

## ВЛИЯНИЕ ВИДА КОНЦЕНТРАТОРА НА ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ УПРОЧНЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ОТ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

© 2006 В. Ф. Павлов, В. А. Кирпичев

Самарский государственный аэрокосмический университет

Исследованы остаточные напряжения и предел выносливости при изгибе в случае симметричного цикла упрочненных дробью, роликом и микрошариками цилиндрических образцов и деталей, изготовленных из различных материалов (30ХГСА, 40Х, Д16Т, сталь 45, 12Х18Н10Т), с концентраторами в виде надрезов, галтелей, напрессованной втулки. При оценке влияния остаточных напряжений на предел выносливости использовался критерий среднеинтегральных остаточных напряжений. Установлено, что этот критерий позволяет прогнозировать приращение предела выносливости упрочненных деталей с различными концентраторами напряжений.

Изучались остаточные напряжения и предел выносливости при изгибе в случае симметричного цикла деталей и образцов с концентраторами в виде надрезов полукруглого профиля, галтелей различного радиуса, напрессованной втулки. Приращение предела выносливости  $\Delta S_{-1}$  упрочненных деталей оценивалось следующей зависимостью:

$$\Delta S_{-1} = \bar{y}_s \left| \bar{s}_{ocm} \right|, \quad (1)$$

где  $\bar{y}_s$  – коэффициент влияния остаточных напряжений на предел выносливости по разрушению; критерий остаточных напряжений [1]:

$$\bar{s}_{ocm} = \frac{2}{p} \int_0^1 \frac{s_z(x)}{\sqrt{1-x^2}} dx; \quad (2)$$

$s_z(x)$  – осевые остаточные напряжения в наименьшем сечении детали по толщине по-

верхностного слоя  $a$ ;  $x = a/t_{кр}$  – расстояние от дна концентратора до текущего слоя, выраженное в долях  $t_{кр}$ ;  $t_{кр}$  – глубина нераспространяющейся трещины усталости, возникающей при работе детали на пределе выносливости.

Эксперименты проводились на образцах и деталях, изготовленных из различных материалов, механические характеристики которых приведены в табл.1.

На неупрочненные и упрочненные дробью (время обработки – 8 минут, диаметр шариков – 2 мм, давление масла – 0,28 МПа) и роликом (усилие накатывания – 0,5 кН, число оборотов образца – 400 об/мин, подача – 0,11 мм/об, диаметр ролика – 60 мм, профильный радиус ролика – 1,6 мм) образцы диаметром 15 мм из стали 30ХГСА безнаклепным способом наносили надрезы полукруглого профиля двух радиусов:  $R=0,3$  и  $0,5$  мм. На упрочненные роликом образцы диаметром 25 мм из стали 40Х таким же способом на-

Таблица 1. Механические характеристики материалов

Материал	Механические характеристики				
	$s_g$ , МПа	$s_{0,2}$ , МПа	$d$ , %	$y$ , %	$S_k$ , МПа
30ХГСА	788	536	18,9	65,9	1484
40Х	751	444	17,6	60,7	1330
Д16Т	557	410	15,0	23,1	728
Сталь 45	710	422	19,7	41,4	1079
12Х18Н10Т	646	281	50,8	65,6	1444

носили надрезы полукруглого профиля радиусом  $R=1$  мм. Для образцов из стали 40X усилие накатывания было увеличено до 1,0 кН.

Эпюры осевых  $\sigma_z$  остаточных напряжений гладких образцов представлены на рис. 1, надрезанных – на рис. 2.

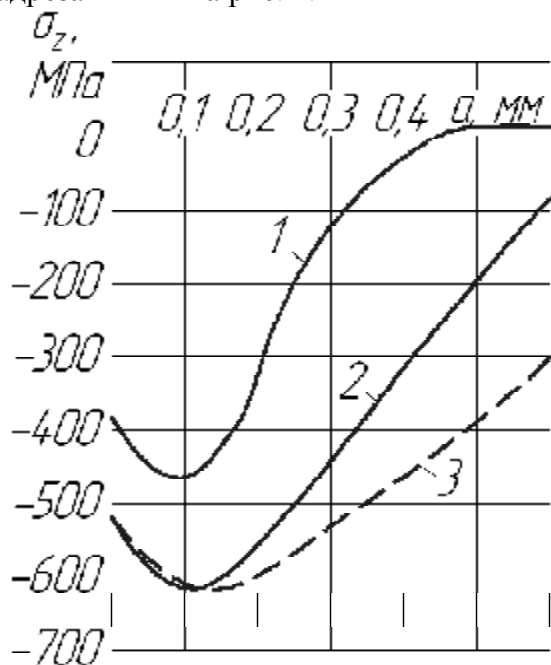


Рис. 1. Остаточные напряжения в гладких образцах из сталей 30ХГСА(1,2) и 40Х(3): 1 – упрочнение дробью, 2, 3 – упрочнение роликом

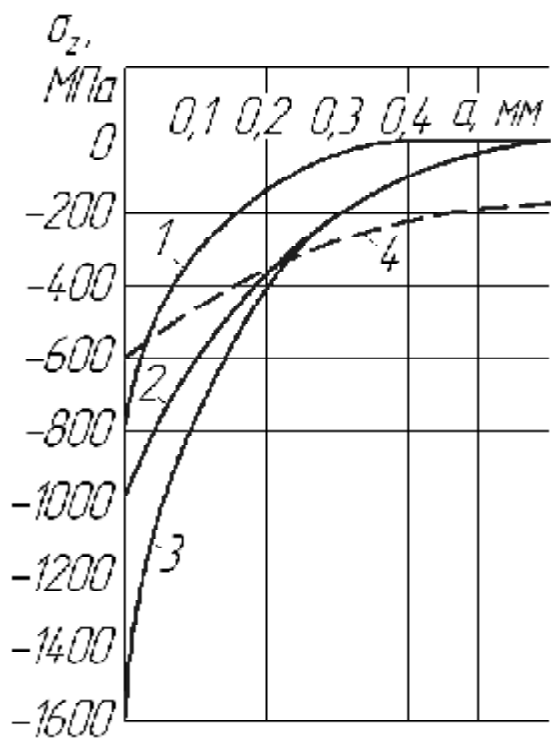


Рис. 2. Остаточные напряжения в образцах с надрезом из сталей 30ХГСА(1-3) и 40Х(4): 1 – упрочнение дробью,  $R=0,3$  мм; 2 – упрочнение роликом,  $R=0,3$  мм; 3 – упрочнение роликом,  $R=0,5$  мм; 4 – упрочнение роликом,  $R=1,0$  мм

Можно заметить, что в обкатанных образцах с надрезом действуют значительные сжимающие остаточные напряжения, достигающие для стали 30ХГСА 1530 МПа.

Образцы из сталей 30ХГСА, 45, 12Х18Н10Т и сплава Д16Т диаметром 10 мм в гладкой части с галтелью радиуса  $R$  (рис. 3) подвергали упрочнению микрошариками диаметром 0,10...0,15 мм на роторной установке в течение трех минут. Обработка образцов микрошариками осуществлялась перпендикулярно их оси, поэтому упрочнялась лишь цилиндрическая часть поверхности с галтелью, а боковая поверхность оставалась в исходном состоянии, то есть без упрочнения. В связи с этим на основании работы [2] остаточные напряжения в галтели не будут заметно отличаться от напряжений гладкой части образца. Поэтому для вычисления критерия остаточных напряжений по формуле (2) использовали эпюры осевых напряжений  $\sigma_z$  гладких образцов, приведенные на рис. 4.

Испытывались также упрочненные роликом (усилие накатывания – 1,0 кН) образ-

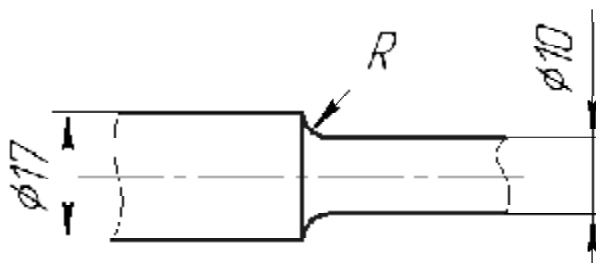


Рис. 3. Рабочая часть образца с галтелью

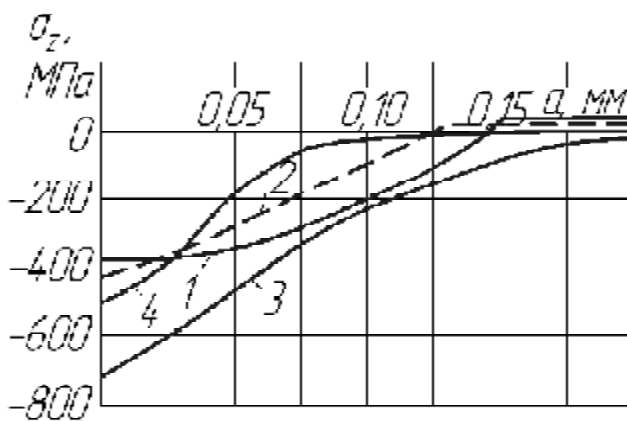


Рис. 4. Остаточные напряжения в гладких образцах после обработки микрошариками: 1 – 30ХГСА, 2 – сталь 45, 3 – 12Х18Н10Т, 4 – Д16Т

цы из стали 40X с напрессованной втулкой, через которую передавалось усилие.

Результаты определения пределов выносливости при изгибе  $S_{-1}$ , расчета критерия остаточных напряжений  $\bar{S}_{ост}$ , измерения глубины нераспространяющейся трещины усталости  $t_{кр}$  и вычисления коэффициента  $\bar{y}_s$  приведены в табл. 2.

Из приведенных в табл. 2 данных видно, что для надрезов и галтелей с различными радиусами коэффициент  $\bar{y}_s$ , отражающий влияние упрочнения через критерий остаточных напряжений  $\bar{S}_{ост}$ , изменяется в небольших пределах и равен в среднем

$\bar{y}_s = 0,361$ . Это значение близко к величине  $\bar{y}_s$  в других экспериментах [3, 4].

Для вала с напрессованной втулкой коэффициент  $\bar{y}_s$  заметно (в 1,4 раза) меньше, чем для других концентраторов. Это объясняется, очевидно, тем, что через напрессованную втулку передается сила [5].

Таким образом, для исследованных типов концентраторов в случае, если через них не передается усилие, в среднем коэффициент  $\bar{y}_s = 0,36$ . Если же через концентратор передается сила, то коэффициент  $\bar{y}_s$  будет меньше и его ориентировочно можно принять равным 0,25.

Таблица 2. Результаты испытаний на усталость и определения остаточных напряжений

Материал	Концентратор R, мм	Неупрочненные образцы $S_{-1}$ , МПа	Упрочненные образцы				
			Упрочнение	$S_{-1}$ , МПа	$t_{кр}$ , мм	$\bar{S}_{ост}$ , МПа	$\bar{y}_s$
30ХГСА	надрез 0,3	177,5	дробью	255	0,309	-200	0,387
			роликом	360	0,314	-507	0,360
	надрез 0,5	180	роликом	327,5	0,300	-422	0,350
	надрез 0,1	155	микрошариками	180	0,217	-74,8	0,335
Сталь 45	галтель 0,125	117,5	микрошариками	152,5	0,225	-95,3	0,367
12Х18Н10Т	галтель 0,15	150	микрошариками	220	0,220	-180	0,389
Д16Т	галтель 0,08	42,5	микрошариками	72,5	0,220	-81,5	0,368
40X	надрез 1,0	160	роликом	257,5	0,490	-110	0,334
	напрес. втулка	162,5	роликом	285	0,523	-484	0,253

### 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. Павлов В. Ф., Столяров А. К. Влияние схем поверхностного деформирования на распределение остаточных напряжений в

области концентратора/ КуАИ. – Куйбышев. – 1985. – 7 С. – Деп. в ВИНТИ 12.11.85, №1870-В86.

3. Павлов В. Ф. Влияние на предел выносливости величины и распределения остаточных напряжений в поверхностном слое детали с концентратором. Сообщение I. Сплошные детали// Известия вузов. Машиностроение. – 1988. №8. – С.22-25.

4. Павлов В. Ф. Влияние на предел выносливости величины и распределения остаточных напряжений в поверхностном слое детали с концентратором. Сообщение II. Полые детали// Известия вузов. Машинострое-

ние. – 1988. №12. – С.37-40.

5. Серенсен С. В., Когаев В. П., Шнейдерович Р. М. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. - М.: Машиностроение, 1975. – 488 с.

## **THE INFLUENCE OF THE CONCENTRATOR TYPE ON THE DEPENDENCE OF ENDURANCE LIMIT OF STRENGTHENED PARTS ON RESIDUAL STRESSES**

© 2006 V. F. Pavlov, V. A. Kirpichyov

Samara State Aerospace University

The paper analyses residual stresses and endurance limit under bending in case of asymmetric cycle of cylindrical specimens and parts made of various materials (30XГСА, 40X, Д16Т, steel 45, 12X18H10Т) with concentrators of various types. The criterion of average-integral residual stresses was applied to estimate the influence of residual stresses on the endurance limit. This criterion makes it possible to predict the increment of the endurance limit of strengthened parts with various stress concentrators.