

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ ДЕТАЛЕЙ С КОНЦЕНТРАТОРАМИ НАПРЯЖЕНИЙ

Павлов В.Ф., Вакулюк В.С., Сазанов В.П., Семёнова О.Ю., Шадрин В.К.

Самарский университет, г. Самара, pavlov.vf@ssau.ru

Ключевые слова: поверхностное упрочнение, предел выносливости, остаточные напряжения на поверхности, среднеинтегральные остаточные напряжения.

После различных методов упрочнения в поверхностном слое деталей изменяется структура, возникают наклёп и сжимающие остаточные напряжения. Основную роль в повышении сопротивления усталости упрочнённых деталей с концентраторами играют сжимающие остаточные напряжения [1]. Для оценки влияния остаточных напряжений на предел выносливости таких деталей применяются два критерия. Первым критерием являются остаточные напряжения на поверхности концентратора. Зависимость для определения приращения предела выносливости $\Delta P_R(\Delta\sigma_R, \Delta\tau_R)$ упрочнённой детали в этом случае имеет вид

$$\Delta P_R = \psi_p \cdot |\sigma_z^{nov}|, \quad (1)$$

где $\psi_p(\psi_\sigma, \psi_\tau)$ – коэффициент влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости по критерию; σ_z^{nov} , σ_z^{nov} – осевые (меридиональные) остаточные напряжения на поверхности концентратора опасного сечения детали.

Вторым критерием являются среднеинтегральные остаточные напряжения $\bar{\sigma}_{oct}$ [2], вычисленные по толщине опасного сечения детали, равной критической глубине нераспространяющейся трещины усталости. Зависимость для определения приращения предела выносливости ΔP_R упрочнённой детали в этом случае имеет вид

$$\Delta P_R = \bar{\psi}_p \cdot |\bar{\sigma}_{oct}|, \quad (2)$$

где $\bar{\psi}_p(\bar{\psi}_\sigma, \bar{\psi}_\tau)$ – коэффициент влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости по критерию $\bar{\sigma}_{oct}$.

По результатам большого числа экспериментов, проведённых в НИЛ-31 и на кафедре сопротивления материалов Самарского университета [3], установлено:

- при различных методах поверхностного упрочнения, степенях наклёпа, размерах и формах концентраторов, асимметриях цикла напряжений для оценки приращения предела выносливости поверхностно упрочнённых деталей с концентраторами обосновано применение критерия среднеинтегральных остаточных напряжений, вычисляемого по толщине поверхностного слоя опасного сечения, равной критической глубине нераспространяющейся трещины усталости;

- критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости в опасном сечении упрочнённых деталей с концентраторами напряжений определяется только размерами поперечного сечения и не зависит от вида поверхностного упрочнения, материала, последовательности изготовления и упрочнения концентратора, наклёпа, типа и размеров концентратора, величины сжимающих остаточных напряжений, вида деформации и асимметрии цикла напряжений;

- для исследованных видов поверхностного упрочнения (гидро- и пневмодробеструйная обработка, алмазное выглаживание, обработка микрошариками, обкатка роликом, азотирование, цементация, борирование), различных материалов (стали,

сплавов на основе никеля, титана, алюминия), степеней равномерного и неравномерного наклёпа, величин (-29 – -2200 МПа) и характера распределения сжимающих остаточных напряжений, типов и размеров концентраторов, поперечных размеров деталей критерий среднеинтегральных остаточных напряжений хорошо отражает связь между остаточными напряжениями и приращением предела выносливости;

- коэффициент $\bar{\psi}_p$ (формула (2)) влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений зависит от типа деформации (изгиб, растяжение-сжатие и кручение), асимметрии цикла и степени концентрации напряжений; по результатам исследования предложены методики учёта влияния этих факторов при определении коэффициента $\bar{\psi}_p$;

- критерий среднеинтегральных остаточных напряжений может быть использован и в случае работы детали при повышенной температуре, но при этом в расчёт необходимо брать остаточные напряжения детали в конце её ресурса, то есть с учётом релаксации. Эти напряжения можно определить путём термоэкспозиции;

- оценка приращения предела выносливости упрочнённых деталей по величине сжимающих остаточных напряжений на поверхности опасного сечения не представляется возможной, так как соответствующий коэффициент влияния ψ_p (формула (1)) в проведённых экспериментах при симметричном цикле изменяется в широких пределах – до 38 раз;

- для наибольшего приращения предела выносливости деталей за счёт поверхностного упрочнения следует назначать такие методы и режимы упрочнения, при которых распределение сжимающих остаточных напряжений является наиболее полным по толщине опасного сечения, равной критической глубине нераспространяющейся трещины усталости.

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.т.н., профессор, профессор 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.

Сазанов Вячеслав Петрович, к.т.н., доцент, доцент 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.

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

THE ESTIMATION OF A SURFACE HARDENING INFLUENCE ON AN ENDURANCE LIMIT OF PARTS WITH STRESS CONCENTRATORS

Pavlov V.F., Vakulyuk V.S., Sazanov V.P., Semyonova O.Yu., Shadrin V.K.

Samara University, Samara, Russia, pavlov.vf@ssau.ru

Keywords: surface hardening, endurance limit, residual stresses on a surface, average integral residual stresses.

Possibilities of a surface hardened details endurance limit increment prediction by two criteria have been investigated: residual stresses on the surface of dangerous section and average integral residual stresses through the surface layer thickness, equal a critical depth of a non-propagating fatigue crack. It's been stated that the average integral residual stresses criterion well reflects the communication between residual stresses and an increment of hardened details endurance limit in all studied cases (different types of hardening, materials, concentrators, the sizes of details).