

**ИНТЕРВАЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ КОЭФФИЦИЕНТА ВЛИЯНИЯ
ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ
УПРОЧНЁННЫХ ДЕТАЛЕЙ**

В данной работе изучается вопрос о прогнозировании приращения предела выносливости поверхностно упрочнённых образцов и деталей после нанесения на них концентратора напряжений в виде кругового надреза полукруглого профиля и приводится анализ погрешности вычисления коэффициента влияния остаточных напряжений на предел выносливости цилиндрических деталей различных размеров.

Для прогнозирования приращения предела выносливости упрочнённых деталей и образцов с надрезом используется критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$, предложенный в работе [1]:

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

где $\sigma_z(\xi)$ – осевые остаточные напряжения в наименьшем (опасном) сечении детали с концентратором напряжений, $\xi = \frac{y}{t_{кр}}$ – расстояние от дна впадины концентратора до текущего слоя, выраженное в долях $t_{кр}$, $t_{кр}$ – критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости, возникающей при работе поверхностно упрочнённой детали на пределе выносливости (рис.1).

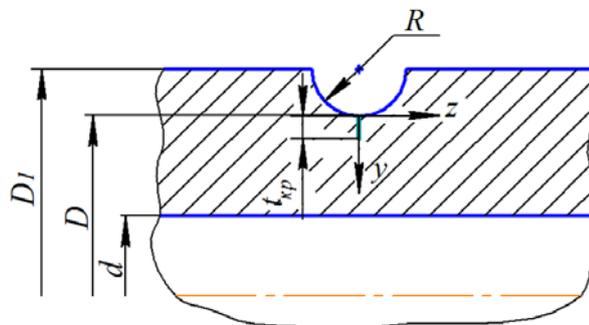


Рис. 1. Цилиндрическая деталь с концентратором и нераспространяющаяся трещина усталости

Для сплошной цилиндрической детали критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости находится по формуле

$$t_{кр} = 0,0216D_1,$$

где D_1 – диаметр наименьшего поперечного сечения.

Для полых цилиндрической детали

$$t_{кр} = 0,0216D_1 \cdot \left[1 - 0,04 \cdot \left(\frac{d}{D_1} \right)^2 - 0,54 \cdot \left(\frac{d}{D_1} \right)^3 \right],$$

где d – внутренний диаметр полых детали.

Приращение предела выносливости поверхностно упрочнённой детали при изгибе в случае симметричного цикла $\Delta\sigma_{-1}$ определяется по формуле:

$$\Delta\sigma_{-1} = \bar{\psi}_\sigma \cdot |\bar{\sigma}_{ocm}|,$$

где $\bar{\psi}_\sigma$ – коэффициент влияния остаточных напряжений на предел выносливости, найденный с помощью критерия среднеинтегральных остаточных напряжений.

Был проведён анализ результатов испытаний на усталость при изгибе в случае симметричного цикла сплошных цилиндрических образцов диаметром D_1 и полых цилиндрических образцов диаметром D_1/d , упрочнённых различными методами поверхностного пластического деформирования: пневмо- и гидродробеструйной обработкой, обкаткой роликом на различных режимах, алмазным выглаживанием [2–4].

Образцы диаметром 7,5 – 25 мм были изготовлены из сталей 20, 45, 40Х, 30ХГСА, ЭИ961, 12Х18Н10Т и сплавов ЭИ437Б, В95, Д16Т, диаметром 45 мм – из стали 40ХН, диаметром 50 мм – из сталей 20 и 45. После упрочняющей обработки на все образцы наносились круговые надрезы полукруглого профиля радиусов $R = 0,3$ мм, $R = 0,5$ мм, $R = 1,0$ мм и $R = 3,0$ мм.

Влияние остаточных напряжений, наведённых в результате упрочняющей обработки, на приращение предела выносливости образцов с надрезом изучалось по значениям коэффициента $\bar{\psi}_\sigma$. Были проанализированы результаты испытаний 96 партий образцов, среднее значение коэффициента $\bar{\psi}_\sigma$ для которых составило 0,358.

Для сплошных и полых образцов диаметром $D_1 = 10 - 50$ мм были получены интервальные оценки коэффициента $\bar{\psi}_\sigma$ и построены доверительные интервалы для его математического ожидания при доверительных вероятностях $p = 0,9$, $p = 0,95$ и $p = 0,99$. Границы доверительных интервалов для различных видов образцов представлены в табл.1 и 2.

Таблица 1. Доверительные интервалы коэффициента $\bar{\psi}_\sigma$ для сплошных цилиндрических образцов

D_l , мм	R , мм	Доверительные интервалы		
		$p = 0,9$	$p = 0,95$	$p = 0,99$
10	0,3	(0,3470;0,3585)	(0,3458;0,3597)	(0,3434;0,3621)
	0,5	(0,3569;0,3991)	(0,3469;0,4091)	(0,3062;0,4498)
15	0,3	(0,3491;0,3754)	(0,3461;0,3784)	(0,3393;0,3852)
25	0,3	(0,3375;0,3735)	(0,3325;0,3785)	(0,3195;0,3915)
	0,5	(0,3263;0,3604)	(0,3182;0,3685)	(0,2854;0,4013)
	1,0	(0,3517;0,3843)	(0,3459;0,3901)	(0,3275;0,4085)
50	0,3	(0,3047;0,3860)	(0,2854;0,4053)	(0,2071;0,4836)
	0,5	(0,3331;0,3899)	(0,3044;0,4186)	(0,0752;0,6478)
	1,0	(0,3178;0,4252)	(0,2035;0,4795)	(0,1695;0,9126)

Таблица 2. Доверительные интервалы коэффициента $\bar{\psi}_\sigma$ для полых цилиндрических образцов

D_l , мм	d , мм	R , мм	Доверительные интервалы		
			$p = 0,9$	$p = 0,95$	$p = 0,99$
15	5	0,3	(0,3547;0,3773)	(0,3519;0,3801)	(0,3455;0,3865)
		0,5	(0,3199;0,3927)	(0,3028;0,4099)	(0,2328;0,4867)
15	10	0,3	(0,3430;0,3763)	(0,3385;0,3809)	(0,3264;0,3929)
25	15	0,3	(0,3259;0,3706)	(0,3180;0,3785)	(0,2928;0,4037)
		0,5	(0,3073;0,3841)	(0,2890;0,4023)	(0,2150;0,4764)
		1,0	(0,3491;0,3963)	(0,3379;0,4075)	(0,2928;0,4530)

Из приведённых в табл.1 и 2 данных видно, что при различных значениях доверительной вероятности для сплошных образцов доверительные интервалы для коэффициента $\bar{\psi}_\sigma$ меньше, чем для полых. Это обстоятельство следует учитывать при прогнозировании предела выносливости поверхностно упрочнённых деталей с концентраторами 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. Радченко, В.П. Влияние обкатки роликом на остаточные напряжения и сопротивление усталости образцов из стали 40ХН [Текст]/ В.П. Радченко, В.А. Кирпичёв, В.В. Лунин // Вестник СамГТУ. Сер.: Технич. Науки. – 2013. – №1 (37). – С. 142-150.
4. Радченко, В.П. Оценка влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости деталей различного диаметра в условиях концентрации напряжений [Текст]/ В.П. Радченко, В.А. Кирпичёв, В.В. Лунин // Вестник СамГТУ. Сер.: Технич. Науки. – 2015. – №1 (45). – С. 168-177.