

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ ОБРАЗЦОВ С НАДРЕЗАМИ

Кочерова Е. Е., Микушев Н. Н., Павлов В. Ф.

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

Основную роль в повышении сопротивления усталости упрочнённых деталей с концентраторами напряжений играют сжимающие остаточные напряжения [1,2]. Для учёта влияния остаточных напряжений на предел выносливости таких деталей используются два критерия. Первым критерием являются остаточные напряжения на поверхности концентратора  $\sigma_z^{nos}$ . Зависимость для определения приращения предела выносливости  $\Delta P_R(\Delta\sigma_R, \Delta\tau_R)$  упрочнённой детали (образца) в этом случае имеет вид

$$\Delta P_R = \psi_P \cdot |\sigma_z^{nos}|, \quad (1)$$

где  $\psi_P(\psi_\sigma, \psi_\tau)$  – коэффициент влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости по критерию  $\sigma_z^{nos}$ .

Для определения второго критерия в работе [3] использовалось решение задачи о дополнительных остаточных напряжениях в наименьшем сечении поверхностно упрочнённой детали после нанесения на неё надреза полуэллиптического профиля.

Выделив основную часть этого решения, был получен второй критерий  $\bar{\sigma}_{ocm}$  – критерий среднеинтегральных остаточных напряжений в виде

$$\bar{\sigma}_{ocm} = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^1 \frac{\sigma_z(\xi)}{\sqrt{1-\xi^2}} d\xi, \quad (2)$$

где  $\sigma_z(\xi)$  – осевые остаточные напряжения в опасном сечении детали,  $\xi = y/t_{кр}$  – расстояние от дна концентратора до текущего слоя, выраженное в долях  $t_{кр}$ ,  $t_{кр}$  – критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости, возникающей при работе детали (образца) на пределе выносливости.

Приращение предела выносливости  $\Delta P_R(\Delta\sigma_R, \Delta\tau_R)$  упрочнённой детали при использовании критерия  $\bar{\sigma}_{ocm}$  определяется по следующей формуле:

$$\Delta P_R = \bar{\psi}_P \cdot |\bar{\sigma}_{ocm}|, \quad (3)$$

где  $\bar{\psi}_P(\bar{\psi}_\sigma, \bar{\psi}_\tau)$  – коэффициент влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости по критерию  $\bar{\sigma}_{ocm}$ .

В настоящем исследовании гладкие образцы из стали 20 диаметром 50 мм подвергались обкатке роликом при усилиях  $P = 0,5$  кН (ОР1) и  $P = 1,0$  кН (ОР2). Затем на упрочнённые и неупрочнённые гладкие образцы наносились круговые надрезы полукруглого профиля радиусов  $R = 0,3$  мм,  $R = 0,5$  мм и  $R = 1,0$  мм.

Остаточные напряжения в гладких образцах определялись экспериментально методом колец и полосок, а в образцах с надрезами – расчётным путём. Значения

остаточных напряжений на поверхности дна надрезов  $\sigma_z^{нов}$  и среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{ост}$  представлены в табл. 1.

Испытания на усталость при изгибе в случае симметричного цикла неупрочнённых и упрочнённых образцов с надрезами проводились на машине УМП-02, результаты определения предела выносливости  $\sigma_{-1}$  и критическая глубина  $t_{кр}$  нераспространяющейся трещины усталости приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты испытаний образцов с надрезами на усталость и определения остаточных напряжений

Надрез	Неупроч. образцы $\sigma_{-1}$ , МПа	Упрочнённые образцы							$K_\sigma$	$(\bar{\psi}_\sigma)_{pa}$
		обработ. ка	$\sigma_{-1}$ , МПа	$\sigma_z^{нов}$ , МПа	$\psi_\sigma$	$t_{кр}$ , мм	$\bar{\sigma}_{ост}$ , МПа	$\bar{\psi}_\sigma$		
R = 0,3 мм	87,5	OP1	117,5	-898	0,033	1,040	-94	0,322	2,86	0,328
		OP2	130	-1004	0,042	1,110	-128	0,332		
R = 0,5 мм	92,5	OP1	122,5	-396	0,078	1,077	-82	0,366	2,47	0,353
		OP2	132,5	-547	0,073	1,024	-112	0,357		
R = 1,0 мм	92,5	OP1	110	-126	0,139	1,073	-46	0,380	2,32	0,363
		OP2	115	-166	0,136	1,035	-62	0,363		

Из представленных в табл. 1 данных видно, что оценка влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости образцов по критерию  $\sigma_z^{нов}$  приводит к значительному рассеянию коэффициента  $\psi_\sigma$ . Этот коэффициент в проведённом исследовании изменяется в 4,5 раза. Учёт влияния поверхностного упрочнения по критерию  $\bar{\sigma}_{ост}$  приводит к существенно меньшему рассеянию соответствующего коэффициента  $\bar{\psi}_\sigma$ .

В работе [2] приведена зависимость между коэффициентом влияния  $\bar{\psi}_\sigma$  при изгибе по критерию  $\bar{\sigma}_{ост}$  и эффективным коэффициентом концентрации напряжений  $K_\sigma$  в виде

$$(\bar{\psi}_\sigma)_{расч} = 0,514 - 0,065K_\sigma. \quad (4)$$

В табл. 1 представлены значения коэффициента  $K_\sigma$ , а также расчётные величины коэффициента  $(\bar{\psi}_\sigma)_{расч}$ . Видно, что опытные значения коэффициента  $\bar{\psi}_\sigma$  незначительно отличаются от расчётных значений  $(\bar{\psi}_\sigma)_{расч}$ , вычисленных по формуле (4).

Проведённое исследование показало, что для прогнозирования приращения предела выносливости поверхностно упрочнённых образцов (деталей) с

концентраторами напряжений наиболее оправдано использование критерия среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{ост}$ .

Библиографический список

1. Иванов, С. И. Влияние остаточных напряжений и наклепа на усталостную прочность [Текст] / С. И. Иванов, В. Ф. Павлов // Проблемы прочности. – 1976. – №5. – С. 25-27.
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. 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.