

УДК 621.787.539.319

ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ УПРОЧНЁННЫХ ВАЛОВ С НАПРЕССОВАННОЙ ВТУЛКОЙ

Шляпников П. А., Чуриков Д. С., Семёнова О. Ю.

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

В исследовании проводилась оценка влияния обкатки роликом на усталость упрочнённых цилиндрических валов диаметром $D = 25$ мм, $D = 50$ мм из стали 20 и диаметром $D = 25$ мм из стали 40X с напрессованной втулкой.

Влияние поверхностного упрочнения на приращение предела выносливости $\Delta\sigma_{-1}$ валов при изгибе в случае симметричного цикла оценивалось по двум критериям: осевым остаточным напряжениям на поверхности вала σ_z^{nos} [1] и среднеинтегральным остаточным напряжениям $\bar{\sigma}_{ocm}$ [2, 3]

$$\Delta\sigma_{-1} = \psi_{\sigma} |\sigma_z^{nos}|, \quad (1)$$

$$\Delta\sigma_{-1} = \bar{\psi}_{\sigma} |\bar{\sigma}_{ocm}|, \quad (2)$$

где ψ_{σ} и $\bar{\psi}_{\sigma}$ – коэффициенты влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости по критериям σ_z^{nos} и $\bar{\sigma}_{ocm}$, соответственно.

Сжимающие остаточные напряжения в поверхностном слое валов создавались обкаткой роликом диаметром 60 мм с профильным радиусом 1,6 мм при усилии $P = 0,5$ кН (ОР1) и $P = 1,0$ кН (ОР2). Распределение осевых σ_z остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя a определялось экспериментально методом колец и полосок и представлено на рис. 1 и рис. 2. Значения осевых σ_z^{nos} на поверхности валов и среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ocm}$ приведены в табл. 1.

Испытания валов с напрессованной втулкой на усталость при поперечном изгибе в случае симметричного цикла проводились на машинах УММ-01 ($D = 25$ мм) и УМП-02 ($D = 50$ мм), база испытаний – $3 \cdot 10^6$ циклов нагружения. Значения пределов выносливости валов σ_{-1} представлены в табл. 1. Можно видеть, что приращение предела выносливости упрочнённых роликом при $P = 1,0$ кН валов диаметром $D = 25$ мм из стали 40X почти в два раза выше, чем валов из стали 20 такого же диаметра, что объясняется бóльшей величиной сжимающих остаточных напряжений и более полным их распределением по толщине упрочнённого поверхностного слоя [2].

Из приведённых в табл. 1 данных видно, что коэффициент влияния поверхностного упрочнения ψ_{σ} на предел выносливости по критерию осевых остаточных напряжений на поверхности вала σ_z^{nos} изменяется от 0,111 до 0,350, то есть более, чем в три раза. Поэтому использование критерия σ_z^{nos} для оценки влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости упрочнённых валов с напрессованной втулкой не представляется возможным.

В табл. 1 приведены значения эффективного коэффициента концентрации напряжений K_{σ} , определённого для вала с напрессованной втулкой. Видно, что для вала из стали 40X коэффициент K_{σ} в 1,7 раза больше, чем для вала из стали 20. В работе [2] на основании многочисленных экспериментов была установлена зависимость между коэффициентом влияния $\bar{\psi}_{\sigma}$ и коэффициентом K_{σ} в виде

$$\bar{\psi}_{\sigma} = 0,514 - 0,065 K_{\sigma}. \quad (3)$$

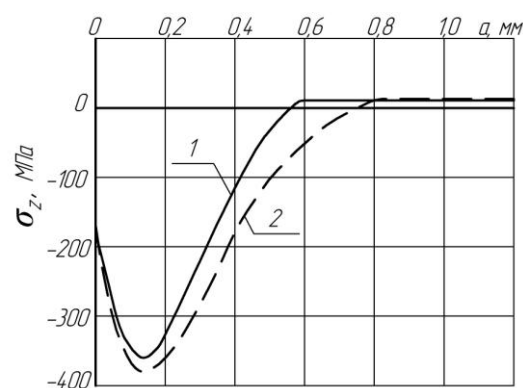
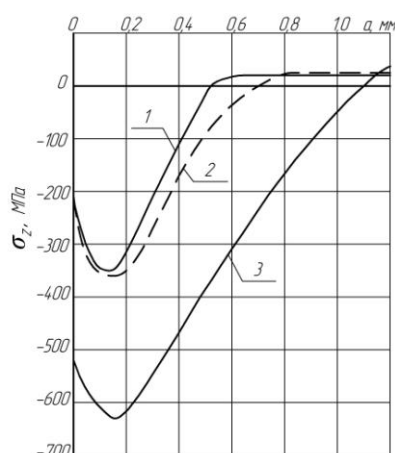


Рис. 1. Осевые остаточные напряжения σ_z в упрочнённых роликом валах диаметром 25 мм из сталей 20 (1, 2) и 40X (3) при: $P = 0,5$ кН (1) и $P = 1,0$ кН (2, 3)

Рис. 2. Осевые остаточные напряжения σ_z в упрочнённых роликом валах диаметром 50 мм из стали 20 при: $P = 0,5$ кН (1) и $P = 1,0$ кН (2)

Таблица 1

Материал	D , мм	K_σ	Неупрочнённые образцы σ_{-1} , МПа	Упрочнённые образцы					
				обработка	σ_{-1} , МПа	$\sigma_z^{нов}$, МПа	ψ_σ	$\bar{\sigma}_{ост}$, МПа	$\bar{\psi}_\sigma$
сталь 20	25	2,33	100	OP1	150	-220	0,227	-148	0,338
				OP2	170	-210	0,350	-201	0,348
	50	2,97	87,5	OP1	107,5	-180	0,111	-64	0,313
				OP2	112,5	-170	0,147	-82	0,305
40X	25	3,95	162,5	OP2	285	-520	0,235	-484	0,253

Значения коэффициента $\bar{\psi}_\sigma$, определённые по зависимости (3), составили: для вала из стали 20 при $D = 25$ мм – $\bar{\psi}_\sigma = 0,362$, при $D = 50$ мм – $\bar{\psi}_\sigma = 0,321$, для вала из стали 40X – $\bar{\psi}_\sigma = 0,257$. Следовательно, коэффициенты $\bar{\psi}_\sigma$, полученные в настоящем исследовании (табл. 1), незначительно отличаются от вычисленных по формуле (3) величин. Таким образом, на предел выносливости поверхностно упрочнённых деталей существенное влияние оказывает не только величина, но и характер распределения сжимающих остаточных напряжений в их опасном сечении.

Библиографический список

1. Иванов, С. И. Влияние остаточных напряжений и наклёпа 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. Радченко, В. П. Наибольшая величина сжимающих остаточных напряжений при поверхностном упрочнении деталей [Текст] / В. П. Радченко, В. Ф. Павлов // Труды МНТК «Прочность материалов и элементов конструкций». – Киев: ИПП им. Г.С. Писаренко НАНУ, 2011. – С. 354-357.