

УДК 621.787:539.319

## ОЦЕНКА ПРИРАЩЕНИЯ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ УПРОЧНЁННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПО ОСТАТОЧНЫМ НАПРЯЖЕНИЯМ ОБРАЗЦА-СВИДЕТЕЛЯ

Киселёв П. Е., Анохин Д. В., Каранаева О. В.

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

Для контроля технологического процесса упрочнения деталей на практике широко используются образцы-свидетели. Эти образцы, имеющие определённые форму и размеры, проходят весь технологический цикл обработки вместе со штатными деталями. В данной работе изучалась возможность прогнозирования предела выносливости упрочнённых деталей по результатам исследования остаточного напряжённо-деформированного состояния образца-свидетеля.

В основе расчётно-экспериментального метода определения остаточных напряжений в детали лежит известная гипотеза о том, что обрабатываемые совместно деталь и образец-свидетель при упрочнении получают одинаковые первоначальные деформации. Однако во всех случаях практического применения эта гипотеза требует проведения тщательной экспериментальной и расчётной проверки. С этой целью были проанализированы результаты испытаний на усталость и экспериментального определения остаточных напряжений по толщине упрочнённого дробью поверхностного слоя нескольких партий цилиндрических образцов с надрезами  $R = 0,3$  мм из стали 30ХГСА и алюминиевого сплава Д16Т, приведённых в работе [1]. Размеры образцов представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1

Материал	Партия	$D$	$d$	$D_1$
		мм		
30ХГСА	1	10	0	9,4
	2	15	0	14,4
	3	15	5	14,4
	4	15	10	14,4
Д16Т	1	15	0	14,4
	2	15	5	14,4
	3	15	10	14,4

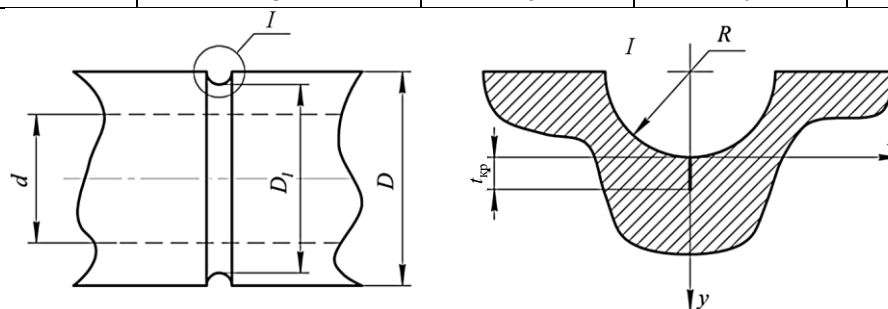


Рис. 1. Цилиндрический образец и нераспространяющаяся трещина усталости

Моделирование остаточных напряжений по толщине упрочнённого поверхностного слоя осуществлялось методом термоупругости [2]. При определении первоначальных деформаций в качестве исходных данных использовались экспериментальные распределения осевых остаточных напряжений  $\sigma_z$  по толщине  $a$  упрочнённого поверхностного слоя образцов-свидетелей (втулки диаметром 51,5×45 мм).

Оценку влияния поверхностного упрочнения на приращение предела выносливости образцов с надрезами при изгибе в случае симметричного цикла  $(\Delta\sigma_{-1})_{\text{расч}}$  производили по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{\text{ост}}$  [1]:

$$(\Delta\sigma_{-1})_{\text{расч}} = \bar{\psi}_{\sigma} |\bar{\sigma}_{\text{ост}}|, \quad (1)$$

где  $\bar{\psi}_{\sigma}$  – коэффициент влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости при изгибе по критерию  $\bar{\sigma}_{\text{ост}}$ :

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

где  $\sigma_z(\xi)$  – осевые остаточные напряжения в опасном сечении образца (детали) с концентратором по толщине поверхностного слоя  $a$ ;  $\xi = a/t_{\text{кр}}$  – расстояние от поверхности опасного сечения образца (детали) до текущего слоя, выраженное в долях  $t_{\text{кр}}$ ;  $t_{\text{кр}}$  – критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости (см. рис. 1), возникающей в упрочнённом образце (детали) с концентратором напряжений при работе на пределе выносливости.

Значения критической глубины  $t_{\text{кр}}$  и коэффициента  $\bar{\psi}_{\sigma}$ , приведённые в табл. 2, определялись по зависимостям работы [1]. Далее по формуле (1) вычислялись расчётные значения приращений предела выносливости  $(\Delta\sigma_{-1})_{\text{расч}}$  упрочнённых образцов с надрезами и сравнивались с опытными значениями  $(\Delta\sigma_{-1})_{\text{оп}}$ , приведёнными в работе [1].

Таблица 2

Материал	Партия	$t_{\text{кр}}$ , мм	$\bar{\sigma}_{\text{ост}}$ , МПа	$\bar{\psi}_{\sigma}$	$(\Delta\sigma_{-1})_{\text{расч}}$	$(\Delta\sigma_{-1})_{\text{оп}}$	Расхождение, %
					МПа		
30ХГСА	1	0,203	-240	0,393	94	90	5
	2	0,311	-196	0,385	75,5	77,5	3
	3	0,303	-211	0,385	81,3	77,5	5
	4	0,249	-218	0,377	82,1	80	3
Д16Т	1	0,311	-180	0,385	69,3	65	7
	2	0,303	-169	0,385	65,1	60	9
	3	0,249	-165	0,377	62,4	60	4

Из данных, представленных в табл. 2, видно, что расхождение между расчётными и опытными значениями приращения предела выносливости в данном исследовании не превышает 9%. Следовательно, используя результаты определения остаточных напряжений в образцах-свидетелях, представляется возможным прогнозировать предел выносливости поверхностно упрочнённых деталей в условиях концентрации напряжений с приемлемой для многоциклового усталости точностью.

#### Библиографический список

1. 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.
2. Павлов, В. Ф. Расчёт остаточных напряжений в деталях с концентраторами напряжений по первоначальным деформациям [Текст] / В. Ф. Павлов, А. К. Столяров, В. С. Вакулюк, В. А. Кирпичёв // Самара: Издательство СНЦ РАН, 2008. – 124 с.