

ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА МНОГОЦИКЛОВУЮ УСТАЛОСТЬ ДЕТАЛЕЙ

Павлов В.Ф., Шадрин В.К., Богданова И.В., Чуриков Д.С., Еремицкая К.Е.
Самарский университет, г. Самара, pavlov.vf@ssau.ru

Ключевые слова: азотирование, предел выносливости, полнота эпюры сжимающих остаточных напряжений.

В работе исследовалось влияние распределения сжимающих остаточных напряжений, созданных в поверхностном слое азотированием, на предел выносливости образцов с V-образными надрезами. Влияние сжимающих остаточных напряжений на приращение предела выносливости образцов при изгибе в случае симметричного цикла $\Delta\sigma_{-1}$ (1) оценивалось по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ [1] по формуле (2)

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

где $\bar{\psi}_{\sigma}$ – коэффициент влияния упрочнения на предел выносливости,

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

$\sigma_z(\xi)$ ($\sigma_{\varphi}(\xi)$) – осевые (меридиональные) остаточные напряжения в опасном сечении образца (детали) по толщине поверхностного слоя a , $\xi = \frac{a}{t_{кр}}$ – расстояние от поверхности опасного сечения образца (детали) до текущего слоя, выраженное в долях $t_{кр}$, $t_{кр}$ – критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости, возникающей при работе образца (детали) на пределе выносливости.

Цилиндрические образцы с V-образным надрезом диаметром 7,5 мм в наименьшем сечении (рис. 1) из сталей ВНС40 и 38Х2МЮА подвергались азотированию. Меридиональные σ_{φ} (осевые σ_z – в наименьшем сечении) остаточные напряжения определялись методом, описанном в монографии [2], и по глубине a опасного сечения образцов представлены на рис. 2.

Из представленных на рис. 2 эпюр видно, что после азотирования сжимающие остаточные напряжения в образцах из стали ВНС40 имеют подповерхностный максимум на глубине 0,18 мм при одинаковых остаточных напряжениях на поверхности надреза (-1320 МПа). Следовательно, распределение сжимающих остаточных напряжений в наименьшем сечении образцов из стали ВНС40 после азотирования является более полным, чем в образцах из стали 38Х2МЮА.

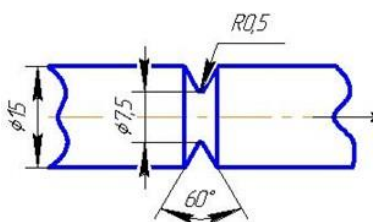


Рисунок 1 – Рабочая часть образцов с V-образным надрезом

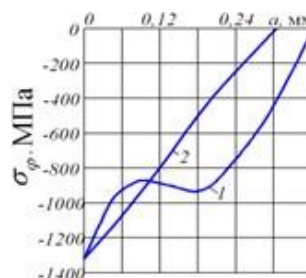


Рисунок 2 – Эпюры остаточных напряжений в образцах с надрезами: 1 – ВНС40, 2 – 38Х2МЮА

Образцы на многоцикловую усталость при изгибе в случае симметричного цикла испытывались на машине МУИ-6000, база испытаний – $5 \cdot 10^6$ циклов нагружения. Результаты определения предела выносливости σ_{-1} представлены в табл. 1. Из представленных данных видно, что при одинаковых сжимающих остаточных напряжениях на дне надреза, приращение предела выносливости образцов из стали ВНС40 за счёт азотирования на 70 МПа больше, чем образцов из стали 38Х2МЮА. Это различие объясняется более полным распределением остаточных напряжений в образцах из стали ВНС40, чем в образцах из стали 38Х2МЮА.

Таблица 1 – Результаты испытаний на усталость и определения остаточных напряжений

Материал	Неупроч.образцы σ_{-1} , МПа	Упрочнённые образцы		
		σ_{-1} , МПа	$\bar{\sigma}_{\text{ост}}$, МПа	$\bar{\psi}_{\sigma}$
ВНС40	200	560	-947	0,380
38Х2МЮА	165	455	-816	0,356

Таким образом, предел выносливости упрочнённых образцов (деталей) определяется не величиной сжимающих остаточных напряжений на поверхности опасного сечения, а полнотой эпюры сжимающих остаточных напряжений по глубине опасного сечения детали, равной критической глубине нераспространяющейся трещины усталости.

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., Кирпичёв В.А., Вакулюк В.С. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям. Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012. 125 с.

Сведения об авторах

Павлов Валентин Фёдорович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой сопротивления материалов. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Шадрин Валентин Карпович, к.т.н., доцент, доцент кафедры сопротивления материалов. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Богданова Ирина Вячеславовна, аспирант кафедры сопротивления материалов. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Чуриков Дмитрий Сергеевич, аспирант кафедры сопротивления материалов. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Еремицкая Ксения Евгеньевна, студентка гр. 2301 Самарского университета. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

THE INFLUENCE OF RESIDUAL STRESSES DISTRIBUTION ON THE MULTICYCLIC FATIGUE OF PARTS

Pavlov V.F., Shadrin V.K., Bogdanova I.V., Churikov D.S., Eremickaya K.E.
Samara University, Samara, Russia, pavlov.vf@ssau.ru

Keywords: nitriding, endurance limit, compressive residual stresses diagram completeness.

Carried out experiments on specimens made of steels ВНС40 and 38Х2МЮА after nitriding have been demonstrated that the endurance limit of these specimens is determined by the compressive residual stresses through the dangerous section surface layer thickness equal the critical depth of a non-propagating fatigue crack diagram completeness.