

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДОПУСКАЕМЫХ ИЗГИБНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ РАСЧЕТЕ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

Блескун В.Ф., Шинакова Е.С. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Существующая методика расчета зубчатых передач на изгибную прочность, работающих в условиях ограниченной долговечности, основана на решении уравнения наклонного участка кривой усталости (рис. 1), которое записывается в общепринятой форме [1, 2]:

$$\sigma^m N = Const \quad \text{или} \quad \sigma_{F \lim}^m N_{F \lim} = \sigma_{\max}^m N_{FE}$$

где $\sigma_{F \lim}$ – предел выносливости при пульсирующем цикле нагружения;

$N_{F \lim}$ – базовое число циклов нагружения;

N_{FE} – рабочее число циклов нагружения до усталостного разрушения при максимальном напряжении σ_{\max} .

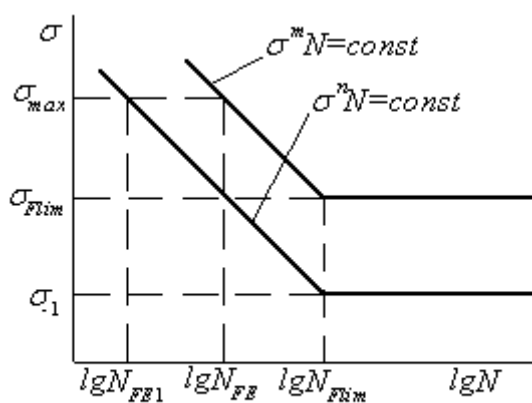


Рисунок 1 – Кривая усталости

При симметричном знакопеременном цикле нагружения изменяется не только предел выносливости, т.е. положение горизонтального участка кривой усталости, но также и ограниченная долговечность детали, определяемая наклонным участком этой кривой. Следовательно, при симметричном знакопеременном цикле нагружения показатель степени в уравнении наклонного участка кривой усталости должен быть другим (рис. 1) и само уравнение должно записываться в форме:

$$\sigma_{-1}^n N_{F \lim} = \sigma_{\max}^n N_{FE1},$$

где σ_{-1} – предел выносливости при знакопеременном цикле нагружения.

Вместе с тем, существующая методика расчета зубчатых передач на изгибную прочность учитывает только изменение предела выносливости у реверсивных передач (знакопеременный цикл нагружения) по сравнению с нереверсивным (пульсирующий цикл нагружения) и не учитывает изменение положения наклонного участка кривой усталости.

Допускаемые напряжения при расчете зубьев на изгибную прочность определяют по формуле [1]:

$$[\sigma]_F = \frac{\sigma_{F \lim}}{[S]_F} K_{FC} K_{FN},$$

где $[S]_F$ – допускаемый запас прочности;

K_{FC} – коэффициент, учитывающий характер нагружения зубьев. Для нереверсивных передач $K_{FC} = 1$, для реверсивных - $K_{FC} = 0,7$;

K_{FN} – коэффициент долговечности, учитывающий повышение допускаемых

напряжений при работе зубчатой передачи на наклонном участке кривой усталости, т.е. при числе циклов нагружения N_{FE} меньше базового $N_{F\lim}$:

$$K_{FN} = \sqrt[m]{N_{F\lim} / N_{FE}}, \quad (1)$$

где $m = 6$ – показатель степени в уравнении наклонного участка кривой усталости.

При существующей методике расчета показатель степени m назначается одинаковым для реверсивных и нереверсивных передач, хотя фактически уравнения наклонных участков кривых усталости будут иметь разные показатели.

Целью настоящей работы является исследование наклонного участка кривой усталости для оценки долговечности реверсивных и нереверсивных зубчатых передач.

Для стали 40X, термообработка улучшение предел выносливости $\sigma_{F\lim} = 500$ МПа, тогда $\sigma_{-1} = 0,7\sigma_{F\lim} = 350$ МПа. Принимая, что наклонные участки кривых усталости при симметричном знакопеременном и пульсирующем циклах нагружения параллельны (см. рис. 1), определим число циклов нагружения N_{FE} при напряжении

$$\sigma_{max} = \sigma_{F\lim} + \Delta\sigma = 500 + 150 = 650 \text{ МПа}, \quad \text{где}$$

$$\Delta\sigma = \sigma_{F\lim} - \sigma_{-1} = 500 - 350 = 150 \text{ МПа}$$

$$N_{FE} = \left(\frac{\sigma_{F\lim}}{\sigma_{max}} \right)^m N_{F\lim} = \left(\frac{500}{650} \right)^6 \cdot 4 \cdot 10^6 = 8 \cdot 10^5,$$

где $N_{F\lim} = 4 \cdot 10^6$ [1, 2].

Уравнение наклонного участка кривой усталости при симметричном знакопеременном цикле нагружения будет иметь вид:

$$\sigma_{F\lim}^n N_{FE} = \sigma_{-1}^n N_{F\lim} \text{ или } 500^n \cdot 8 \cdot 10^5 = 350^n \cdot 4 \cdot 10^6, \text{ откуда } n = 4,5.$$

Таким образом, при определении допускаемых изгибных напряжений реверсивных зубчатых передач в уравнение (1) для нахождения коэффициента долговечности следует вместо $m = 6$ подставлять $n = 4,5$.

В табл. 1 приведены значения коэффициента долговечности K_{FN} , которые определены при показателях степени $m = 6$ и $n = 4,5$ для различных значений отношения $N_{F\lim}/N_{FE}$, а также погрешность, получаемая при определении этого коэффициента и допускаемых напряжений. Максимальное значение отношения $N_{F\lim}/N_{FE} = 80$ получено при $N_{FE} = 5 \cdot 10^4$ – минимальному числу циклов нагружения, при котором нагрузка считается длительно действующей.

Таблица 1 Значения коэффициента K_{FN}

$\frac{N_{F\lim}}{N_{FE}}$	Коэффициент K_{FN}		Погрешность, %
	$m = 6$	$n = 4,5$	
1	1,00	1,00	0
2	1,12	1,17	4
5	1,30	1,43	9
10	1,47	1,67	12
80	2,07	2,64	22

Из приведенных данных видно, что погрешность при определении допускаемых изгибных напряжений по существующей методике составляет до 22%, при этом срок службы зубчатой передачи оказывается заниженным в полтора раза.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Существующая методика расчета зубчатых передач на изгибную прочность не учитывает изменение положения наклонного участка кривых усталости при реверсивном и нереверсивном режиме их работы.

2. При изменении отношения N_{Flim}/N_{FE} от 2 до 80 погрешность при определении допускаемых изгибных напряжений составляет 4 – 22%, поэтому в уравнении наклонного участка кривой усталости вместо показателя степени $m = 6$ следует принимать $n = 4,5$.

Список литературы: 1. В.Т. Павлице. Основи конструювання та розрахунок деталей машин.- Львів:Афіша, 2003 – 560 с. 2. Курсовое проектирование деталей машин/ С.А. Чернавский, К.Н. Боков, И.М. Чернин и др. – М., Машиностроение, 1988, - 416 с.