

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ ОБРАЗЦОВ С КОНЦЕНТРАТОРАМИ НАПРЯЖЕНИЙ

Павлов В.Ф., Сазанов В.П., Вакулюк В.С., Семёнова О.Ю., Михалкина С.А.
Самарский университет, г. Самара, pavlov.vf@ssau.ru

Ключевые слова: поверхностное упрочнение, предел выносливости, остаточные напряжения.

В настоящем исследовании эксперименты проводились на сплошных диаметром 10, 15, 25, 50 мм и полых диаметром 15/5, 25/15, 50/40 мм/мм цилиндрических образцах из сталей 20, 45, 40Х, 30ХГСА после упрочнения пневмодробеструйной (ПДО) и гидродробеструйной (ГДО) обработками. Оценка влияния упрочнения на приращение предела выносливости образцов $\Delta\sigma_{-1}$ при изгибе в случае симметричного цикла проводилась по критерию $\bar{\sigma}_{ост}$ [1] по формуле:

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

где $\bar{\psi}_{\sigma}$ – коэффициент влияния упрочнения на предел выносливости по критерию $\bar{\sigma}_{ост}$;

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

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

Из формул (1) и (2) видно, что для оценки приращения предела выносливости $\Delta\sigma_{-1}$ следует знать коэффициент $\bar{\psi}_{\sigma}$ и распределение осевых σ_z остаточных напряжений по глубине опасного сечения образца (детали). На основании экспериментальных данных в работе [2] было установлено, что коэффициент $\bar{\psi}_{\sigma}$ зависит только от степени концентрации напряжений и определяется по формуле

$$\bar{\psi}_{\sigma} = 0,612 - 0,081\alpha_{\sigma}, \quad (3)$$

где α_{σ} – теоретический коэффициент концентрации напряжений.

Распределения осевых σ_z остаточных напряжений после ПДО и ГДО определялись методом колец и полосок [3]. Половина образцов для испытаний на усталость после точения подвергалась электрополированию, другая – упрочнению на режимах, характерных для авиационных деталей. На гладкие неупрочнённые и упрочнённые образцы с использованием электрополирования наносились надрезы полукруглого профиля радиусом $R = 0,3$ мм.

Критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ вычислялся по формуле (2) по глубине опасного сечения образцов с надрезами, равной $t_{кр}$. При этом использовались распределения осевых σ_z остаточных напряжений в образцах с надрезами $R = 0,3$ мм, полученные расчётом. Значения коэффициента $\bar{\psi}_{\sigma}$ вычислялись по формуле (3). Теоретический коэффициент концентрации напряжений α_{σ} определялся методом конечных элементов с использованием расчётного комплекса ANSYS. После определения критерия $\bar{\sigma}_{ост}$ и коэффициента $\bar{\psi}_{\sigma}$ по формуле (1) вычислялись значения приращений предела выносливости $\Delta\sigma_{-1}$ упрочнённых ПДО и ГДО образцов с надрезами.

Установлено, что результаты экспериментального определения приращений предела выносливости упрочнённых образцов имеют достаточно высокую сходимость с результатами расчёта приращений предела выносливости (расхождение не превышает 11% при ПДО и 8% при ГДО). Следовательно, для оценки влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости образцов (деталей) с концентраторами напряжений можно использовать критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{\text{ост}}$.

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., Букатый А.С., Филатов А.П., Чирков А.В. Прогнозирование предела выносливости поверхностно упрочнённых деталей при различной степени концентрации напряжений / Вестник УГАТУ, 2011. Т. 15. № 4 (44). С. 81-85.
3. Иванов С.И. К определению остаточных напряжений в цилиндре методом колец и полосок / Остаточные напряжения. Куйбышев: КуАИ, 1971. Вып. 48. С. 179-183.

Сведения об авторах

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

Сазанов Вячеслав Петрович, к.т.н., без звания, доцент кафедры сопротивления материалов. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Вакулюк Владимир Степанович, д.т.н., доцент, профессор кафедры сопротивления материалов. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Семёнова Ольга Юрьевна, к.т.н., доцент, доцент кафедры высшей математики. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Михалкина Светлана Алексеевна, старший преподаватель кафедры высшей математики. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

SURFACE HARDENING INFLUENCE ON THE ENDURANCE LIMIT OF SPECIMENS WITH STRESS CONCENTRATORS

Pavlov V.F., Sazanov V.P., Vakulyuk V.S., Semyonova O.Yu., Mihalkina S.A.
Samara University, Samara, Russia, pavlov.vf@ssau.ru

Keywords: surface hardening, endurance limit, residual stresses.

Solid and hollow cylindrical specimens with cuts made of steels 20, 45, 40X, 30XГСА hardened by pneumo- shot blasting (PSB) and hydro shot blasting (HSB) have been used in the study. In order to estimate the surface hardening efficiency the influence of residual stresses on an endurance limit of specimens has been examined. Residual stresses distributions and endurance limits of specimens were found by calculation and experimental methods. The employment of calculation methods for the hardening efficiency estimation has been shown that the difference between calculated and experimental values of endurance limit increases due to specimens' surface hardening doesn't exceed 11% under PSB and 8% under HSB.