

УДК 629.7.018

Х.С.Хазанов, А.А.Чураков

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ РЕЖИМОВ ИСПЫТАНИЙ И  
ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ  
ИЗГИБА С КРУЧЕНИЕМ

В работе [1] предложена методика определения гармонических режимов нагружения, эквивалентных по долговечности реальным эксплуатационным нагрузкам. В соответствии с этой методикой из детали, имеющей наработку при эксплуатационных нагрузках  $t_0$ , вырезается образец, который испытывается затем при гармонических нагрузках на более высоком уровне напряжения  $\sigma_0$  до момента образования усталостной трещины. Длительность испытаний на второй ступени нагружения будем называть остаточной долговечностью  $T_{ост}$ .

Далее образцы из того же материала испытываются при двухступенчатых гармонических нагрузках, причем на первой ступени длительностью  $t_0$  уровень напряжений  $\sigma$  варьируется. На второй ступени испытания проводятся на упомянутом выше уровне  $\sigma_0$  до момента образования трещины, и определяется остаточная долговечность  $T_{ост}$ . По результатам испытаний строится зависимость  $T_{ост}$  от уровня напряжений первой ступени  $\sigma$ .

Два режима нагружения считаются эквивалентными, если они имеют на второй ступени нагружения одинаковую остаточную долговечность ( $T_{ост} = T_{ост}$ ). Это позволяет определить уровень гармонических напряжений, эквивалентных по долговечности реальным условиям нагружения.

В работах [1] и [2] методика была апробирована на образцах и конструктивных элементах, в которых напряженное состояние можно считать одноосным. В целом ряде случаев на конструкцию оказывалось воздействие комплекс силовых факторов, вызывавших в детали след

напряженное состояние. Настоящая работа посвящена проверке предложенной в [ I ] методики на образцах, работающих в условиях изгиба с кручением.

Испытания проводились на круглых образцах из материала АЛМАГ. Чертеж образца приведен на рисунке 1. Один конец образца защемлялся в жесткой опоре, а к свободному концу прикладывалась через специальный рычаг переменная во времени нагрузка. Два нагружения показана на рисунке 2. При этом обеспечивался как изгиб образца, так и закручивание его относительно продольной оси.

Если рассматривать образец как консольно защемленный брус, то для определения нормальных напряжений можно использовать следующую формулу:

$$\sigma = \frac{32 P \ell_2}{\pi D^3},$$

где  $D$  - наименьший диаметр рабочей части образца,  $\ell_2$  - расстояние вдоль оси образца от точки приложения силы до сечения с минимальным диаметром.

Касательные напряжения  $\tau$ , обусловленные закручиванием образца относительно продольной оси, определяются по формуле

$$\tau = \frac{16 P \ell_1}{\pi D^3},$$

где  $\ell_1$  - расстояние от точки приложения силы до оси образца. Тогда отношение нормальных напряжений  $\sigma$  к касательным  $\tau$  будет равно  $\sigma/\tau = 2 \ell_2/\ell_1$ . В наших исследованиях было принято:  $\ell_1 = 145$  мм;  $\ell_2 = 80$  мм, откуда  $\sigma/\tau = 1,1$ .

Испытания проводились при жестком нагружении. Поэтому для определения силы  $P$  проводилась статическая тарировка системы в сборе (для изгиба образца и изгиба с кручением). Тарировочные графики оказались линейными.

Были проведены испытания двух партий образцов. На первой ступени нагружения длительностью  $t_0 = 1200$  сек одна партия испытывалась на 3 уровнях нормальных напряжений  $\sigma$  при нагрузках, вызывающих только изгиб, а вторая - при изгибе с кручением.

На второй ступени испытания проводились при постоянном для всех образцов уровне гармонической нагрузки, вызывающей только изгиб образца с  $\sigma_0 = 25,9$  кг/мм<sup>2</sup>, до момента образования трещины.

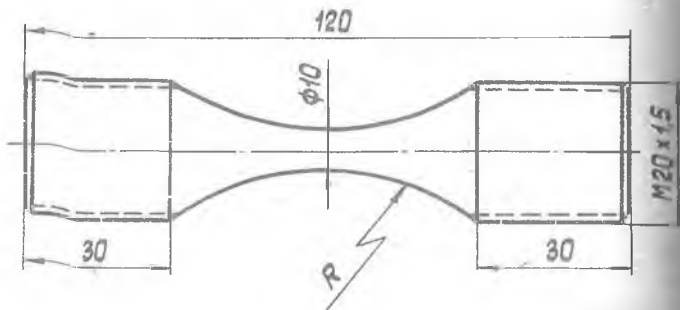


Рис. 1

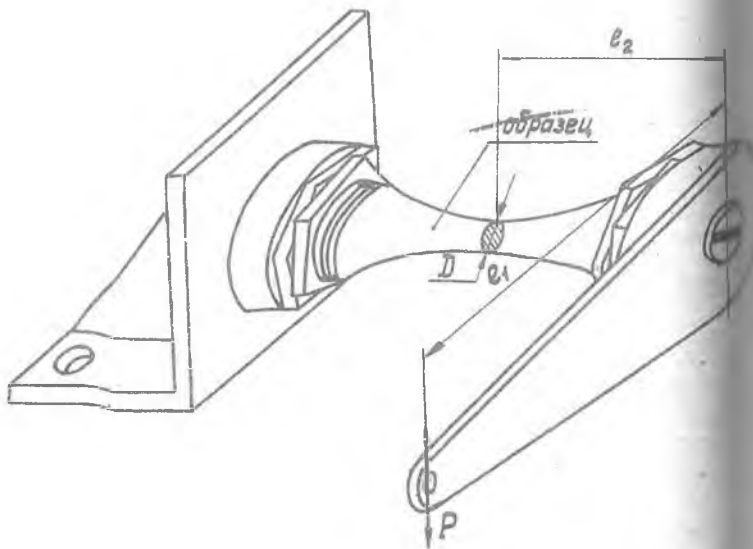


Рис. 2

В результате этих испытаний были получены остаточные долговечности  $T_{ост}$  (при изгибе) и  $T'_{ост}$  (при изгибе с кручением), относительные величины осредненных значений которых приведены в таблице I. За  $T_0$  принята долговечность образцов до образования трещины при постоянном уровне напряжения  $\sigma_0$ . В нашем эксперименте  $T_0 = 1990$  сек.

Таблица I

Изгиб		Изгиб с кручением		
$\sigma$ [кг/мм <sup>2</sup> ]	$\bar{T}_{ост} = \frac{T_{ост}}{T_0}$	$\sigma$ [кг/мм <sup>2</sup> ]	$\bar{T}'_{ост} = \frac{T'_{ост}}{T_0}$	$\sigma_{экв}$ [кг/мм <sup>2</sup> ]
15,8	1,93	10,1	1,37	20,2
20	1,46	12,4	0,86	23,1
24	0,6	14,2	0,44	25,0

Зависимость  $T_{ост}$  от уровня напряжений первой ступени  $\sigma$  для двухступенчатой нагрузки, вызывающей только изгиб образца, показана на рис. 3. По этой зависимости с использованием значений остаточной долговечности  $T'_{ост}$  определялись, как показано на рис. 3, режимы гармонических нагрузок  $\sigma_{экв}$ , вызывающих только изгиб образца, эквивалентных по долговечности изгибу с кручением. Значения  $\sigma_{экв}$  приведены в последней графе таблицы I.

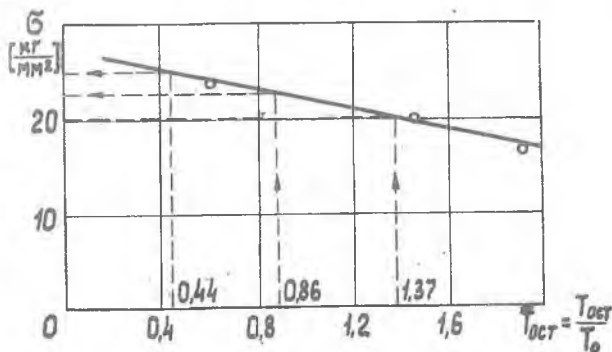


Рис. 3

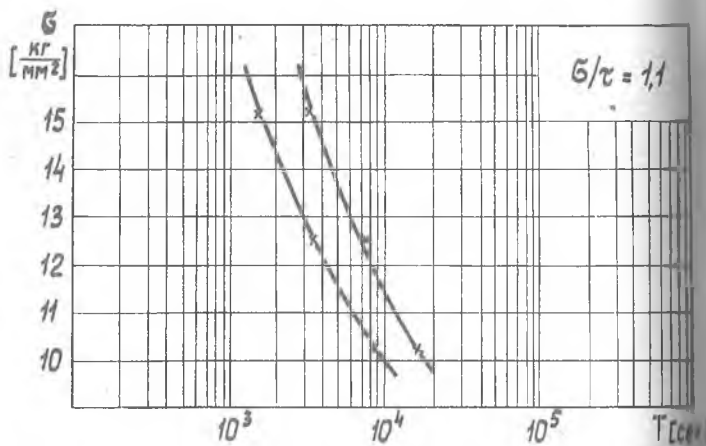


Рис. 4

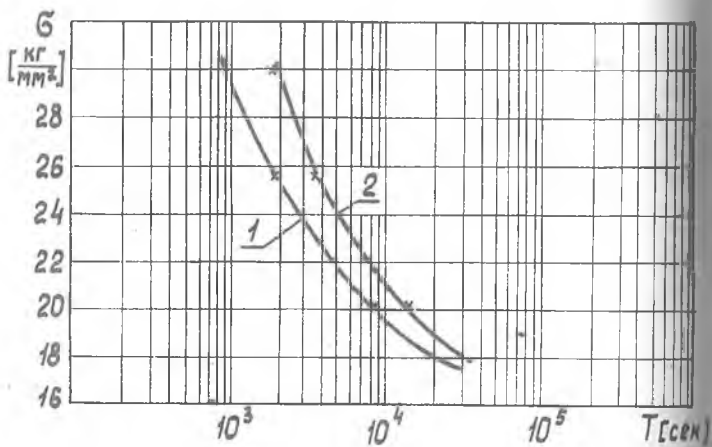


Рис. 5

Для оценки точности найденных эквивалентных режимов нагружения были проведены усталостные испытания до разрушения еще двух партий образцов. Одна партия испытывалась на изгиб с кручением. Основные усталости, соответствующие 50% вероятности, приведены на рис. 4. Вторая партия испытывалась на изгиб. Соответствующие основные усталости показаны на рис. 5. На этих рисунках цифрой 1 отмечены кривые усталости по моменту образования видимой трещины, цифрой 2 - кривые усталости по разрушению образцов.

По графикам рис. 4 определены значения долговечности при изгибе с кручением для напряжений, приведенных в графе 3 таблицы 1, и по рис. 5 - долговечность для эквивалентных им напряжений, возникающих при изгибе образцов (графа 5 таблицы 1). Результаты представлены в таблице 2. Здесь через  $T_{тр}$ ,  $T_{разр}$  обозначена долговечность по моменту образования видимой трещины и по разрушению соответственно. В последних двух графах таблицы дана погрешность определения долговечности по эквивалентным режимам нагружения

$$\frac{T_{Экв} - T}{T}$$

Таблица 2

Изгиб с кручением	И з г и б					Погрешность в %	
	$T_{тр}$ [сек]	$T_{разр}$ [сек]	$\sigma_{Экв}$ [ $\frac{кг}{мм^2}$ ]	$T_{тр}^{Экв}$ [сек]	$T_{разр}^{Экв}$ [сек]	$\Delta_{тр}$	$\Delta_{разр}$
10,1	$8,3 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^4$	20,2	$8 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^4$	3,6	12,5
14,4	$3,6 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^3$	23,1	$3,3 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$	8,3	14,3
16,2	$2 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^3$	25	$1,9 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	5	11,1

Из таблицы видно, что долговечность образцов, найденная по эквивалентным напряжениям, вполне удовлетворительно согласуется с фактической долговечностью при сложном напряженном состоянии.

### Л и т е р а т у р а

1. Чураков А.А. К определению эквивалентных режимов нагружения. - В кн.: Вопросы прочности элементов авиационных конструкций. Межвузовский сборник, вып. 2, изд. КуАИ, 1975.
2. Хазанов Х.С., Чураков А.А. Определение долговечности тонкой панели с несколькими концентраторами при случайном нагружении. - В кн.: Вопросы прочности и долговечности элементов авиационных конструкций. Межвузовский сборник, вып. 3, изд. КуАИ, 1977.