

## ВЫБОР КРИТЕРИЯ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ ДЕТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ

Вакулюк В.С., Кирпичёв В.А., Павлов В.Ф., Чирков А.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет

### SURFACE TREATING INFLUENCE CRITERION SELECTION DURING FORECASTING OF ENDURANCE LIMIT OF DETAILS IN CONDITION OF STRESS CONCENTRATION

*Vakuljuk V.S., Kirpichyev V.A., Pavlov V.F., Chirkov A.V. It is experimentally established that use of criterion of average residual stresses during evaluation of endurance limit incrementation of details with concentrators due to surface treating gives most reliable results by depth of treated layer equaled critical depth of fatigue non-propagating crack.*

Для оценки влияния остаточных напряжений на предел выносливости поверхностно упрочнённых деталей применяются два критерия. Первым критерием являются остаточные напряжения на поверхности концентратора. Зависимость для определения приращения предела выносливости  $\Delta P_R(\Delta s_R, \Delta t_R)$  упрочнённой детали в этом случае имеет вид

$$\Delta P_R = y_P \cdot |s_{ocm}|, \quad (1)$$

где  $y_P$  – коэффициент влияния остаточных напряжений на предел выносливости по критерию  $s_{ocm}$ ,  $s_{ocm}$  – осевые (меридиональные) остаточные напряжения на поверхности концентратора в наименьшем сечении детали.

Для определения второго критерия использовалось решение задачи [1] о дополнительных остаточных напряжениях в наименьшем сечении детали после нанесения надреза полуэллиптического профиля на упрочнённую поверхность. Выделив основную часть решения [1], был получен второй критерий  $\bar{s}_{ocm}$  (критерий среднеинтегральных остаточных напряжений) влияния остаточных напряжений на предел выносливости упрочнённой детали в виде

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

где  $s_z(x)$  – осевые остаточные напряжения в наименьшем сечении детали,  $x = y/t_{кр}$  – расстояние от дна концентратора до текущего слоя, выраженное в долях  $t_{кр}$ ,  $t_{кр}$  – критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости, возникающей при работе детали (образца) на пределе выносливости.

Приращение предела выносливости  $\Delta P_R(\Delta s_R, \Delta t_R)$  упрочнённой детали с концентратором напряжений при использовании критерия  $\bar{s}_{ocm}$  определяется по следующей формуле:

$$\Delta P_R = \bar{y}_P \cdot |\bar{s}_{ocm}|, \quad (3)$$

где  $\bar{y}_P$  ( $\bar{y}_s, \bar{y}_t$ ) – коэффициент влияния остаточных напряжений на предел выносливости по критерию  $\bar{s}_{ocm}$ .

С целью проверки возможности использования обоих критериев для оценки влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости при изгибе в случае симметричного цикла были проведены эксперименты на сплошных цилиндрических упрочнённых и неупрочнённых образцах диаметром 10 мм из сталей 30ХГСА, 12Х18Н10Т, ЭИ961, 45, 20 и сплавов ЭИ437Б, В93. Сжимающие остаточные

Таблица 1- Результаты испытаний на усталость и определения остаточных напряжений

Материал	Неупроч. образцы $S_{-1}$ , МПа	Упрочнённые образцы						
		упрочн. обр-ка	$S_{-1}$ , МПа	$S_{ост}$ , МПа	$y_s$	$t_{кр}$ , мм	$\bar{S}_{ост}$ , МПа	$\bar{y}_s$
30ХГСА	180	ГДО	270	-620	0,145	0,204	-233	0,386
		ОР	400	-1320	0,167	0,202	-576	0,382
12Х18Н10Т	175	ГДО	220	-268	0,168	0,207	-126	0,356
		ОР	280	-640	0,164	0,198	-273	0,384
ЭИ961	230	ГДО	330	-616	0,163	0,200	-302	0,331
сталь 45	155	ГДО	225	-590	0,119	0,197	-204	0,343
сталь 20	110	ПДО	155	-263	0,171	0,203	-126	0,357
		ОР	230	-732	0,195	0,195	-337	0,356
ЭИ437Б	215	ГДО	325	-694	0,159	0,200	-325	0,338

напряжения в поверхностном слое образцов создавались гидродробеструйной обработкой (ГДО), пневмодробеструйной обработкой (ПДО) и обкаткой роликом (ОР). На все упрочнённые и неупрочнённые гладкие образцы наносились круговые надрезы полукруглого профиля радиуса 0,3 мм.

Остаточные напряжения в гладких образцах определялись экспериментально методом колец и полосок. Остаточные напряжения в образцах с надрезами, определялись расчётом при суммировании дополнительных остаточных напряжений, возникающих в образцах за счёт нанесения надреза, и остаточных напряжений гладких образцов [1].

Испытания образцов с надрезами на многоцикловую усталость при изгибе проводились на машине МУИ-6000, база испытаний –  $3 \cdot 10^6$  и  $10^7$  циклов нагружения для сталей и сплавов соответственно.

Результаты испытаний образцов на усталость и определения остаточных напряжений представлены в табл. 1. Из представленных в табл. 1 данных видно, что оценка влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости по первому критерию – остаточным напряжениям на поверхности концентратора  $S_{ост}$  – приводит к более значительному рассеянию

коэффициента  $y_s$ , который в настоящем исследовании изменяется в 1,6 раза. Оценка влияния поверхностного упрочнения по второму критерию – среднеинтегральным остаточным напряжениям  $\bar{S}_{ост}$  – приводит к меньшему рассеянию соответствующего коэффициента  $\bar{y}_s$  (изменение составляет 1,2 раза). Это объясняется тем, что критерий  $\bar{S}_{ост}$  учитывает влияние на сопротивление усталости не только величины сжимающих остаточных напряжений, но и характера их распределения по толщине поверхностного слоя образца (детали), равной критической глубине нераспространяющейся трещины усталости  $t_{кр}$ .

### Библиографический список

1. Иванов, С.И. Влияние остаточных напряжений на выносливость образцов с надрезом / С.И. Иванов, М.П. Шатунов, В.Ф. Павлов // Вопросы прочности элементов авиационных конструкций. – Куйбышев: КуАИ, 1974. – Вып.1. – С. 88-95.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках АВИЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект 2.1.1/13944).