

М. А. Трушкин

НАКОПЛЕНИЕ УСТАЛОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДЛЯ СПЛАВА АВ ПРИ СЛУЧАЙНОМ НАГРУЖЕНИИ

Значительная нестационарность переменной напряженности современных машин обуславливает существенный интерес к исследованию сопротивления усталости при случайном нагружении. В настоящее время имеется довольно много гипотез и теорий накопления усталостных повреждений [1, 2, 3]. Некоторые из них получили опытную проверку в работах [4, 5].

В предлагаемой статье проводится анализ результатов усталостных испытаний образцов $\varnothing 8$ мм из сплава АВ при случайном и гармоническом нагружении. Эксперимент проводился на четырех уровнях среднеквадратичного отклонения случайного процесса нагружения и восьми уровнях гармонического нагружения. Гармоническое нагружение осуществлялось при плоском консольном изгибе по симметричному циклу. Случайное нагружение осуществлялось с помощью электродинамического вибратора, работающего от генератора белого шума [4].

Испытания проводились при плоском изгибе с поддержанием дисперсии перемещения сечения образца постоянной до окончательного разрушения. Анализ случайного процесса, проведенный с помощью критерия согласия Пирсона показал, что процесс подчиняется нормальному закону. С помощью ЭЦВМ БЭСМ-2М было показано, что процесс является стационарным, эргодическим (рис. 1)

При построении кривых усталости (рис. 2) за максимальное напряжение σ_{\max} случайного процесса принималось напряжение, равное трем с половиной среднеквадратичным отклонениям случайных напряжений в образце, а за число циклов до разрушения N — половина числа пересечений нулевого уровня кривой нагружения [5].

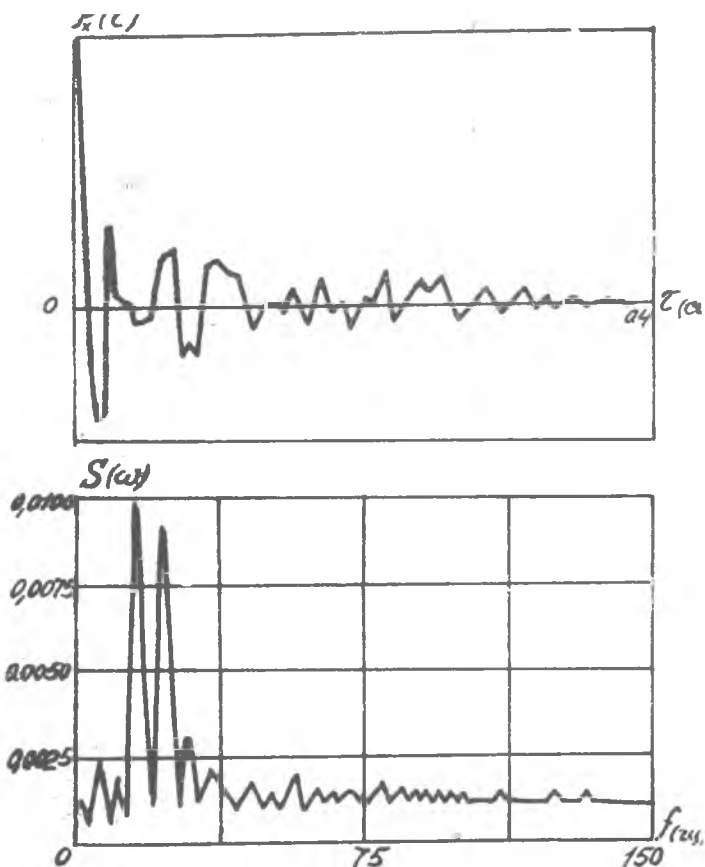


Рис. 1. Корреляционная функция и спектральная плотность случайного процесса

Полученные экспериментальные данные позволяют произвести анализ сумм относительных долговечностей $\sum \frac{n_i}{N_i}$ в зависимости от вероятности и уровня напряжений. При вычислении накопленных повреждений значения n_i определялись в соответствии с данной вероятностью, а величины N_i отвечали во всех случаях вероятности $P=50\%$ [1].

Значения n_i определялись тремя методами: при первом методе подсчитывались все положительные максимумы; при втором — максимальные пики между двумя последовательными пересечениями кривой нагружения нулевой линии; при третьем — количество размахов, когда за амплитуду цикла принималась полуразность значений напряжения между двумя последовательными пиками, взятая в одном направлении и приведенная к нулевому уровню [6].

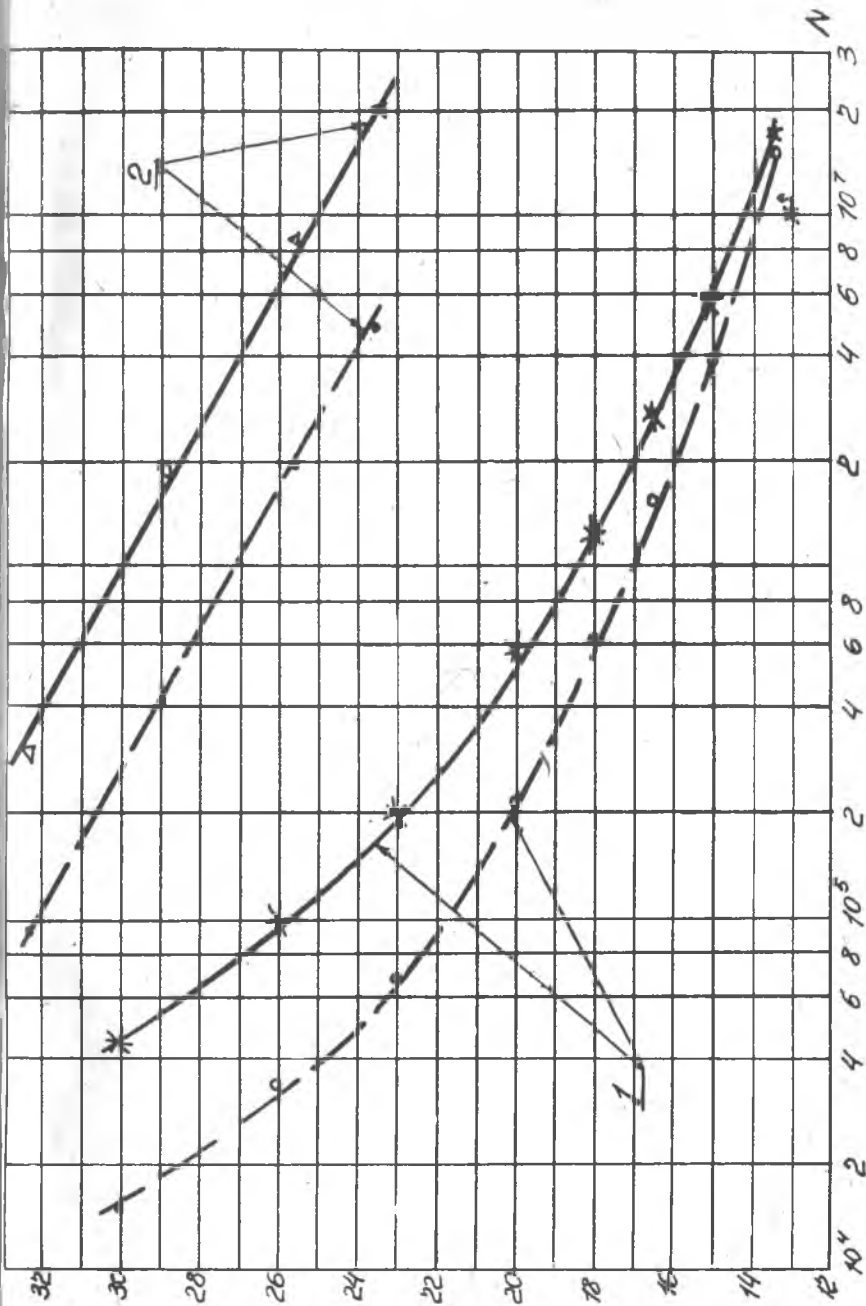


Рис. 2. Кривые усталости при гармоническом (1) и случайном (2) нагружении. Пунктиром изображены кривые усталости по образованию трещины; сплошными линиями — по разрушению

В таблице 1 приведены значения сумм относительных долговечностей, подсчитанных тремя методами при вероятности $P=50\%$. Из таблицы следует, что наибольшие значения сумм относительных долговечностей получаются для случая подсчета числа циклов методом положительных максимумов, наименьшие — методом размахов. По мере увеличения уровня нагружения значения сумм относительных долговечностей уменьшаются. На низких уровнях значения сумм относительных долговечностей почти совпадают с единицей, если подсчет числа циклов производился методом положительных максимумов. Это свидетельствует о росте повреждающего действия редких, но интенсивных перегрузок на высоких уровнях.

Таблица 1

Среднеквадратическое отклонение ступенчатых напряжений, $кг/м.м^2$	1-й метод	2-й метод	3-й метод
9,25	0,613	0,355	0,216
8,3	0,702	0,456	0,301
7,35	1,093	0,698	0,393
6,7	1,046	0,731	0,408

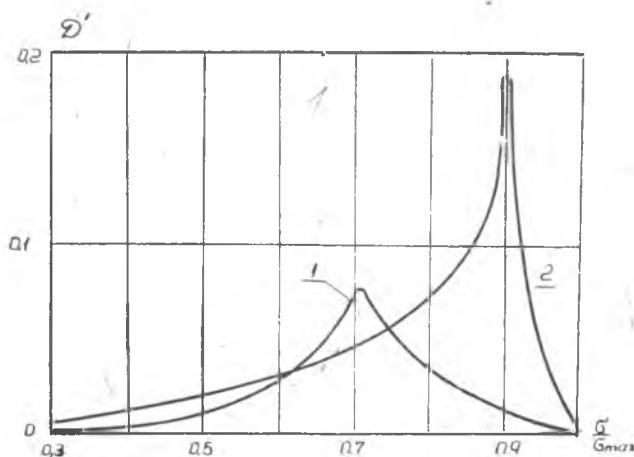


Рис. 3. Кривые изменения интенсивности повреждений.

Кривая 1, $\sigma_{max} = 32,4 \text{ кг/мм}^2$

Кривая 2, $\sigma_{max} = 23,4 \text{ кг/мм}^2$

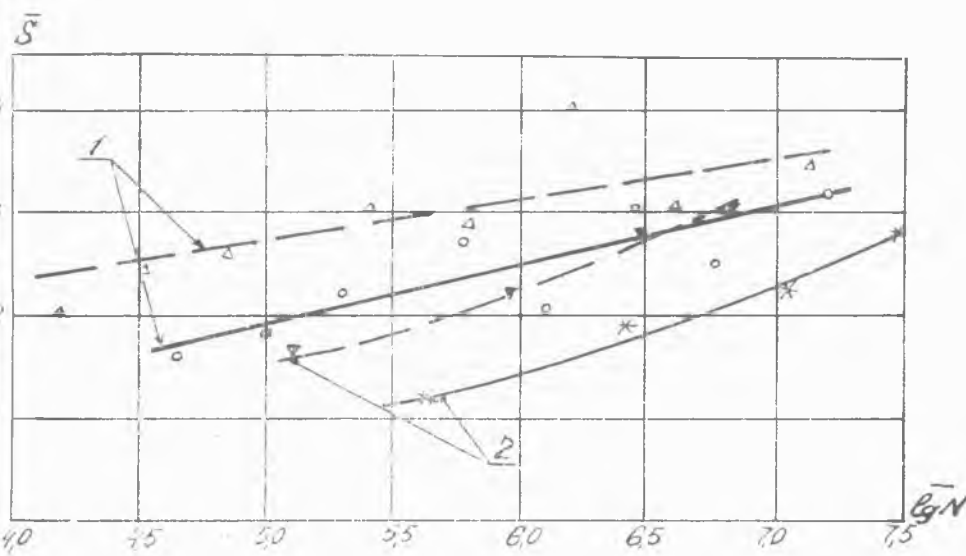


Рис. 4. Зависимость среднеквадратичного отклонения логарифма долговечности от среднего логарифма долговечности при гармоническом (1) и случайном нагружении (2). Пунктиром изображены зависимости по трещине; сплошными линиями — по разрушению

При выборе эквивалентных напряжений и анализе спектров нагрузок с точки зрения повреждающего влияния напряжений, входящих в спектр, необходимо принимать во внимание кривые интенсивности повреждений $D' = \frac{n_i}{N_i} / \Delta \sigma$ (рис. 3). При случайном нагружении с возрастанием уровня дисперсии абсолютная величина максимальной интенсивности убывает при одновременном уменьшении величины напряжений, соответствующих максимальной интенсивности от $0.9 \sigma_{max}$ до $0.74 \sigma_{max}$.

На рис. 4 представлены зависимости среднеквадратичного отклонения логарифма долговечности от его среднего значения (по образованию трещины и по разрушению). Во всех случаях рассеивание долговечности по трещине превышает рассеивание долговечности по разрушению. При случайном нагружении рассеивание долговечности ниже, чем при гармоническом нагружении, если сравнение проводить при одинаковых долговечностях.

На основе сопоставления данных при случайном и гармоническом нагружении по моменту появления трещины необходимо отметить, что при случайном и гармоническом нагружении относительный период до образования трещины растет с увеличением вероятности. Если такое сравнение проводить при одинаковых долговечностях, то при случайном нагружении период до образования трещины меньше, чем при гармоническом (рис. 5).

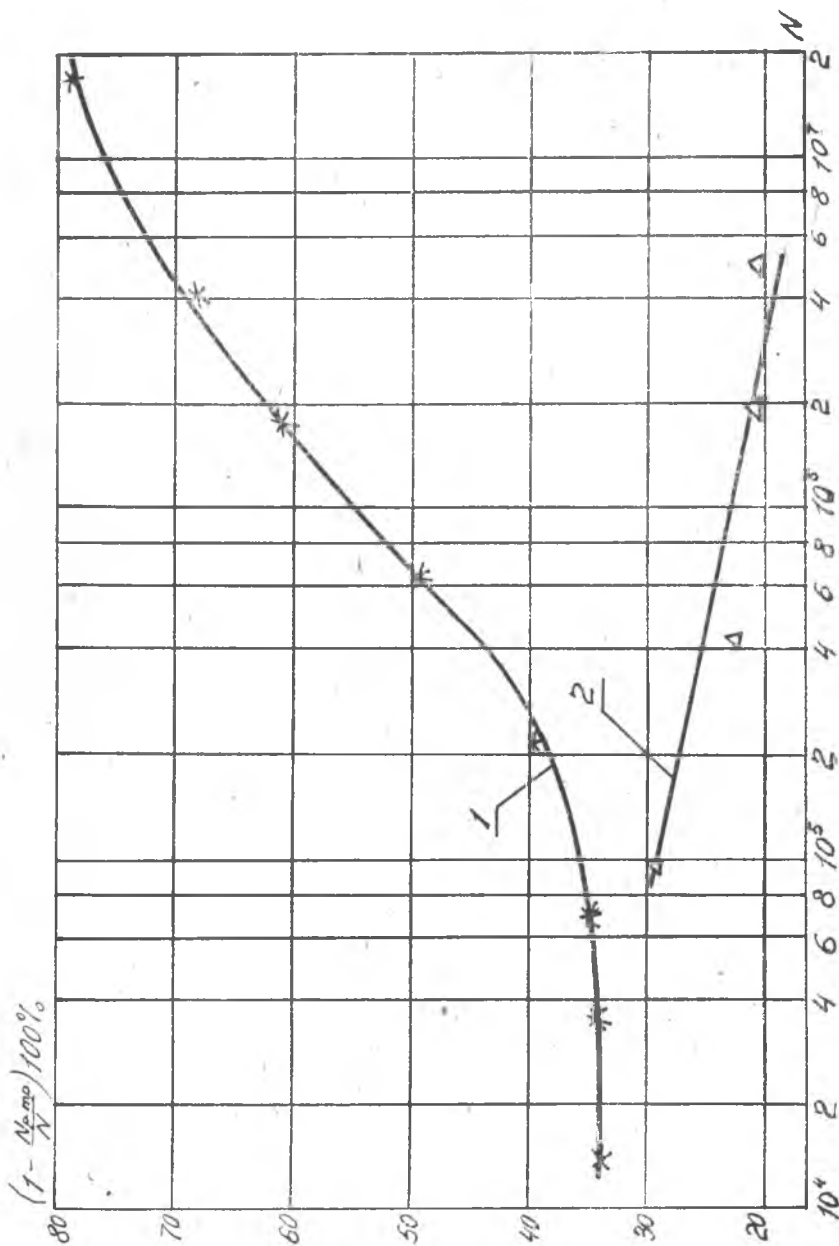


Рис. 5. Зависимость относительных периодов до образования трещины при гармоническом (1), и случайном (2) нагружении

ВЫВОДЫ

1. Величины сумм относительных долговечностей зависят от способа систематизации нагрузок. При подсчете числа циклов методом положительных максимумов получаются большие значения сумм относительных долговечностей.

2. Рассеивание долговечности при случайном нагружении ниже чем при гармоническом, если сравнение проводить при одинаковых средних логарифмах долговечности.

3. Образование трещин усталости при случайном нагружении происходит раньше, чем при нагружении постоянной амплитудой напряжений, но они развиваются медленнее.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. В. Серенсен. Накопление усталостного повреждения при нестационарной напряженности. Сб. «Вопросы механической усталости». Москва, 1964.

2. В. В. Болотин и др. Современные проблемы строительной механики. Москва, 1964.

3. А. М. Фрейденталь, Р. А. Геллер. Накопление усталостных повреждений. Сб. «Усталость самолетных конструкций» под ред. И. И. Эскина. Оборонгиз, 1961.

4. А. С. Исаев. Экспериментальные исследования усталости при случайном нагружении. Труды МАТИ, вып. 61, 1964.

5. Б. А. Лавров, В. А. Мехеда. Накопление усталостных повреждений при случайных нагрузках. Труды КуАИ, вып. 39, 1968.

6. С. В. Серенсен, Е. Г. Буглов. О программировании испытаний на усталость при статистическом характере нагруженности. Заводская лаборатория № 11, 1959.