

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ ПОСЛЕ ОБКАТКИ РОЛИКОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Костичев В. Э., Нагиев А. В., Кирпичёв В. А.

Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королёва, г. Самара

При определении приращения предела выносливости упрочнённых деталей необходимо учитывать уровень сжимающих остаточных напряжений не только на поверхности, но и по толщине упрочнённого слоя.

Таким требованиям удовлетворяет критерий среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{ост}$  [1, 2]. Приращение предела выносливости  $\Delta P_R$  упрочнённой детали с остаточными напряжениями при использовании критерия  $\bar{\sigma}_{ост}$  определяется по формуле

$$\Delta P_R = \bar{\psi}_p \cdot |\bar{\sigma}_{ост}| \quad (1)$$

где  $\bar{\psi}_p$  – коэффициент влияния остаточных напряжений на предел выносливости по разрушению,  $\bar{\sigma}_{ост}$  – среднеинтегральные остаточные напряжения, определяемые по формуле

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

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

В настоящей работе для определения распределения сжимающих остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя с применением методики динамического моделирования [3] произведён расчёт приращения предела выносливости стандартных образцов диаметром  $D = 10$  мм, изготовленных из стали 12X18H10T, имеющих следующие механические характеристики:  $\sigma_{0,2} = 281$  МПа,  $\sigma_g = 646$  МПа,  $\delta = 50,8$  %,  $\psi = 65,6$  %. Обкатка проводилась роликом с наружным диаметром  $D_p = 60$  мм и профильным радиусом  $r = 1,6$  мм с усилием обкатки – 0,5 кН, продольной подачей – 0,11 мм/об, частотой вращения заготовки – 400 об/мин.

Для расчётного определения эпюры остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя, средствами программного комплекса ANSYS/LS-DYNA, разработана конечно-элементная модель образца, подвергаемого обкатке роликом, на режимах, соответствующих экспериментальным данным. Принималась упруго-пластическая модель с кинематическим упрочнением, учитывающая изменение свойств материала. Ролик принят условно недеформируемым для упрощения вычислений. Тип конечных элементов модели образца – Solid 164.

По результатам расчётов получено напряжённо-деформированное состояние образца после упрочнения методом обкатки цилиндрических образцов.

На основании полученного расчётным путём напряжённо-деформированного состояния построены эпюры остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя

цилиндрического образца для трёх различных вариантов разбиения на конечные элементы поверхностного слоя толщиной  $a = 0,5$  мм: 3 элемента по толщине поверхностного слоя, 5 элементов и 10 элементов. Установлено, что разбиение поверхностного слоя более чем на 10 элементов по толщине не даёт существенных изменений в значениях остаточных напряжений.

Экспериментальное исследование упрочнения подобных образцов на аналогичных режимах выполнено в работе [4]. В результате исследования получена зависимость остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя, из которой следует, что максимальный уровень сжимающих остаточных напряжений равен 450 МПа и залегает на глубине 0,1 мм.

Максимальный уровень сжимающих остаточных напряжений на эпюре остаточных напряжений в варианте с разбиением в 10 элементов равен 442 МПа и залегает на глубине 0,095 мм, что отличается от экспериментальных данных не более чем на 1,7 % по значению и на 5 % по глубине залегания.

Анализ полученных результатов показал, что погрешность определения значения приращения предела выносливости по сравнению с экспериментом при расчётах по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений составляет не более 6%. Следует отметить, что результаты, полученные моделированием упрочняющей обработки, дают завышенный результат при расчётах критерия  $\bar{\sigma}_{осм}$ .

Подводя итог, следует отметить, что применение динамического моделирования процессов упрочнения методами поверхностного пластического деформирования позволяет минимизировать количество испытаний при расчётах приращения предела выносливости по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений.

Результаты данной работы позволяют без проведения дополнительных испытаний производить оценку приращения предела выносливости для образцов на различных режимах упрочнения.

#### Библиографический список

1. Иванов, С. И. Влияние остаточных напряжений на выносливость образцов с надрезом [Текст] / С. И. Иванов, М. П. Шатунов, В. Ф. Павлов // Вопросы прочности элементов авиационных конструкций. – Куйбышев: КуАИ, 1974. – Вып. 1. – С. 88-95.
2. Павлов, В. Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений [Текст] / В. Ф. Павлов // Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – №8. – С. 29-32.
3. Букатый, С. А. Разработка метода исследования деталей тепловых двигателей в концентраторах напряжений с учётом упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием [Текст] / С. А. Букатый, А. С. Букатый, В. Э. Костичев // Сборник тезисов докладов 16-ой Международной научно-практической конференции «Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика». Санкт-Петербург, 15-18 апреля: С.-П. гос. политехн. ун-т. – 2014. – С. 121-123.
4. Кирпичёв, В. А. Прогнозирование предела выносливости поверхностно упрочнённых деталей с концентраторами при различных видах деформации [Текст] / В. А. Кирпичёв // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2008. – № 3. – С. 138-142