

УДК 621.8: 62-1/-9

РАСЧЁТ ГЛУБИННОЙ КОНТАКТНОЙ ПРОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Купцов В. В., Жильников Е. П.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

Многие элементы химического, энергетического оборудования и машиностроительных конструкций в процессе эксплуатации находятся в условиях неоднородного сложного напряжённого состояния и испытывают воздействие изменяющихся во времени силовых и тепловых нагрузок. Это проявляется в том, что происходят глубинные расслаивания. Поэтому необходимо проводить расчёт не только по поверхностной контактной прочности, но и по глубинному запасу контактной прочности.

При термохимическом упрочнении поверхностей зубьев, когда высоки допустимые контактные напряжения на поверхности, усталостные трещины могут возникнуть под упрочнённым слоем высокой твёрдости раньше, чем у поверхности.

На рисунке 1 отображены усталостные трещины под упрочнённым слоем и увеличенное изображение повреждённого участка на рисунке 2.



Рис. 1. Усталостные трещины под упрочнённым слоем

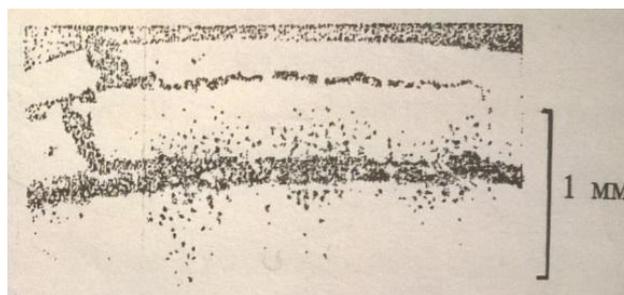


Рис. 2. Увеличенное изображение повреждённого участка

Расчёт производят для азотированных, цементированных и нитроцементированных (цементированных) цилиндрических зубчатых колёс с малой толщиной упрочнённого слоя в тех случаях, когда полученное в результате расчёта зубьев на поверхностную контактную прочность значение напряжений σ_H превышает значение $\sigma_{H_{гд}}$ контактных напряжений, определённых для сердцевины зубьев.

Расчёт сводится к определению запаса прочности по отношению к глубинным разрушениям:

$$S_{H_{гд}} = \sigma_{H \text{ lim } b_{гд}} / \sigma_H \geq S_{H_{гд}}. \quad (1)$$

Минимальные допустимые значения запасов по глубинной контактной прочности можно принимать по стандарту. При отсутствии статистических данных для случаев, когда разрушение может развиваться под слоем, принимают $S_{H_{гд}} = 1,4$. А для случаев, когда имеется вероятность появления разрушений в пределах упрочнённого слоя – $S_{H_{гд}} = 1,5$.

Для исследования в качестве исходных данных были приняты значения необходимых параметров для пары колёс и шестерёнок из курсового проекта, рассчитанных в соответствии с полученным заданием, отображённые в таблицах 1-3.

Таблица 1. Исходные данные

№ ступени	Наименования	Обозначения диаметров	Значения диаметров, мм	$z_{к1,2}; z_{ш1,2}$	$m_{1,2}$	$U_{1,2}$	$N_{HE}, 10^7$	$N_{H0}, 10^7$
1	Диаметр колеса 1	d_{b1}	220	88	2,5	2,928	9,3454	12
	Диаметр шестерни 1	d_{b2}	75	30			3,1922	
2	Диаметр шестерни 2	d_{b3}	84	21	4	2,420	1,3194	
	Диаметр колеса 2	d_{b4}	204	51				

N_{HE} – расчётное число циклов для переменного режима работы; N_{H0} определяется при $HRC=60$. Зацепление внешнее. $\alpha_{tw} = 20^\circ \rightarrow \operatorname{tg} \alpha_{tw} = 0,364$; $\beta_b = 0^\circ \rightarrow \cos \beta_b = 1$

Таблица 2. Термообработка для зубчатых колёс

Материал 20ХН3А			
На поверхности		На сердцеvine	
H_{HRC}^0	60	H_{HRC}^K	32
H_{HB}^0	610	H_{HB}^K	300
H_{HV}^0	775	H_{HV}^K	300

Таблица 3. Результаты расчёта на ЭВМ

$\sigma_{H 1,2}, \text{ МПа}$	1118,038
$\sigma_{H 3,4}, \text{ МПа}$	1446,270

Расстояние от поверхности до точки, в которой твёрдость упрочнённого слоя равна твёрдости сердцеvine, принимается из диапазона $h_t = 0,6 \dots 1,5$ мм. Исследования проводились для минимального и максимального значений интервала.

Результаты расчёта запаса прочности в таблице 4.

Таблица 4. Запас прочности для минимального и максимального значения h_t

Принимаемое $h_t, \text{ мм}$	$h_t = 0,6$	$h_t = 1,5$
$S_{H_{zл} 1}$	1,386	1,394
$S_{H_{zл} 2}$	1,662	1,992
$S_{H_{zл} 3}$	1,264	1,464
$S_{H_{zл} 4}$	1,195	1,241

В результате проведенных расчётов для пары колёс и шестерёнок получены значения запаса прочности по глубинным контактным напряжениям на границах диапазона $h_t = 0,6 \dots 1,5$ мм.

Исходя из полученных результатов можно судить, что условие $S_{H_{zл}} \geq 1,4$ или 1,5 выполняется не для всех рассчитываемых тел. Это говорит о том, что необходимо увеличить толщину упрочнённого слоя. Все эти четыре тела представляют собой отдельные части взаимодействующих ступеней редуктора. Поэтому варьируемые проектные характеристики должны выбираться так, чтобы с точки зрения технологического процесса изготовления они были применимы для всех данных колёс и шестерёнок. Иначе индивидуальные процессы расчёта и изготовления очень трудоёмки и затратны.

Библиографический список

1. Иванов В. Ю. Расчёт зубчатых передач на прочность. – М.: Российский речной регистр, 2004. – 91 с.