

УДК 621.787.539

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС ПО ОСТАТОЧНЫМ НАПРЯЖЕНИЯМ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВПАДИН

Шляпников П. А., Сорокин А. Д., Ковалкин Ю. П.

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королёва, г. Самара

Зубчатые колёса изготавливались из материала 12Х2Н4А по стандартной технологии, типичной для авиационного двигателестроения. Зубья имели эвольвентный профиль, у их основания – поднутрение в форме удлинённой гипоциклоиды, выполненные для выхода инструмента в процессе шлифования боковой поверхности с целью повышения кинематической точности зубчатой передачи. В табл. 1 приведены варианты технологического цикла и номера партий.

Таблица 1

№ партии	Количество образцов	Модуль, число зубьев, угол зацепления, α°	Технология изготовления
1	9	3, 25, 25	долбление
2	12	3, 25, 25	фрезерование
3	24	то же	фрезерование, термообработка, пескоструйная обработка, шлифование, покрытие
4	10	то же	фрезерование, термообработка, пескоструйная обработка, шлифование
5	18	то же	фрезерование, термообработка, пескоструйная обработка, шлифование, покрытие, упрочнение микрошариками

Меридиональные σ_φ остаточные напряжения во впадинах зубчатых колёс определялись по методике, изложенной в работах [1,2]. Распределение остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя a впадин исследуемых зубчатых колёс представлено на рис. 1 и 2.

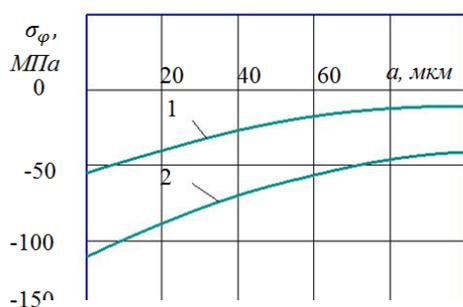


Рис. 1. Остаточные напряжения в поверхностном слое впадин зубчатых колёс: 1 – партия 1, 2 – партия 2

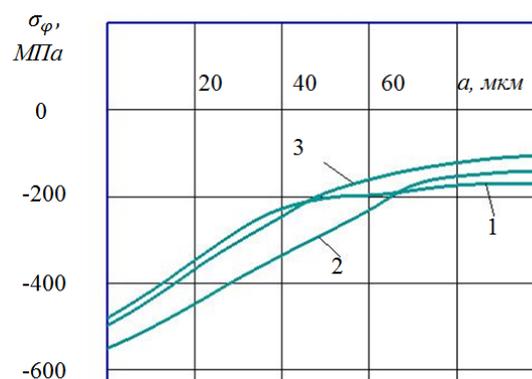


Рис. 2. Остаточные напряжения в поверхностном слое впадин зубчатых колёс: 1 – партия 3, 2 – партия 5, 3 – партия 4

Влияние остаточных напряжений во впадинах зубчатых колёс на приращение предела выносливости $\Delta\sigma_R$ проводилось по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ по следующей формуле:

$$\Delta\sigma_R = \bar{\psi}_\sigma | \bar{\sigma}_{ост} |,$$

где $\bar{\psi}_\sigma$ – коэффициент влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ [3]. Критерий $\bar{\sigma}_{ост}$ определялся по формуле:

$$\bar{\sigma}_{ост} = \frac{2}{\pi} \int_0^1 \frac{\sigma_\varphi(\xi)}{\sqrt{1-\xi^2}} d\xi.$$

С целью оценки влияния технологии изготовления зубчатых колёс на предел выносливости σ_R были проведены испытания на усталость при отнулевом положительном цикле; база испытаний – 3×10^6 циклов. Испытания осуществлялись по методу «лестницы» [4], позволяющему при сравнительно небольшом количестве образцов определить среднее значение предела выносливости и его среднеквадратичное отклонение. Результаты испытаний на усталость и значения среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ приведены в табл.2, где σ_α – амплитудное значение предела выносливости, которое при отнулевом цикле нагружения определяется как $\sigma_{max}/2$, σ_{max} – максимальное напряжение цикла.

Таблица 2

№ партии	$\bar{\sigma}_{ост}$, МПа	σ_R , МПа	σ_α , МПа	$\Delta\sigma_R$, МПа	$\bar{\psi}_\sigma$
1	-22,9	572	286		
2	-285	866	433	147	0,516
3	-195	778	389	103	0,528
4	-214	844	422	136	0,636
5	-185	775	388	102	0,551
				среднее	0,558

Коэффициент влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\psi}_\sigma$ определялся в виде отношения $\Delta\sigma_R/\bar{\sigma}_{ост}$.

Библиографический список

1. Иванов, С. И. Способ измерения остаточных напряжений в шестернях [Текст] / С. И. Иванов, Н. Г. Трофимов, М. П. Шатунов, В. М. Ермолаев, Ю. П. Ковалкин, Э. И. Фрейдин// Авторское свидетельство №1439380. – 1984.
2. Шатунов, М. П. Применение метода конечных элементов для определения остаточных напряжений во впадинах шестерён [Текст] / М. П. Шатунов, Ю. П. Ковалкин// Рукопись деп. ВНИИТЭМР, 1986. – № 301. – 27 с.
3. Павлов, В. Ф. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям [Текст] / В. Ф. Павлов, В. А. Кирпичёв, В. С. Вакулюк// Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012. – 125 с.
4. Степнов, М. П. Статистическая обработка результатов механических испытаний [Текст] / М. П. Степнов // М.: Машиностроение, 1972. – С. 211-214