

УДК 621.18:539.4

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ УПРОЧНЁННЫХ ДЕТАЛЕЙ С УЧЁТОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ

Киселёв П. Е., Катанаева Ю. А., Денискина Е. А.

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

Для прогнозирования предела выносливости поверхностно упрочнённых деталей используются два критерия: критерий  $\sigma_z^{нов}$ , учитывающий влияние остаточных напряжений на поверхности упрочнённой детали, и критерий среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{ост}$  по толщине упрочнённого поверхностного слоя [1]. В работе [2] было установлено, что использование первого критерия не является целесообразным из-за большого рассеивания соответствующего коэффициента  $\psi_\sigma$  влияния упрочнения по критерию  $\sigma_z^{нов}$ . Поэтому прогнозирование предела выносливости в данном исследовании осуществлялось с использованием второго критерия, для чего кроме остаточных напряжений, необходимо знать две величины: критическую глубину  $t_{кр}$  нераспространяющейся трещины усталости и коэффициент  $\bar{\psi}_\sigma$  влияния поверхностного упрочнения по критерию  $\bar{\sigma}_{ост}$ . Значение  $t_{кр}$  определяется только размерами поперечного сечения детали и вычисляется по формуле [2]:

$$t_{кр} = 0,0216D \quad (1)$$

где  $D$  – диаметр опасного поперечного сечения детали.

Коэффициент  $\bar{\psi}_\sigma$  влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости, полученный экспериментальным путём, в общем виде описывается следующим выражением [2]:

$$\bar{\psi}_\sigma = 0,612 - 0,081\alpha_\sigma, \quad (2)$$

где  $\alpha_\sigma$  – теоретический коэффициент концентрации напряжений.

В исследовании рассмотрено влияние некоторых эксплуатационных факторов на предел выносливости при кручении и изгибе.

### 1. Тип деформации

В работе [2] было показано, что при  $\alpha_\sigma = 2,5 - 3$  в случае изгиба и растяжения-сжатия коэффициент  $\bar{\psi}_\sigma \cong 0,36$ , в случае кручения  $\bar{\psi}_\tau \cong 0,18$ . Для большой группы авиационных деталей (валы, рессоры, торсионы) характерной деформацией является переменное кручение. Для исследования влияния остаточных напряжений на предел выносливости при кручении были изготовлены образцы из сталей 30ХГСА, ЭИ961 и алюминиевого сплава В95 [3]. На упрочнённые и неупрочнённые образцы диаметром  $D_l = 12$  мм из стали ЭИ961 и сплава В95 безнаклёпным способом наносились надрезы полукруглого профиля с  $\rho_0 = 0,3$  мм, из стали 30ХГСА – с  $\rho_0 = 0,35$  мм. Результаты определения предела выносливости при кручении  $\tau^{-1}$  приведены в табл. 1. Из данных табл. 1 видно, что коэффициент  $\bar{\psi}_\tau$  влияния упрочнения на предел выносливости при кручении имеет небольшой разброс и составляет в среднем 0,181, что вдвое меньше значения аналогичного коэффициента  $\bar{\psi}_\sigma$  при изгибе и растяжении-сжатии.

Таблица 1. Результаты испытаний на усталость и определения остаточных напряжений

Материал	Размеры образцов и концентраторов			Неупрочнённые образцы	Упрочнённые образцы			
	$D_1$ , мм	$D$ , мм	$\rho_0$ , мм	$\tau_{-1}$ , МПа	$\tau_{-1}$ , МПа	$t_{кр}$ , мм	$\bar{\sigma}_{ост}$ , Па	$\bar{\psi}_\tau$
30ХГС А	12	11,3	0,35	180,7	222,5	0,235	-233	0,179
ЭИ961	12	11,4	0,30	244	300	0,240	-293	0,191
В95	12	11,4	0,30	37,5	72,5	0,250	-193	0,180

## 2. Рабочая температура

Для учёта влияния рабочей температуры на предел выносливости деталей были проведены испытания на усталость образцов диаметром 7,5 мм из стали ЭИ961 после алмазного выглаживания и диаметром 10 мм из алюминиевого сплава В95 после упрочнения дробью. Затем стальные образцы выдерживались в печи при температуре 400°C, алюминиевые – при температуре 125°C в течение 100 часов. На упрочнённые и неупрочнённые образцы наносились надрезы полукруглого профиля с  $\rho_0 = 0,3$  мм. Далее определялись остаточные напряжения и проводились испытания образцов на усталость при изгибе в случае симметричного цикла. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты испытаний на усталость и определения остаточных напряжений

Материал	Температура, град. С	Неупрочнённые образцы $\sigma_{-1}$ , МПа	Упрочнённые образцы			
			$\sigma_{-1}$ , МПа	$t_{кр}$ , мм	$\bar{\sigma}_{ост}$ , МПа	$\bar{\psi}_\sigma$
ЭИ961	20	230	380	0,160	-422	0,356
	400	190	270	0,160	-242	0,331
В95	20	105	200	0,310	-249	0,382
	125	105	155	0,310	-141	0,355

Из данных, приведённых в табл. 2, видно, что коэффициент  $\bar{\psi}_\sigma$ , учитывающий влияние поверхностного упрочнения по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений, как для стальных, так и для алюминиевых образцов достаточно близок к значению  $\bar{\psi}_\sigma = 0,36$ .

Таким образом, проведённое исследование показывает, что прогнозирование предела выносливости поверхностно упрочнённых деталей с учётом эксплуатационных факторов можно вести по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений.

## Библиографический список

1. Павлов, В. Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений [Текст] / В. Ф. Павлов // Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – №8. – С. 29-32.
2. 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.
3. Павлов, В. Ф. Связь остаточных напряжений и предела выносливости при кручении в условиях концентрации напряжений [Текст] / В. Ф. Павлов, А. А. Прохоров // Проблемы прочности. – 1991. – №5. – С. 43-46.