

УДК 621.787:539.319

В.Ф.Павлов, И.В.Григорьева,
В.И.Лапин, А.К.Столяров

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ
ПРИ ИЗГИБЕ В УСЛОВИЯХ КОНЦЕНТРАЦИИ

Широкое применение методов поверхностного упрочнения авиационных деталей и конструкций с целью повышения сопротивления усталости диктует необходимость введения оценки влияния остаточных напряжений, ответственных за это повышение /1/, на предел выносливости, особенно в условиях концентрации напряжений. Опыты, описанные в работе /2/, указывают на необходимость учета остаточных напряжений не только на поверхности детали, но и в приповерхностных слоях, то есть учета характера распределения напряжений. Этому условию удовлетворяет критерий, предложенный в /3/, - среднеинтегральное остаточное напряжение, вычисляемое по формуле

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

где $\sigma_z(\xi)$ - осевое остаточное напряжение в наименьшем сечении детали с концентратором, $\xi = y/t_{кр}$ - относительное расстояние от поверхности концентратора до текущего слоя; $t_{кр}$ - глубина нераспространяющейся трещины усталости.

Используя $\bar{\sigma}_{ост}$, можно определить приращение предела выносливости при изгибе по следующей формуле:

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

где ψ_{σ} - коэффициент влияния остаточных напряжений на предел выносливости. Но для этого необходимо иметь значения ψ_{σ} на основании экспериментальных данных для различных материалов и концентраторов напряжений.

Исследования проводили на цилиндрических образцах из сталей 45, 12Х18Н10Т, 30ХГСА и сплаве Д16Т с концентраторами двух видов: галтелью малого радиуса (рис. 1,а) и V-образным надрезом (рис. 1,б). Механические характеристики приведены в таблице 1.

Половину образцов после изготовления подвергали электрополированию с целью удаления наклепанного точением слоя, другую половину упрочняли микрошариками на дробеметной установке с режимами: число оборотов ротора - 3600 об/мин, время обработки - 3 мин, диаметр шариков - 0,10...0,15 мм. Образцы точением изготавливали

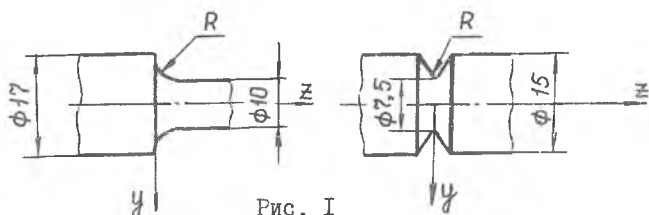


Таблица I

Материал	Механические характеристики			
	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %
Сталь 45	710	422	19,7	41,4
12Х18Н10Т	646	281	50,8	65,6
30ХГСА	788	536	18,9	65,9
Д16Т	557	410	15,0	23,1

такими размерами, чтобы геометрия концентраторов после электрополирования и упрочнения была одинаковой.

Обработка шариками осуществлялась перпендикулярно оси образцов, поэтому в образцах с галтелью упрочнялась лишь цилиндрическая поверхность, а боковая поверхность оставалась в исходном состоянии. В связи с этим на основании работы /4/ концентрации остаточных напряжений в галтелях не будет, то есть остаточные напряжения будут такими же, как и в гладкой (цилиндрической) части образца. Остаточные напряжения определяли методом колец и полосок /5/, которые вырезали из трубки толщиной 1 мм, полученной рассверливанием образца диаметром 10 мм для испытаний на усталость. Остаточные напряжения цилиндра (рис. 2) получали как сумму напряжений трубки и дополнительных напряжений от рассверливания.

Остаточные напряжения в образцах с V-образным надрезом измеряли по методике, описанной в /6/. Для этого изготавливали образцы с пятью идентичными надрезами (рис. 1, б), отстоящими друг от друга на расстоянии 12 мм, что позволяло исключить взаимное влияние концентраторов /6/. Эпюры остаточных напряжений этих образцов пред-

ставлены на рис. 3.

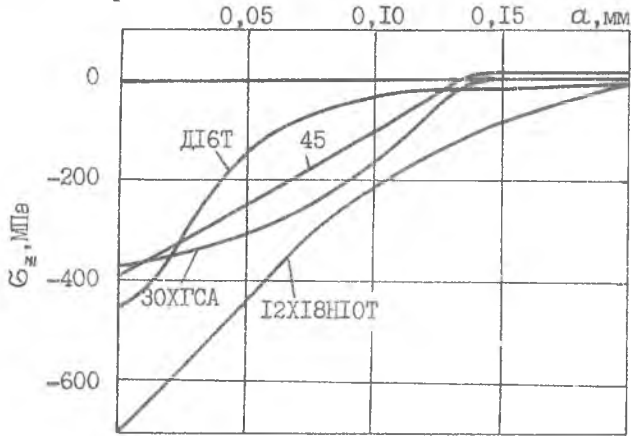


Рис. 2

Испытания на усталость при чистом изгибе с вращением образца проводили на машине МУИ-6000, база испытаний - $3 \cdot 10^6$ циклов нагружения для сталей и $10 \cdot 10^6$ - для сплава Д16Т. Результаты испытаний содержатся в таблице 2. Видно, что обработка микрошариками во всех

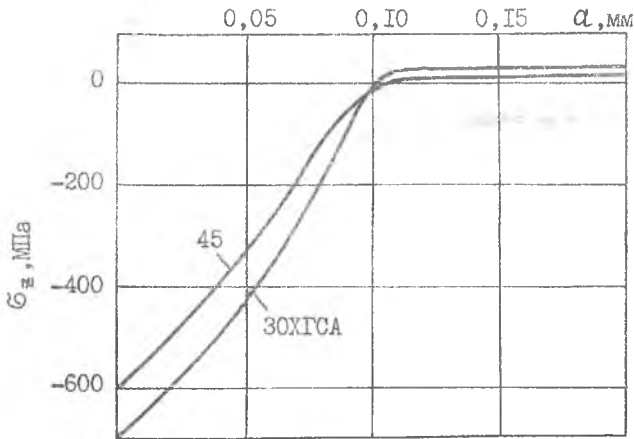


Рис. 3

случаях привела к существенному повышению предела выносливости, особенно для образцов с надрезом. Упрочненные образцы, состоявшие базу испытаний при напряжении, равном пределу выносливости, были разрушены на разрывной машине при растяжении. В них были обнаружены

Таблица 2

Концентратор	Материал	R, мм	Неупрочненные образцы σ_{-1} , МПа	Упрощенные об-цы		$\psi_{\sigma} = \frac{\Delta \sigma_{-1}}{ \bar{\sigma}_{ост} }$
				σ_{-1} , МПа	$\bar{\sigma}_{ост}$, МПа	
Галтель	Сталь 45	0,12	117,5	152,5	- 95,3	0,367
	І2ХІ8НІ0Т	0,15	150,0	220,0	-179,8	0,389
	30ХГСА	0,10	155,0	180,0	- 74,8	0,334
	ДІ6Т	0,08	42,5	72,5	- 81,5	0,368
Надрез	Сталь 45	0,5	77,5	120,0	-119,0	0,357
	30ХГСА	0,5	35,0	85,0	-137,0	0,364

практически концентричные нераспространяющиеся трещины усталости, глубина которых составляла в среднем $t_{кр} = 0,22$ мм для образцов с галтелью и $t_{кр} = 0,16$ мм для образцов с V-образным надрезом. Необходимо отметить, что глубина нераспространяющейся трещины при одном и том же диаметре образца одинакова для различных материалов и радиусов галтели. В электрополированных образцах нераспространяющихся трещин не обнаружено.

По формуле (1), используя эпюры остаточных напряжений, показанные на рис.2 и 3, было вычислено среднеинтегральное остаточное напряжение $\bar{\sigma}_{ост}$ по толщине поверхностного слоя, равной глубине нераспространяющейся трещины $t_{кр}$, а затем по формуле (2) - коэффициент ψ_{σ} . Значения $\bar{\sigma}_{ост}$ и ψ_{σ} приведены в таблице 2. Можно видеть, что для исследованных материалов и концентраторов коэффициент ψ_{σ} изменяется в небольших пределах и в среднем $\bar{\psi}_{\sigma} = 0,363$. Следовательно, полученное значение коэффициента ψ_{σ} представляется возможным использовать для определения приращения предела выносливости цилиндрических деталей, имеющих концентраторы в виде галтелей и надрезов.

Л и т е р а т у р а

1. Иванов С.И., Павлов В.Ф. Влияние остаточных напряжений и наклепа на усталостную прочность // Проблемы прочности.-1976.-№5.- С.25-27.
2. Павлов В.Ф. Влияние характера распределения остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя детали на сопротивление усталости // Известия вузов. Машиностроение. - 1987. - № 7. - С. 3-6.
3. Павлов В.Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений // Известия вузов.

Машиностроение.- 1986.- №8.- С.29-32.

4. 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, №7870-В85.

5. Иванов С.И. К определению остаточных напряжений в цилиндре методом колец и полосок //Сб. Остаточные напряжения/ Куйбышев. авиац. ин-т.-1971.-Вып.53.- С.32-42.

6. Павлов В.Ф., Кольцун Ю.И., Кирпичев В.А. Определение остаточных напряжений в цилиндрических образцах с V-образным надрезом // Известия вузов. Сер. Авиационная техника.- 1986.- № 4.-С.92-95.

УДК 539.3

В.Н.Паймушин, В.А.Фирсов, А.И.Калашников

К ЧИСЛЕННОМУ РЕШЕНИЮ ФИЗИЧЕСКИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ
ЗАДАЧ СТАТИКИ И ТЕРМОУПРУГОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ ОБОЛОЧЕК
ВРАЩЕНИЯ ПРИ СЛОЖНОМ НАГРУЖЕНИИ

К многослойным оболочечным элементам конструкций, исследование механики деформирования которых целесообразно проводить в рамках дискретно структурных моделей, относятся, в частности, слоистые (композитные) элементы изделий конструкционной оптики летательных аппаратов. Для прочностного анализа таких элементов, относящихся в общем случае к классу многослойных оболочек сложной геометрии, за последние годы (работа /1/) были построены основные разрешающие уравнения, базирующиеся на предложенных в /2/ моделях, а также разработаны численные методы, алгоритмы и программное обеспечение для решения геометрически и физически линейных задач статики и термоупругости /3/.

Проблемы, связанные с определением несущей способности этих конструкций, приводят к необходимости рассмотрения задач термостатического их деформирования в физически и геометрически нелинейной постановке.

В данной статье рассматривается частный класс многослойных элементов изделий конструкционной оптики летательных аппаратов в виде оболочек вращения с произвольной формой меридиана, для которых разработан алгоритм численного решения задач статики и термоупругости для случая осесимметричного их деформирования от действия изменя-