

**НАПРАВЛЕНИЕ**  
**«ПРОЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ ТУРБОМАШИН» /**  
**«STRENGTH OF TURBOMACHINE PARTS»**

УДК 621.787:539.319

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МНОГОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ**  
**УПРОЧНЁННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ**  
**В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ**

Павлов В. Ф., Сазанов В. П., Вакулюк В. С., Семёнова О. Ю., Шадрин В. К.  
Самарский университет, г. Самара, [pavlov.vf@ssau.ru](mailto:pavlov.vf@ssau.ru)

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

В работе [1] было установлено, что основную роль в повышении сопротивления многоциклового усталости деталей с концентраторами напряжений после поверхностного упрочнения играют сжимающие остаточные напряжения, наведённые в тонком поверхностном слое этих деталей. Для прогнозирования влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости чаще всего используются два критерия: по критерию осевых остаточных напряжений  $\sigma_z^{nos}$  на поверхности опасного сечения детали и по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{ocm}$  [2], определяемых по методике работы [3].

Приращение предела выносливости  $\Delta P_R$  ( $\Delta\sigma_R$  – изгиб, растяжение-сжатие;  $\Delta\tau_R$  – кручение) упрочнённой детали с концентратором напряжений при использовании критериев  $\sigma_z^{nos}$  и  $\bar{\sigma}_{ocm}$  определяется по следующим зависимостям:

$$\Delta P_R = \psi_p \cdot |\sigma_z^{nos}|,$$
$$\Delta P_R = \bar{\psi}_p \cdot |\bar{\sigma}_{ocm}|,$$

где  $\psi_p$  ( $\psi_\sigma$  – изгиб, растяжение-сжатие;  $\psi_\tau$  – кручение),  $\bar{\psi}_p$  ( $\bar{\psi}_\sigma$  – изгиб, растяжение-сжатие;  $\bar{\psi}_\tau$  – кручение) – коэффициенты влияния остаточных напряжений по критериям  $\sigma_z^{nos}$  и  $\bar{\sigma}_{ocm}$ , соответственно, на предел выносливости.

На кафедре сопротивления материалов и НИЛ-31 Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва для проверки возможности использования обоих критериев ( $\sigma_z^{nos}$  и  $\bar{\sigma}_{ocm}$ ) при прогнозировании влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости при изгибе, растяжении-сжатии и кручении были проведены исследования на образцах и деталях с различными концентраторами напряжений: надрезами и галтелями различных радиусов, резьбой, втулкой, напрессованной на вал.

Экспериментальные исследования проведены при различных видах поверхностного упрочнения (гидро– и пневмодробеструйная обработка, обкатка роликом, алмазное выглаживание, обработка микрошариками, азотирование, цементация), на образцах и деталях из различных материалов (стали 30ХГСА, 12Х18Н10Т, ЭИ961, ЭИ696, ВНС40, 16ХСН, ЭП479Ш, 38Х2МЮА, 40Х, 40ХН, 45, 40, 20; сплавы ЭИ437Б, ЭИ698ВД, ВКС-5, ВНС-17, ЭП718, ЖС6У, В93, В95, Д16Т, Д1П, 1953Т1, ВТ16, ВТ9, ВТ3-1) с размерами поперечного сечения от 3 мм до 73 мм.

Проведённые исследования показали, что при оценке влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости по критерию осевых  $\sigma_z^{nos}$  остаточных напряжений на поверхности опасного сечения образцов и деталей соответствующий коэффициент  $\psi_p$  изменяется в существенно больших пределах, чем коэффициент  $\bar{\psi}_p$  при оценке влияния упрочнения по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{ocm}$ . Следовательно,

прогнозирование предела выносливости поверхностно упрочнённых деталей с концентраторами напряжений по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{ост}$  приводит к существенно более точным значениям предела выносливости, чем прогнозирование по критерию осевых  $\sigma_z^{ноб}$  остаточных напряжений на поверхности опасного сечения.

Таким образом проведёнными исследованиями установлено, что для прогнозирования предела выносливости при изгибе, растяжении-сжатии и кручении поверхностно упрочнённых деталей с концентраторами напряжений следует использовать критерий среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{ост}$ .

### Список литературы

1. Иванов С.И., Павлов В.Ф. Влияние остаточных напряжений и наклёпа на усталостную прочность / Проблемы прочности, 1976. №5. С. 25-27.
2. Павлов В.Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений / Известия вузов. Машиностроение, 1986. №8. С. 29-32.
3. 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-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой сопротивления материалов. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Сазанов Вячеслав Петрович, канд. техн. наук, доцент. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Вакулюк Владимир Степанович, д-р техн. наук, доцент, профессор. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Семёнова Ольга Юрьевна, канд. техн. наук, доцент. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Шадрин Валентин Карпович, канд. техн. наук, доцент. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

## THE PREDICTION OF MULTICYCLIC FATIGUE OF HARDENED PARTS BY RESIDUAL STRESSES IN A SURFACE LAYER DISTRIBUTION

Pavlov V.F., Sazanov V.P., Vakulyuk V.S., Semyonova O.Yu., Shadrin V.K.  
Samara National Research University, Samara, Russia, [pavlov.vf@ssau.ru](mailto:pavlov.vf@ssau.ru)

*Keywords: surface hardening, endurance limit, residual stresses*

On the ground of great number of carried out experiments on parts with stress concentrators (cuts, thread, fillets, a shaft with a pressurized hub) made of various steels and allows machined by various types of surface hardening (hydro– and pneumo– shot blasting, rolling, diamond burnishing, micro balls processing, nitriding, cementation) it's been stated that the average integral residual stresses criterion should be used for an endurance limit prediction in cases of bending, stretching – compression and torsion.