

В.Т.Тимшин

О НЕКОТОРЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ УСТАЛОСТНОГО
РАЗРУШЕНИЯ ПРИ СЛОЖНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

В работе приводятся результаты испытаний по определению усталостной прочности образцов из стали 30ХГСА при сложном напряженном состоянии с учетом изменения направления главных площадок во времени. Сложное напряженное состояние реализовывалось совместным действием знакопеременного изгиба с кручением. Вращение главных площадок осуществлялось за счет несопадения частот изгибных и крутильных нагрузений.

Испытания проводились на установке, созданной в Куйбышевском авиационном институте. В качестве задающей части использовался генератор низкочастотных колебаний, собранный на операционных усилителях АВМ МН-7 и имеющий два выхода - 5 и 10 герц. Этот генератор в отличие от промышленных (типа НГПК-3М) позволил обеспечить более высокую стабильность амплитуды и строгую кратность частот выходных сигналов. В исполнительную часть установки входят два низкочастотных электродинамических вибростенда, один из которых нагружает образцы изгибающим моментом по схеме чистого изгиба. С помощью второго образцы через систему рычагов нагружаются крутящим моментом.

Эксперимент осуществлялся на сплошных цилиндрических образцах при отношении амплитуд напряжений изгиба и кручения, равном двум ($\sigma_a/\tau_a = 2,0$). Механические характеристики материала, форма и размеры образцов приведены в [1]. Испытания проводились для трех вариантов соотношений частот измене-

ния напряжений изгиба и кручения (таблица I)

Таблица I

	1 вариант	2 вариант	3 вариант
Частота изменения нормальных напряжений в герцах	5	10	10
Частота изменения касательных напряжений в герцах	10	10	5

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась на основе линейного регрессионного анализа [2]. За критерий усталостного разрушения принималось разделение образца на две части.

Результаты испытаний сопоставлялись по величине наибольших за цикл значений максимальных касательных напряжений. Учитывая, что испытания проводились при $\sigma_a/\tau_a = 2,0$, для текущих значений главных нормальных и максимальных касательных напряжений имеем:

$$\sigma_{1,3}(t) = \tau_a (\sin \omega_G t \pm \sqrt{\sin^2 \omega_G t + \sin^2 \omega_T t})$$

$$\tau_{\max}(t) = \tau_a \sqrt{\sin^2 \omega_G t + \sin^2 \omega_T t}. \quad (I)$$

Из приведенных формул видно, что для первого и третьего вариантов нагружения характер изменения функции $\tau_{\max}(t)$ будет одинаковым, тогда как закон изменения главных напряжений получается различным. Это положение проиллюстрировано на рис. I. Здесь же приводятся отношения среднего максимального касательного напряжения за период к наибольшему его значению $\tau_{\max \max}$. Величина эта условно названа коэффициентом полноты диаграммы η [I].

На рис. 2 приведены кривые усталости для различных вариантов нагружений, соответствующие 50 % вероятности. При построении усталостных кривых число циклов определялось, исходя из частоты 10 герц. Цифровые индексы у кривых соответствуют номеру варианта нагружения.

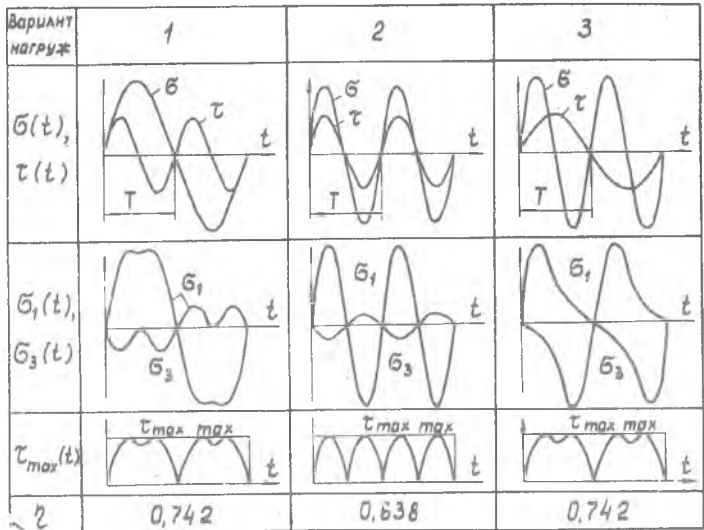


Рис. 1

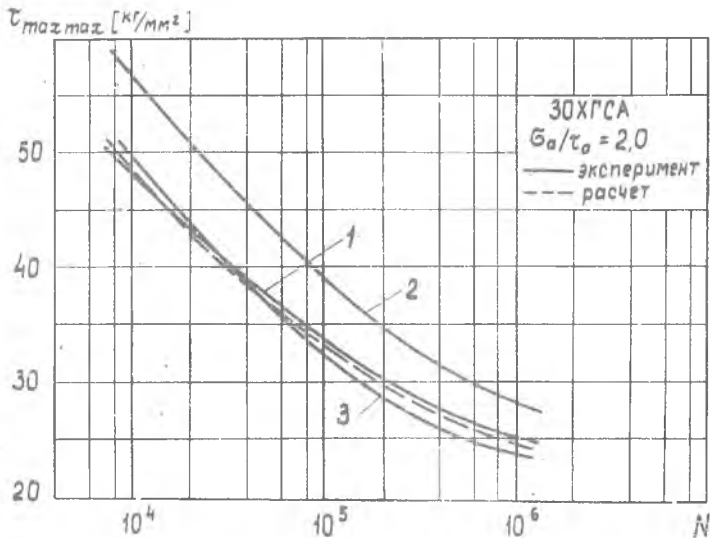


Рис. 2

Сопоставление результатов испытаний с графиками рис.1 показывает, что при фиксированном числе циклов нагружения усталостная прочность, выражаемая в $\tau_{\max \max}$, тем выше, чем ниже среднее значение максимальных касательных напряжений за цикл. Кривые 1 и 3, соответствующие различным режимам нагружения при одинаковом коэффициенте полноты диаграммы η , практически совпадают.

В работе [1] приводятся результаты усталостных испытаний образцов при сложном напряженном состоянии, осуществляемом совместным изгибом и кручением с одинаковой частотой. Исследованы случаи синфазного нагружения и нагружения с постоянным сдвигом фаз между напряжениями изгиба и кручения ($\pi/2$). Было установлено, что при фиксированных значениях числа циклов нагружения N и отношения σ_a/τ_a усталостная прочность, выраженная в $\tau_{\max \max}$, обратно пропорциональна коэффициенту полноты диаграммы η функции $\tau_{\max}(t)$. Отсюда следует, что

$$\tau_{\max \max}^N = \frac{\eta_0}{\eta} \tau_{\max \max}^{N,0}, \quad (2)$$

где $\tau_{\max \max}^{N,0}$, η_0 - усталостная прочность для заданного числа циклов и коэффициент полноты диаграммы при синфазном нагружении; $\tau_{\max \max}^N$, η - то же для случая сдвига фаз между напряжениями изгиба и кручения.

Построим расчетную усталостную кривую для 1 и 3 вариантов нагружения, воспользовавшись формулой (2), а также кривой 2 рис.2, соответствующей синфазному нагружению. Она показана на рисунке штриховой линией. Полученная кривая хорошо согласуется с экспериментальными (кривые 1 и 3). Это позволяет считать, что формула (2) может быть использована для расчетного построения кривых усталости и в случае несовпадения частот изменения напряжений изгиба и кручения.

Л и т е р а т у р а

1. Тимшин В.Т., Хазенов Х.С. Труды КуАИ, вып. 60, 1973.
2. Степнов М.Н., Гиацинтов Е.В., Коганов В.П. Проблемы прочности в машиностроении. М., изд-во АН СССР, вып. 3, 1959.