

Анализируя значения коэффициента $\bar{\psi}_\sigma$, учитывающего влияние азотирования на усталость по критерию $\bar{\sigma}_{ост}$, можно видеть, что для образцов с надрезом $R = 0,5$ мм этот коэффициент меньше, чем для образцов с надрезом $R = 2,5$ мм. Это различие объясняется большей степенью концентрации напряжений для образцов с меньшим радиусом, что подробно изучено в исследовании [2]. В табл.1 приведены значения эффективного коэффициента концентрации напряжений K_σ для образцов с надрезами из стали 38Х2МЮА. В исследовании [2] на основании обработки большого количества экспериментов была установлена зависимость между коэффициентом влияния $\bar{\psi}_\sigma$ и эффективным коэффициентом концентрации напряжений K_σ в виде

$$\bar{\psi}_\sigma = 0,514 - 0,065K_\sigma. \quad (1)$$

Значения коэффициента $\bar{\psi}_\sigma$, вычисленные по зависимости (1), составили: для образцов с надрезом $R = 0,5$ мм – 0,372, для образцов с надрезом $R = 2,5$ мм – 0,436, то есть различие между

экспериментальными и расчётными значениями $\bar{\psi}_\sigma$ не превышает 9%.

Таким образом, проведённое исследование показало, что критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ может быть использован для прогнозирования приращения предела выносливости азотированных цилиндрических деталей из стали 38Х2МЮА с концентраторами напряжений в виде надрезов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов В.Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений // Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – №8. – С. 29-32.
2. Кирпичёв В.А., Филатов А.П., Каранаева О.В., Чирков А.В, Семёнова О.Ю. Прогнозирование предела выносливости поверхностно упрочнённых деталей при различной степени концентрации напряжений// Труды МНТК «Прочность материалов и элементов конструкций». – Киев: ИПП им. Г.С. Писаренко НАНУ, 2011. – С. 678-685.

УДК 621.787:539.319

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ГЛАДКОЙ ДЕТАЛИ НА ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ ПРИ ОПЕРЕЖАЮЩЕМ ПОВЕРХНОСТНОМ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

© 2012 В.С. Вакулук, А.П. Филатов, О.Ю. Семёнова, Е.А. Денискина, М.О. Перфильева

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

RESIDUAL STRESS DISTRIBUTION CHARACTER INFLUENCE OF FLAT DETAIL ON LIMIT OF ENDURANCE DURING ADVANCED SURFACE PLASTIC FORMING

© 2012 V.S. Vakuljuk, A.P. Filatov, O.Yu. Semyonova, E.A. Deniskina, M.O. Perfilieva

It is experimentally established that during advanced surface plastic forming rising of thickness of flat treated layer of detail leads to rising of limit of endurance of detail with stress concentrator by rise of compressing residual stresses in the dangerous cross-section.

Изучалось влияние толщины упрочнённого поверхностного слоя при опережающем поверхностном

пластическом деформировании на предел выносливости образцов из стали 20 в условиях концентрации напряжений. Для

создания упрочнённого слоя различной толщины гладкие образцы диаметром 25 мм подвергались пневмодробеструйной обработке (ПДО), а также обкатке роликом (ОР) при усилиях $P = 0,5$ кН и $P = 1,0$ кН. Остаточные напряжения в гладких образцах определялись методом колец и полосок. Распределение осевых σ_z остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя образцов a приведено на рис. 1.

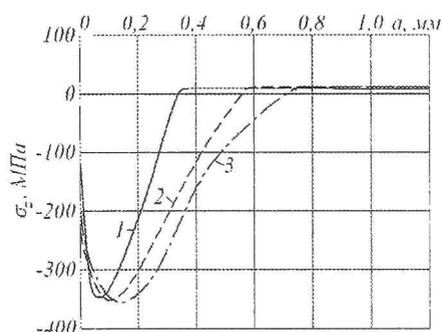


Рис. 1. Осевые остаточные напряжения σ_z в гладких образцах после: 1 – ПДО; 2 – ОР, $P = 0,5$ кН; 3 – ОР, $P = 1,0$ кН

Из приведённых на рис. 1 эпюры остаточных напряжений можно видеть, что максимальные сжимающие напряжения после использованных в исследовании методов поверхностного упрочнения различаются незначительно, составляя после пневмодробеструйной обработки -340 МПа, а после обкатки роликом -360 МПа. Однако толщина слоя с сжимающими остаточными напряжениями (толщина упрочнённого слоя) различается существенно, составляя после ПДО 0,32 мм, а после ОР – 0,52 мм ($P = 0,5$ кН) и 0,70 мм ($P = 1,0$ кН). Следовательно, толщина упрочнённого слоя после обкатки роликом при $P = 1,0$ кН превышает соответствующую толщину слоя после пневмодробеструйной обработки в 2,2 раза.

На все неупрочнённые и упрочнённые гладкие образцы фасонным резцом наносились круговые надрезы полукруглого профиля двух радиусов: $R = 0,3$ мм и $R = 0,5$ мм. Остаточные напряжения в упрочнённых образцах с надрезами определялись как аналитическим, так и численным методами.

Распределение осевых σ_z остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя a наименьшего сечения образцов с надрезами приведено на рис. 2.

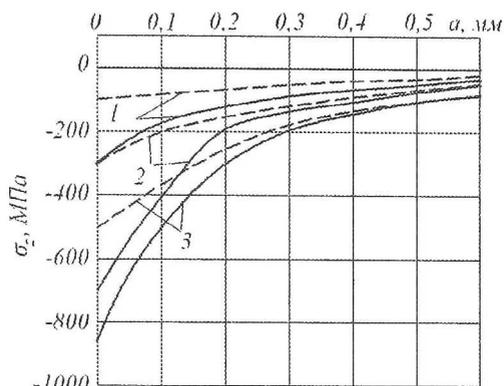


Рис. 2. Осевые остаточные напряжения σ_z в образцах с надрезами (— — $R = 0,3$ мм; --- — $R = 0,5$ мм) после: 1 – ПДО; 2 – ОР, $P = 0,5$ кН; 3 – ОР, $P = 1,0$ кН

Из приведённых на рис. 2 данных видно, что в упрочнённых роликом образцах с надрезами сжимающие остаточные напряжения существенно выше как на поверхности, так и по толщине поверхностного слоя наименьшего сечения, чем в образцах, упрочнённых ПДО. Такое различие в распределении остаточных напряжений образцов с надрезом обусловлено тем, что толщина упрочнённого слоя гладких образцов после обкатки роликом больше, чем после пневмодробеструйной обработки (рис. 1).

Испытания образцов с надрезами на усталость при изгибе в случае симметричного цикла проводились на машине УММ-01, база испытаний – $3 \cdot 10^6$ циклов нагружения. Результаты определения предела выносливости σ_{-1} приведены в табл. 1. Из приведённых в табл. 1 данных следует, что предел выносливости образцов с надрезами после обкатки роликом существенно выше, чем после пневмодробеструйной обработки. При радиусе надреза $R = 0,3$ мм предел выносливости

σ_{-1} образцов после ОР ($P = 1,0$ кН) увеличился в 1,6 раза, а после ПДО только в 1,3 раза. Следовательно, при увеличении толщины упрочнённого слоя гладких

образцов предел выносливости образцов с надрезами, нанесёнными на эти гладкие образцы, повышается.

Оценка влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости образцов с надрезами проводилась по

критерию среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ [1].

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

Таблица 1

Надрез R , мм	Неупрочн. образцы σ_{-1} , МПа	Упрочнённые образцы			
		обработка	σ_{-1} , МПа	$\bar{\sigma}_{ост}$, МПа	$\bar{\psi}_\sigma$
0,3	107,5	ПДО	137,5	-87	0,345
		ОР, $P = 0,5$ кН	165	-171	0,336
		ОР, $P = 1,0$ кН	175	-202	0,334
0,5	120	ПДО	130	-52	0,337
		ОР, $P = 0,5$ кН	150	-111	0,338
		ОР, $P = 1,0$ кН	172,5	-169	0,355

где $\sigma_z(\xi)$ – осевые остаточные напряжения в наименьшем сечении по толщине поверхностного слоя a , $\xi = a/t_{кр}$ – расстояние от дна надреза до текущего слоя, выраженное в долях $t_{кр}$, $t_{кр}$ – критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости.

Приращение предела выносливости $\Delta\sigma_{-1}$ при использовании критерия $\bar{\sigma}_{ост}$ определялось по зависимости

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

где $\bar{\psi}_\sigma$ – коэффициент влияния остаточных напряжений на предел выносливости по разрушению. Значения критерия среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ и коэффициента $\bar{\psi}_\sigma$ приведены в табл. 1. Можно видеть, что коэффициент $\bar{\psi}_\sigma$ имеет небольшое рассеяние, составляя

в среднем 0,366, и незначительно отличается от значения $\bar{\psi}_\sigma = 0,36$, установленного в [1] для упрочнённых образцов и деталей с аналогичной концентрацией напряжений.

Таким образом, проведённое исследование показало, что при опережающем поверхностном пластическом деформировании увеличение толщины упрочнённого поверхностного слоя гладких образцов приводит к повышению предела выносливости образцов с надрезами за счёт увеличения сжимающих остаточных напряжений в их опасном сечении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Павлов В.Ф., Кирпичёв В.А., Иванов В.Б. Остаточные напряжения и сопротивление усталости упрочнённых деталей с концентраторами напряжений. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2008. – 64 с.

УДК 621.787:539.319

ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТИ ОБКАТАННЫХ РОЛИКОМ ВАЛОВ ИЗ СТАЛЕЙ 20 И 40Х

© 2012 В.С. Вакулук, А.В. Чирков, В.К. Шадрин, С.А. Михалкина, Н.Д. Филатов

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