

МАШИНОСТРОЕНИЕ

А. К. ГЕВОРКЯН

ОЦЕНКА СУММАРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ВАРИАЦИИ ОГРАНИЧЕННОГО ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ ЗУБЬЕВ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА ПО ИЗГИБУ

Расхождения результатов оценки надежности зубчатых колес по изгибу вызывают необходимость проведения комплексных исследований путем анализа влияния отдельных и совместных случайных факторов, связанных с технологией изготовления, на величину суммарного коэффициента вариации предела выносливости зубьев зубчатого колеса.

В работе [1] по результатам экспериментальных исследований уточнено влияние рассеивания значения параметров радиуса выкружки ρ , твердости HB и шероховатости поверхности R_z зубьев на величину коэффициента вариации γ_{Σ} ограниченного предела выносливости зубьев зубчатого колеса по изгибу, в также получены выражения, позволяющие раздельно оценить эти факторы.

В развитие [1, 2], в данной работе предложена формула для оценки совместного влияния рассеивания вышеуказанных составляющих ρ , HB и R_z на величину суммарного коэффициента вариации ограниченного предела выносливости зубьев зубчатого колеса по изгибу.

Поскольку разброс значений ρ , HB, R_z является результатом суммирования воздействий множества технологически независимых случайных факторов, то можно полагать [1], что рассеивания величины ρ , HB, R_z подчиняются нормальному закону распределения и являются некоррелированными случайными величинами. Как известно [3], в этом случае дисперсию суммарного предела выносливости можно определять как сумму дисперсий пределов выносливости, вызванных рассеиванием отдельных случайных факторов.

Использование и развитие идей, содержащихся в [4], позволяют после определения коэффициентов вариации, учитывающих влияния вышеуказанных факторов, оценить суммарный коэффициент вариации γ_{Σ} :

$$\gamma_{\Sigma} = \sqrt{\gamma_{\Sigma_{\max}}^2 + \gamma_{K_1}^2 + \gamma_{K_{HB}}^2 + \gamma_{K_{R_z}}^2} \quad (1)$$

где $\gamma_{\Sigma_{\max}}$ — коэффициент вариации ограниченного предела выносливости идентичного образца, в частности, зуба зубчатого колеса, изготовленного из материала одной плавки; γ_{K_1} , $\gamma_{K_{HB}}$, $\gamma_{K_{R_z}}$ — коэффи-

иенты вариации, соответственно, учитывающие влияние рассеивания теоретического коэффициента концентрации напряжения, твердости и микронеровности. Определение их значений подробно изложено в [1].

Значение $\nu_{\text{натур}}$, которое характеризует естественное рассеивание одной из основных характеристик сопротивления усталости металла в связи со структурной неоднородностью, определяют экспериментальным путем [4]. Для ориентировочных расчетов можно использовать также значения $\nu_{\text{исп.л.}}$, полученные усталостными испытаниями лабораторных цилиндрических образцов из идентичного материала.

По результатам ранее проведенных исследований можно сделать вывод, что функцию распределения ограниченного предела выносливости зубчатых колес можно описать нормальным законом распределения. В этом случае, для подтверждения приемлемости формулы (1) можно ограничиться объемом информации, полученным из уравнений кривых усталости зубьев, которые соответствуют средним значениям $\bar{z}$, HB и $\bar{R}_\sigma$, а также текущими значениями этих параметров. Тогда коэффициент вариации ограниченного предела выносливости можно определить [5]:

$$\nu = \frac{\sigma_{P_1} - \sigma_{P_2}}{\sigma_{P_1} U_{P_1} - \sigma_{P_2} U_{P_2}}, \quad (2)$$

где U_{P_1} , U_{P_2} и σ_{P_1} , σ_{P_2} — квантили нормального распределения и разрушающие напряжения, соответствующие вероятностям неразрушения $P(z_1)$ и $P(z_2)$.

Испытания на сопротивление усталости по изгибу зубьев зубчатых колес из термоулучшенной стали 40X с $z = 28$ и $m = 3$ мм проводили на четырех уровнях нагружения (рис. 1). Чтобы получить значения разрушающих напряжений σ_R с соответствующей вероятностью неразрушения $P(z_1) = 0,5$, на каждом уровне испытывались по три зуба, имеющие средние значения $\bar{r} = 1,57$ мм, HB = 300, $\bar{R}_\sigma = 60$ мм (из общей совокупности 140 шт. зубчатых колес). На тех же четырех уровнях нагружения (рис. 1) приведены результаты аналогичных испытаний зубьев с текущими значениями $r = 1,35 \pm 0,01$ мм, HB = 267 ± 1 , $R_\sigma = 165 \pm 3$ мм, у которых вероятности неразрушения $P(z_2) = 0,95$.

Результаты усталостных испытаний обработаны на основе линейного регрессионного анализа и получены уравнения кривой усталости, соответствующие вероятности неразрушения $P(z_1) = 0,5$ (рис. 1, кривая 1):

$$\lg N = -6,203 \lg \sigma + 23,32 \quad (3)$$

и при $P(z_2) = 0,95$ (рис. 1, кривая 2):

$$\lg N = -5,883 \lg \sigma + 21,88. \quad (4)$$

Из уравнений (3) и (4) вычислим значения разрушающих напряжений σ_{p_1} и σ_{p_2} , соответствующие $P(\sigma_1) = 0,5$ и $P(\sigma_2) = 0,95$. Подставляя эти значения в формулу (2), можно определить значения коэффициентов вариации γ , на разных уровнях нагружения.

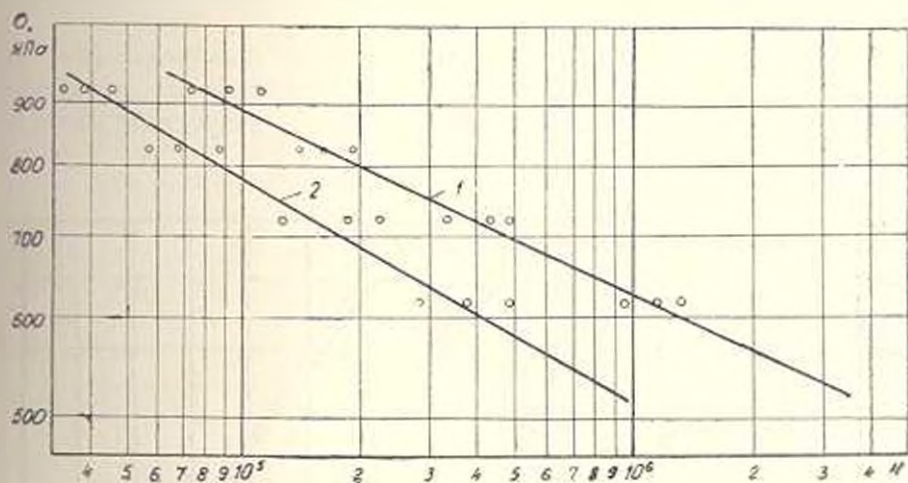


Рис. 1.

Для подтверждения справедливости использования формулы (1) при оценке суммарного коэффициента вариации γ_{Σ} , в таблице приведены значения этих коэффициентов для четырех уровней нагружения, которые получены согласно формулам (1) и (2). Как видно, расхождение между расчетными и опытными значениями не превышает 2,5%.

Таблица

Уровни нагружения		Коэффициент вариации ограниченного предела выносливости зубьев γ_{σ_0}	
		по формуле (1)	по формуле (2)
1	912	0,093	0,09
2	825	0,099	0,096
3	718	0,1	0,099
4	614	0,1	0,103

С целью доказать правомерность принятых допущений, на нормальной вероятностной бумаге для четырех уровней нагружения (рис. 2) представлены графики эмпирической функции распределения ограниченного предела выносливости зубьев зубчатого колеса по изгибу

(сплошные линии), а также расчетного закона распределения (пунктирные линии), определенного согласно формуле

$$x_p = \bar{x}(1 + v_{\text{огр}} U_p), \quad (5)$$

где $\bar{x}$ — медианное значение ограниченного предела выносливости; $v_{\text{огр}}$ — коэффициент вариации ограниченного предела выносливости, определенный по формуле (1).

Проверочные расчеты (табл.) и графические построения (рис. 2) с достаточной высокой точностью ($\Delta = 2\%$) подтверждают совпадение значений суммарного коэффициента вариации $v_{\text{огр}}$, полученных экспериментальным (2) и расчетным (1) путем.

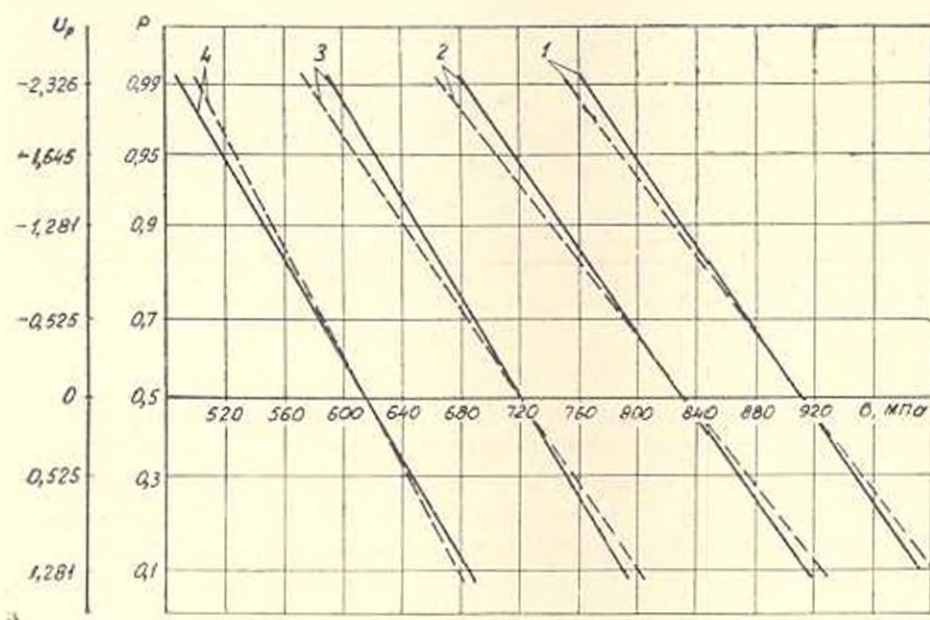


Рис. 2.

Проведенные исследования позволяют по результатам статистической обработки рассеивания значений радиуса выкружки r , твердости H_B и шероховатости R_z расчетным путем по формуле (1) оценить величину суммарного коэффициента вариации ограниченного предела выносливости зубьев зубчатых колес по изгибу. Из-за отсутствия экспериментальных данных зубьев по изгибу, для определения слагаемого $v_{\text{изг}}$, можно использовать опытные данные цилиндрических образцов, которые имеются в справочной литературе для целого ряда конструкционных материалов.

ԱՏԱՄԵԱՆԻՎԻ ԱՏԱՄԵ ԽՈՒՄԱՆ ՍԱՀՄԱՆԱՓԱԿ ԳԻՄԱՑԿԱՆՈՒԹՅԱՆ
ՄԱՀՄԱՆԻ ՓՈՓՈԽԱԿՄԱՆ ԳՈՒՄԱՐԱՅԻՆ ԳՈՐԾԱԿՑԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Ինչևնով զուգակցված փորձնական հետազոտություններից՝ առաջարկված է առամենանիվի առամի ծոման սահմանափակ դիմացկանության սահմանի գումարային փոփոխական գործակցի արժեքի վրա մի շարք տեխնոլոգիական գործոնների համապեղ ազդեցության դնահատման մեթոդ: Առաջարկված է բանաձև, որը թույլ է տալիս գործոնների ազդեցության փոփոխական գործակցիների ավայելներով, հաշվարկային եղանակով դնահատել վերը նշված գործակցի արժեքը: Ստուգիչ հաշվարկները և զրաֆիկական կառուցումները հաստատում են հաշվարկային և փորձնական եղանակով ստացված այդ գումարային գործակցի արդյունքների բարձր ճշտությամբ համընկնումը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гепоркян А. К. Влияние случайных факторов на величину коэффициента вариации предела выносливости зуба зубчатого колеса.— Изв. АН АрмССР (сер. ТИ), 1983, т. XXXVI, № 4, с. 28—33.
2. Гепоркян А. К. Оценка параметров распределения предела изгибной выносливости зубьев зубчатых колес.— Изв. АН АрмССР (сер. ТИ), 1981, т. XXXIV, № 5, с. 3—10.
3. Вентцель Е. С. Теория вероятностей.— М.: Наука, 1969.— 576 с.
4. Косиен В. П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени.— М.: Машиностроение, 1977.— 232 с.
5. Иваниц А. С. Оценка закона распределения предела выносливости детали по расщеплению предела выносливости образцов.— В сб.: Тр. МВТУ, 1978, № 278, с. 44—55.