

УДК 621.787:539.319

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ НА МНОГОЦИКЛОВУЮ УСТАЛОСТЬ УПРОЧНЁННЫХ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 20

Лунин В. В., Шляпников П. А., Кирпичёв В. А.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

Гладкие образцы из стали 20 диаметром $D = 10$ мм и $D = 50$ мм подвергались пневмодробеструйной обработке (ПДО), а также обкатке роликом при усилии $P=0,5$ кН (ОР1) и $P=1,0$ кН (ОР2). Затем на все упрочнённые и неупрочнённые гладкие образцы наносились круговые надрезы полукруглого профиля радиуса $R = 0,5$ мм.

Остаточные напряжения в гладких образцах определялись экспериментально – методом колец и полосок. Распределение осевых σ_z остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя a гладких образцов представлено на рис. 1.

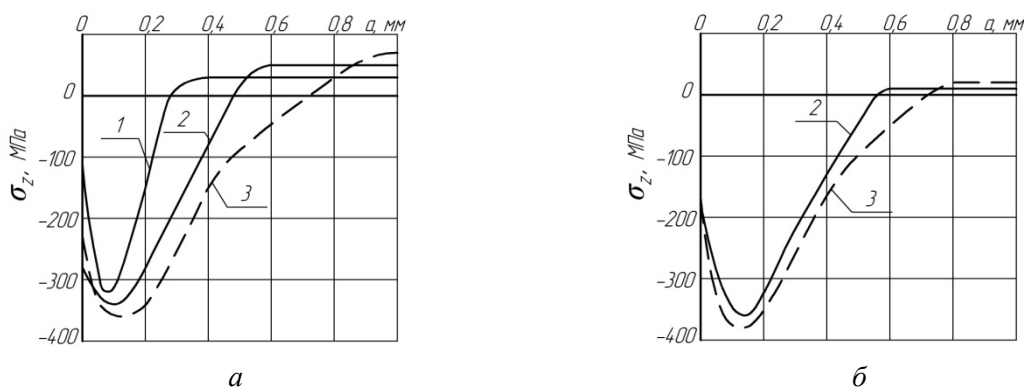


Рис. 1. Осевые σ_z остаточные напряжения в упрочнённых гладких образцах диаметром 10 мм (а) и 50 мм (б) после: 1 – ПДО, 2 – ОР1, 3 – ОР2

Остаточные напряжения в образцах с надрезами определялись расчётным путём. Распределение осевых σ_z остаточных напряжений приведено на рис. 2, а значения остаточных напряжений на поверхности дна надреза $\sigma_z^{нов}$ представлены в табл. 1.

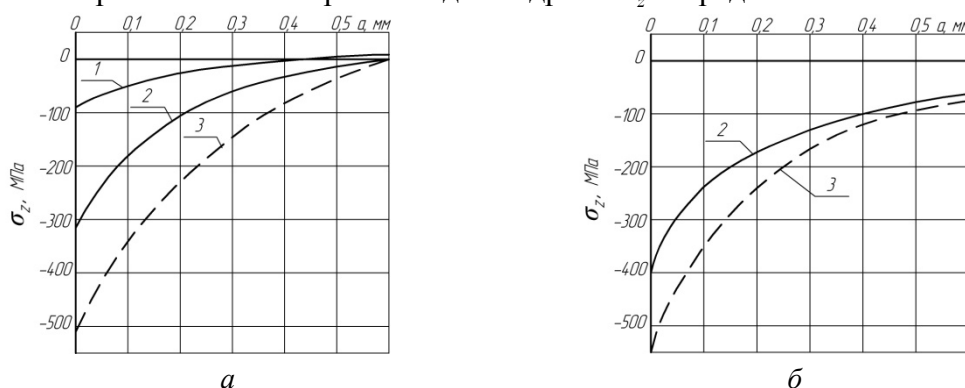


Рис. 2. Осевые σ_z остаточные напряжения в упрочнённых образцах диаметром 10 мм (а) и 50 мм (б) с надрезами $R = 0,5$ мм после: 1 – ПДО, 2 – ОР1, 3 – ОР2

Можно видеть, что при одной и той же упрочняющей обработке сжимающие остаточные напряжения на поверхности надреза $\sigma_z^{нов}$ с увеличением диаметра образца повышаются. Этот факт объясняется увеличением сжимающих остаточных напряжений и глубины их залегания в упрочнённых гладких образцах с ростом диаметра.

Испытания на многоцикловую усталость при изгибе в случае симметричного цикла неупрочнённых и упрочнённых образцов диаметром 10 мм в гладкой части проводились на машине МУИ-6000, диаметром 50 мм – на машине УМП-02; база испытаний – $3 \cdot 10^6$ циклов нагружения. Результаты определения предела выносливости σ_{-1} представлены в табл.1.

Таблица 1

D, мм	Неупрочнённые образцы σ_{-1} , МПа	Упрочнённые образцы						
		обработка	σ_{-1} , МПа	$\sigma_z^{ног}$, МПа	ψ_σ	$t_{кр}$, мм	$\bar{\sigma}_{осм}$, МПа	$\bar{\psi}_\sigma$
10	120	ПДО	137,5	-90	0,194	0,196	-48	0,365
		ОР1	187,5	-311	0,217	0,202	-178	0,379
		ОР2	250	-517	0,251	0,192	-333	0,390
50	92,5	ОР1	122,5	-396	0,078	1,077	-82	0,366
		ОР2	132,5	-547	0,073	1,024	-112	0,357

Оценка влияния поверхностного упрочнения на приращение предела выносливости $\Delta\sigma_{-1}$ образцов с надрезами проводилась по двум критериям: осевым остаточным напряжениям на поверхности надреза $\sigma_z^{ног}$ и среднеинтегральным остаточным напряжениям $\bar{\sigma}_{осм}$:

$$\Delta\sigma_{-1} = \psi_\sigma |\sigma_z^{ног}|, \quad \Delta\sigma_{-1} = \bar{\psi}_\sigma |\bar{\sigma}_{осм}|,$$

где ψ_σ и $\bar{\psi}_\sigma$ – коэффициенты влияния поверхностного упрочнения на предел

выносливости по критериям $\sigma_z^{ног}$ и $\bar{\sigma}_{осм}$, соответственно; $\bar{\sigma}_{осм} = \frac{2}{\pi} \int_0^1 \frac{\sigma_z(\xi)}{\sqrt{1-\xi^2}} d\xi$; $\sigma_z(\xi)$ –

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

С увеличением диаметра образцов от 10 мм до 50 мм приращение предела выносливости при одних и тех же режимах упрочняющей обработки уменьшается. Это связано с тем, что толщина слоя со сжимающими остаточными напряжениями при увеличении диаметра возрастает незначительно по сравнению с толщиной поверхностного слоя образцов, ответственной за повышение многоциклового усталости и равной критической глубине $t_{кр}$ нераспространяющейся трещины усталости. Поэтому для сохранения эффекта упрочнения с увеличением диаметра детали следует увеличивать толщину упрочнённого поверхностного слоя пропорционально критической глубине $t_{кр}$ нераспространяющейся трещины усталости.

Из анализа приведённых в табл. 1 данных видно, что оценка влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости образцов в условиях концентрации напряжений по критерию $\bar{\sigma}_{осм}$ – среднеинтегральным остаточным напряжениям – приводит к существенно меньшему рассеянию соответствующего коэффициента $\bar{\psi}_\sigma$.