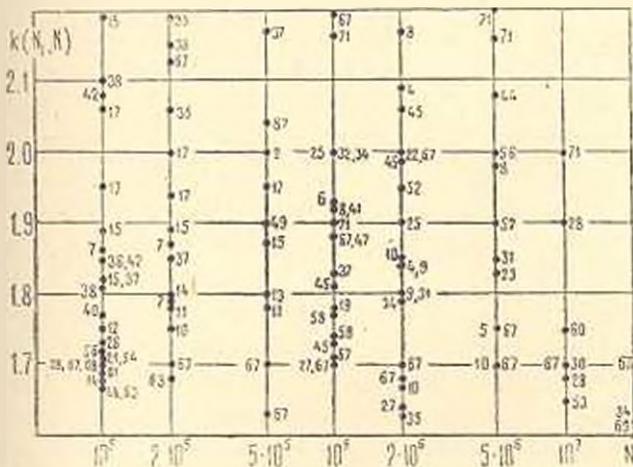
в которых набор кривых Велера $\sigma_q^*(N)$, $q = 1, 2, \dots$ или набор кривых $\sigma_q^*(N, P)$, $q = 1, 2, \dots$ равной вероятности разрушения P должен быть достаточно полным, чтобы описать все ожидаемые случаи усталостного разрушения используемых в конструкции материалов. При этом форсированным испытанием с параметром форсирования f называется усталостное испытание конструкции с увеличенными в f раз по сравнению с нормальным режимом величинами амплитуд внешних нагрузок. Испытуемые конструкции предполагаются линейными в том смысле, что при пропорциональном изменении режима циклического нагружения амплитуды напряжений во всех элементах конструкции должны изменяться пропорционально параметру f , а также простыми в том смысле, что и в нормальном, и в форсированном режимах не возникает других видов разрушения, кроме усталостного. При использовании определений (1.1) или (1.2) можно утверждать [1], что если при испытании в форсированном режиме с параметром форсирования $f = F(N_1, N)$ долговечность конструкции окажется не ниже N_1 , то ее долговечность в нормальном режиме будет не ниже N , или, соответственно, если в форсированном режиме разрушение в какой-либо точке r конструкции происходит с вероятностью P , при N_1 циклах, то в нормальном режиме вероятность разрушения P в точке r при N циклах будет меньше P_1 .

Практически функцию $F(N_1, N)$ можно достаточно надежно определить, обработав все доступные опубликованные кривые Велера и кривые равной вероятности разрушения для различных конструкционных мате-

риалов в разнообразных состояниях и условиях эксплуатации и определив для них корреляционные отношения $k_0(N_1, N)$ или $k_1(N_1, N, P)$.

Показано [1], что определенные таким образом значения параметра форсирования $F(N_1, N)$ в общем случае линейных конструкций уже нельзя уменьшить без потери надежности сформулированных выше выводов из результатов форсированных испытаний.

По описанной методике было обработано более 3000 экспериментальных кривых Велера и кривых равной вероятности разрушения из 260 монографий и статей по усталости. Максимальные из полученных значений корреляционных отношений $k(N_1, N)$ представлены на фиг. 1, 2 и 3, соответственно, для трех значений коэффициента форсирования $N/N_1 = 10.5$ и 2 и различных N .



Фиг. 1. Максимальные значения корреляционных отношений $k(N_1, N)$ кривых Велера при $N/N_1 = 10$.

Цифры рядом с точками на фигурах указывают порядковый номер источника в списке литературы [2—71], где описана экспериментальная кривая усталости, для которой получено данное значение корреляционного отношения.

Необходимо отметить, что данных о кривых равной вероятности усталостного разрушения $\sigma^*(N, P)$ опубликовано значительно меньше, чем данных о кривых Велера $\sigma^*(N)$. Однако, имеющиеся данные говорят о том, что кривые $\sigma^*(N, P)$ при различных P и кривая Велера всегда близки по форме и характеризуются близкими значениями корреляционных отношений.

Поэтому два определения (1.1) и (1.2) параметра форсирования $F(N_1, N)$, практически, оказались эквивалентными. Например, даже при таком большом различии кривых $\sigma^*(N, P)$ для различных P , как это наблюдалось при испытаниях стыковых соединений из алюминиевого сплава при пульсирующем растяжении [67], значения корреляционных отношений $k(N_1, N, P)$ не зависят от P и совпадают с $k(N_1, N)$ для соответствующей кривой Велера.

2) для образцов с сильными концентраторами, для образцов большого размера, для хромированных, никелированных образцов и образцов с другими покрытиями в условиях фреттинга при наличии сварных швов (особенно с несправками) в случаях натуральных испытаний конструкций и их узлов $k(N_1, N)$ достигают более высоких значений (например, до $1.7 - 2.2$ при $N = 10 N_1$);

3) при воздействии коррозионных сред и высоких температур встречаются и более высокие значения $k(N_1, N)$, однако они на фигурах не приводятся, так как эти специфические условия испытания в данной работе не рассматривались.

Для больших $N > 10^7$ циклов использованные литературные данные явно менее полны в смысле охвата разнообразных условий эксплуатации конструкционных материалов, и здесь необходимы дальнейшие исследования.

При $N \leq 10^7$ циклов полученные результаты позволяют рекомендовать использовать независимо от N для параметра форсирования $F(N_1, N)$ ускоренных испытаний значения 2.2, 1.87 и 1.35, соответственно для значений коэффициента форсирования $N/N_1 = 10, 5$ и 2.

При проведении форсированных испытаний для N/N_1 , отличных от этих значений, можно пользоваться интерполяционной формулой

$$F(N_1, N) = 1 + 1.21g \frac{N}{N_1}$$

которая при $N/N_1 = 10, 5$ и 2 дает значения $F(N_1, N) = 2.2, 1.84$ и 1.36, соответственно, которые несущественно отличаются от полученных выше.

Отметим в заключение, что в общем случае линейной простой конструкции, то есть без привлечения какой-либо дополнительной информации о конкретной испытываемой конструкции, нельзя использовать более низкие значения параметра форсирования $F(N_1, N)$, чем значения, установленные в данной работе на основе соотношений (1.1) и (1.2). В противном случае будут существовать конкретные примеры конструкций [1], для которых погрешность ускоренного определения долговечности будет идти не в запас прочности.

Всесоюзный научно-исследовательский институт
 физико-технических и радио-технических
 измерений

Поступила 12 XII 1977

Վ. Ի. ԱՄԻՐ, Ս. Մ. ԿՈՉԻՆ, Ն. Ս. ԳՈՐԵՆՆԻՍԿԻՆ,
 Վ. Ի. ԿՈՉԼՈՎ, Յու. Ն. ԿՈՓՈՐԿԻՆ

ԿՈՆՍՏՐԱԿՏԻՎՆԵՐԻ ԱՐԱԿԱՅՎԱԾ ՀՈԳՆԱՄԱՅԻՆ ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄՆԵՐԻ
 ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ԿՆԻՊՆԵՐՅԱԿ: ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ ՓՐՈՔԼԵՄՆԵՐ

Ա մ փ ո փ ո ս մ

Մշակվել է 3000-ից ավելի ՎԻԵՐԻ կորերի և շահագործման տարբեր պայմաններում տարբեր կոնստրուկցիոն նյութերի բայրալման հաժախար հաժախար

նականաթյունը նկարագրող կորերը: Որոշվել են կորելյացիոն հարաբերությունները, որոնցով բնորոշվում են հոգնածության կորերի թերությունները ցիկլերի թվի փոփոխության տարբեր միջակայքերի վրա:

Ստացվել է կոնստրուկցիաների արագացված հոգնածային փորձարկումների պարամետրերի որոշման համար արտահայտությունը այնպիսի մեթոդով, որը թույլ է տալիս ներքևից փստահելի ձևով զնահատել բռնի տրված լայնույթների զնայրում կոնստրուկցիայի հարատևողյունը:

ON DETERMINATION OF PARAMETERS FOR FORCED FATIGUE TESTS OF CONSTRUCTIONS

V. I. MALY, O. M. KOCHIN, N. S. GUSIATINSKAIA,
V. I. KOZLOV, Y. N. KOROBKIN

S u m m a r y

More than 3000 Veler curves for various constructional materials have been analyzed under varying operating conditions. The dependence of the slope of fatigue curves on the number of cycles has been established. A relation to determine parameters for the forcing of accelerated fatigue construction tests has been obtained.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малам В. И. Об ускоренных усталостных испытаниях конструкций. Изв. АН Арм. ССР, Механика, 1978, т. XXXI, № 5.
2. Баранова Н. Б. О связи прочности материалов и детали при действии статически, циклических и ударных нагрузок. В кн. «Усталость металлов». М., Изд. АН СССР, 1960.
3. Баранова Н. Б. Применимость новых критериев усталости для построения кривых выносливости. В кн. «Прочность металлов при переменных нагрузках». Материалы III-го совещания по усталости металлов, 5—9 марта 1962. М., Изд. АН СССР, 1963.
4. Божин М. Я. Об упрощении формы образцов для испытаний металлов на усталость. Заводская лаборатория, 1959, № 11.
5. Беляев Г. С. Повышение выносливости соединения втулка-вал с клеевой пленкой. Вестник машиностроения, 1971, № 5.
6. Бернштейн М. А., Жидом В. Т., Хенстер К. Э. Влияние высокотемпературной термомеханической обработки на циклическую прочность рессорной стали 50ХГА. Проблемы прочности, 1973, № 12.
7. Бойцов Б. В. Статистический анализ точности метода ускоренных испытаний. Заводская лаборатория, 1972, № 9.
8. Быков В. А. Исследование усталости стали при плоском чистом изгибе. В кн. «Некоторые вопросы усталостной прочности стали». Под. ред. Н. Н. Давидсонской. М.—Л., Машгиз, 1953.
9. Быков В. А., Всеволодов Г. Н. Выносливость и пластичность металлов. В кн. «Прочность металлов при переменных нагрузках». Материалы III-го совещания по усталости металлов, 5—9 марта 1962. М., Изд. АН СССР, 1963.
10. Ваганяц Р. Д. К общей теории и к методике оценки масштабного эффекта при циклическом нагружении. Заводская лаборатория, 1960, № 9.

11. *Возалов Р. Д.* Статистические и детерминистские закономерности усталости и возможность их моделирования. В кн. «Вопросы механической усталости». Под ред. С. В. Серенсена. М., Машиностроение, 1964.
12. *Возалов Р. Д., Фридман Я. Б.* О влиянии типа нагружения на усталостную прочность. Заводская лаборатория, 1961, № 2.
13. *Виноградов Т. И.* О распространении усталостных трещин в образцах судостроительной стали. Заводская лаборатория, 1959, № 6.
14. *Всезолодов Г. Н.* О развитии трещины усталости. В кн. «Циклическая прочность металлов». Материалы II-го совещания по усталости металлов, 24—27 мая 1960, М., Изд. АН СССР, 1962.
15. *Гарлице У. Дж.* Влияние на усталость стандартной технологии самолетостроения. В кн. «Усталость и выносливость металлов». Под ред. Г. В. Ужика. М., ИЛ, 1963.
16. *Гаррис У. Дж.* Влияние частоты циклов нагружения на прочность металлов. В кн. «Усталость и выносливость металлов». Под ред. Г. В. Ужика. М., ИЛ, 1963.
17. *Гаррис У. Дж.* Развитие трещин усталости. В кн. «Усталость и выносливость металлов». Под ред. Г. В. Ужика. М., ИЛ, 1963.
18. *Горянов Б. А., Каплинский А. А.* Исследование влияния температуры, асимметрии цикла и концентрации напряжений на усталостную прочность стали ЭИ 726(1X14H18B2Br1). Проблемы прочности, 1971, № 9.
19. *Гуревич Б. Г.* Повышение несущей способности борированной стали и азотированного титанового сплава обкаткой роликом. Вестник машиностроения, 1972, № 1.
20. *Гуревич С. Е.* Влияние упрочнения поверхностного слоя концентратора напряжений на циклическую прочность. В кн. «Прочность металлов при циклических нагрузках». Материалы IV совещания по усталости металлов, 14—17 марта 1966, М., Наука, 1967.
21. *Гуревич С. Е., Елидолич А. Д.* Структурная повреждаемость стали в процессе усталости. В кн. «Прочность металлов при циклических нагрузках». М., Материалы IV совещания по усталости металлов, 14—17 марта 1966, М., Наука, 1967.
22. *Гурьев А. В., Гохберг Я. А., Поляков В. Н.* Упрочнение биметаллических деталей поверхностным пластическим деформированием. Вестник машиностроения, 1973, № 2.
23. *Литвиченко С. С., Хазанов Х. И., Филогов Э. Я., Давыдов А. П., Черкашин А. С.* Стендовые испытания сварных рам на усталость. Вестник машиностроения, 1973, № 2.
24. *Евдокимов Л. Н.* К исследованию закономерностей процесса усталостного разрушения алюминиевых сплавов в связи с частотой нагружения. Заводская лаборатория, 1970, № 10.
25. *Ефимов А. С., Морозов Б. А.* О применении ускоренных методов к определению пределов выносливости крупных деталей. Заводская лаборатория, 1969, № 7.
26. *Иванова В. С.* Усталостное разрушение металлов. М., Металлургиядат, 1963.
27. *Иванова В. С., Гуревич С. Е.* Экспериментальная проверка ускоренного метода определения предела усталости. В кн. «Циклическая прочность металлов». Материалы II-го совещания по усталости металлов, 24—27 мая 1960, М., Изд. АН СССР, 1962.
28. *Иванова В. С., Дерягин Г. А., Терентьев В. Ф.* Повышение циклической прочности сплава Д16Т при ступенчатой пластической деформации. В кн. «Прочность металлов при циклических нагрузках». Материалы IV совещания по усталости металлов, 14—17 марта 1966, М., Наука, 1967.
29. *Каленчик Т. А.* О методике сопоставления эффективности упрочнения деталей машины с результатами испытаний на образцах. Заводская лаборатория, 1966, № 6.
30. *Клячка Ю. А., Бабей Ю. И., Старчук В. Г., Нехороших В. Г.* Влияние некоторых видов поверхностного упрочнения на сопротивление стали наводороживанию. Вестник машиностроения, 1973, № 3.
31. *Кобрин М. М.* Прочность прессовых соединений при повторно-переменной нагрузке. М., Машгиз, 1954.

32. Кобрин М. М., Соколовский П. Н. Особенности разрушения стали при циклически нагрузках в связи с анизотропией ее строения. В кн. «Циклическая прочность металлов». Материалы II-го совещания по усталости металлов, 24—27 мая 1962. М., Изд. АН СССР, 1962.
33. Коновалов А. В. Методика испытания на усталостную изгибную прочность стали для определения пусков под нагрузкой и периодического отдыха. Заводская лаборатория, 1961, № 4.
34. Крекнин А. Г., Шаврин О. И. Многообразная установка для испытаний на контактную усталостную прочность. Заводская лаборатория, 1969, № 6.
35. Кудрявцев П. И. Метод исследования кинетики развития усталостных трещин. Заводская лаборатория, 1968, № 1.
36. Кудрявцев И. В., Колодезный А. А., Топоров Г. В., Бурмистрова А. Н. Эффективность упрочнения наклепом сталей при ударно-циклическом нагружении в условиях низких температур. Проблемы прочности, 1972, № 1.
37. Кудрявцев И. В., Чудновский А. Д., Сосновский А. А. О пересекающихся кривых усталости. Заводская лаборатория, 1968, № 4.
38. Кудма Х. А. О влиянии частоты нагружения на усталостную прочность сталей при перегрузках. Заводская лаборатория, 1957, № 5.
39. Кульбацкий П. Ф. Влияние частоты нагружения и направленной анизотропии на усталостную прочность листового алюминиевого сплава АМг6ВМ. Проблемы прочности, 1972, № 6.
40. Леви Д. С. Метод расчета долговечности в связи с накоплением повреждения при перегрузках. В кн. «Усталость и выносливость металлов». Под ред. Г. В. Ужика М., ИЛ, 1963.
41. Ложицкий М. Г., Натанзон Е. И., Теминко В. Г. Исследование контактной усталостной прочности трехслойной стали У7-30-У7. В кн. «Прочность металлов при циклических нагрузках». М., Изд. АН СССР, «Наука», 1967.
42. Макивиц А. Дж., Илл У. Метод определения скорости распространения трещин усталости. В кн. «Усталость и выносливость металлов». Под ред. Г. В. Ужика М., ИЛ, 1963.
43. Маркони М. П. Об уравнении диаграммы усталости. Заводская лаборатория, 1962, № 1.
44. Масол В. А., Кудрявцев И. В., Болкин М. Я., Тарасова В. Н., Саввина И. М. Усталостная прочность материала полых и сплошных крупных валов. Проблемы прочности, 1971, № 3.
45. Мустаев Р. Х. Повышение выносливости резьбовых соединений с натягами. Вестник машиностроения, 1971, № 3.
46. Нахалов В. А., Шром Р. З., Барат Р. Х., Балашова Р. К. Учет формы сечения гребней труб при расчете на малоцикловую усталость. Проблемы прочности, 1973, № 10.
47. Николаев Г. А., Румянцев С. В. Влияние дефектов сварки на механические свойства сварных соединений. В кн. «Вопросы прочности материалов и конструкций». Под ред. Д. И. Решетова. М., Изд. АН СССР, 1959.
48. Нистратов А. Ф., Горфинкель Х. М. Динамическая прочность кольцевых пружин. Вестник машиностроения, 1971, № 10.
49. Одинц И. А., Гуревич С. Е. Циклическая прочность и чувствительность к концентрации некоторых сортов высокопрочной стали. В кн. «Прочность металлов при переменных нагрузках». Материалы III-го совещания по усталости металлов, 5—9 марта 1962. М., Изд. АН СССР, 1963.
50. Одинц И. А., Гуревич С. Е. Чувствительность к надрезу высокопрочных сталей при циклических нагрузках. В кн. «Циклическая прочность металлов». Материалы II-го совещания по усталости металлов, 24—27 мая 1960. М., Изд. АН СССР, 1962.

31. Пиковский В. А., Кустов В. Г., Леонов Е. В., Шашкин В. В., Зинковский И. В. Исследование работоспособности высокоскоростных радиальных подшипников с большими роликами. Проблемы прочности, 1971, № 10.
32. Писаренко Г. С., Самсонов Г. В., Верлотиров А. Д., Белькорной А. И., Аляленко Б. А., Ришин В. В., Шеметан Ю. М. Прочностные характеристики слоев, полученные электронированным легированием сталеи тугоплавкими металлами. Проблемы прочности, 1973, № 2.
33. Писаренко Г. С., Черненко А. Д., Грамов Б. А. Сопротивление усталости осевой стали в доле прессовых посадок при низкой температуре. Заводская лаборатория, 1965, № 7.
34. Прицесевич Р. М., Решетов Д. Н., Астахов А. С. Ударно-усталостная прочность закаленных зубчатых колес. Вестник машиностроения, 1971, № 10.
35. Ракин Р. М., Буколова Л. В. Усталостная прочность изулочнороликковых цепей. В кн. «Усталость металлов». М., Изд. АН СССР, 1960.
36. Ратнер С. И. Разрушение при повторных нагрузках. М., Оборонгиз, 1959.
37. Руднев В. Д., Тополов Г. В. Влияние гальванического хромирования на сопротивление разрушению при циклическом и ударноциклическом нагружении. В кн. «Усталость металлов при ударных циклических нагрузках и исследование машин ударного действия». Сб. научных трудов XV, Томский инж.-строит. ин-т, 1969.
38. Рябченков А. В. Коррозионно-усталостная прочность стали. М., Машгиз, 1953.
39. Соколовский А. А., Радзиевский В. Н., Лоуцманов С. И., Арсенова И. И., Рымарь В. И. Методика испытаний на усталость плавных соединений. Заводская лаборатория, 1972, № 12.
40. Соколовский А. А., Минков Я. А., Чижой А. И. Повышение прочности и долговечности коренных валов тяжелых газовых компрессоров. Вестник машиностроения, 1972, № 1.
41. Тополов Г. В., Тетерин Н. А. О чувствительности к надрезу стали 45 при ударном и при плавном циклических нагружениях. В кн. «Усталость металлов при ударных циклических нагрузках и исследование машин ударного действия». Сб. научных трудов XV, Томский инж.-строит. ин-т, 1969.
42. Турбило В. М., Неманов М. С., Меркушев А. А. Повышение коррозионно-усталостной прочности стали 35Х11М после алмазного выглаживания. Вестник машиностроения, 1971, № 6.
43. Усталостная прочность и долговечность самолетных конструкций. М., Оборонгиз, 1965.
44. Усталостная прочность и остаточные напряжения в стали и чугуне. М., Наука, 1955.
45. Усталость металлов и сплавов. М., Наука, 1971.
46. Филагов Э. Я., Дмитриченко С. С., Белокуров В. Н., Борисов Ю. С. Программные испытания сварных образцов на усталость. Проблемы прочности, 1972, № 3.
47. Форрест П. Усталость металлов. М., Машиностроение, 1968.
48. Хардрог Г. Ф., Наумов Ю. С. Испытания образцов Al-сплава на усталость при варьировании амплитуды нагрузки. В кн. «Усталость и выносливость металлов». Под ред. Г. В. Улика. М., ИЛ, 1963.
49. Шварин О. И., Креский А. Г. Повышение износостойкости и контактной прочности сталей 9Х и ШХ15 термометаллической обработкой. Вестник машиностроения, 1971, № 6.
50. Школьников А. М., Стеусико Е. Г., Шатов В. И. Пути повышения эффективности поверхностного упрочнения тепловозных коленчатых валов. Вестник машиностроения, 1972, № 1.
51. Девизин Г. А. Исследование влияния пластической деформации на усталостные свойства алюминиевого сплава марки АВТ. В кн. «Прочность металлов при циклических нагрузках». М., Изд. АН СССР, 1967.