

Злобин А.С., Сазанов В.В., Бурнаев С.С., Захваткин Я.В.

СВЯЗЬ ХАРАКТЕРИСТИК МАЛОЦИКЛОВОЙ И МНОГОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ В РЕЗЬБОВЫХ ДЕТАЛЯХ С ОСТАТОЧНЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ

Одним из важных вопросов механики остаточных напряжений является установление связи между остаточными напряжениями и сопротивлением деталей усталости. Особую значимость эта задача приобрела в связи с широким применением на практике различных методов поверхностного упрочнения, приводящих к существенному увеличению характеристик сопротивления усталости, особенно в условиях концентрации напряжений. Наиболее актуально выявление зависимости сопротивления усталости от остаточных напряжений для деталей с концентраторами, так как разрушение таких деталей происходит, как правило, в местах нарушения призматической формы.

В настоящее время достаточно глубоко разработан подход [1-7] к прогнозированию сопротивления усталости деталей с остаточными напряжениями в области многоциклового усталости, предполагающий определение предела выносливости с использованием критерия среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ocm}$. С точки зрения физического смысла данный критерий представляет собой остаточные напряжения на дне трещины с точностью до постоянного коэффициента, зависящего от радиуса у дна трещины и её глубины.

В этом случае предел выносливости детали с остаточными напряжениями определяется по формуле

$$p_R = p_R^0 - \bar{\psi} \bar{\sigma}_{ocm}, \quad (1)$$

где p_R – предел выносливости детали с остаточными напряжениями, p_R^0 – предел выносливости детали без остаточных напряжений, $\bar{\psi}$ – коэффициент влияния остаточных напряжений на предел выносливости по разрушению.

Критерий $\bar{\sigma}_{ocm}$ вычисляется по формуле [1]

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

где $\sigma_z(\xi)$ – осевые остаточные напряжения в наименьшем (опасном) сечении детали с концентратором; $\xi = \frac{y}{t_{кр}}$ – расстояние от дна надреза до текущего слоя, выраженное в

долях $t_{кр}$; $t_{кр}$ – критическая глубина нераспространяющейся усталостной трещины, возникающей при работе деталей на пределе выносливости.

Аналогично (1) можно определить предельную амплитуду цикла σ_{Ra} [7] при асимметричном нагружении в случае растяжения-сжатия

$$\sigma_{Ra} = \sigma_{Ra}^0 - \bar{\psi}_{\sigma}^{(m)} |\bar{\sigma}_{ocm}|, \quad (3)$$

где σ_{Ra} – предельная амплитуда цикла детали с остаточными напряжениями, σ_{Ra}^0 – предельная амплитуда цикла детали без остаточных напряжений, $\bar{\psi}_{\sigma}^{(m)}$ – коэффициент влияния остаточных напряжений на предельную амплитуду цикла при среднем напряжении σ_m .

В настоящем исследовании был проведён анализ экспериментальных данных [7], полученных при испытаниях на усталость резьбовых деталей М6 из титанового сплава ВТ16. Графики, построенные по результатам анализа (рис. 1, 2) показывают, что как число циклов до разрушения $N_{min}(y)$ (характеристика малоциклового усталости), так и предельная амплитуда цикла $\sigma_{Ra}(y)$ (характеристика многоциклового усталости) связаны с критерием среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ocm}(x)$ квадратичной зависимостью.

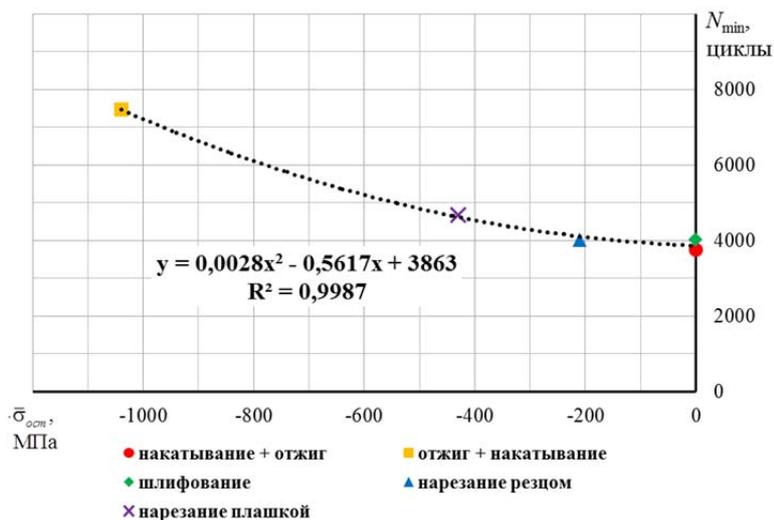


Рис. 1. Зависимость количества циклов до разрушения N_{min} от критерия среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ocm}$ при различных способах формирования резьбы (материал деталей – ВТ16)

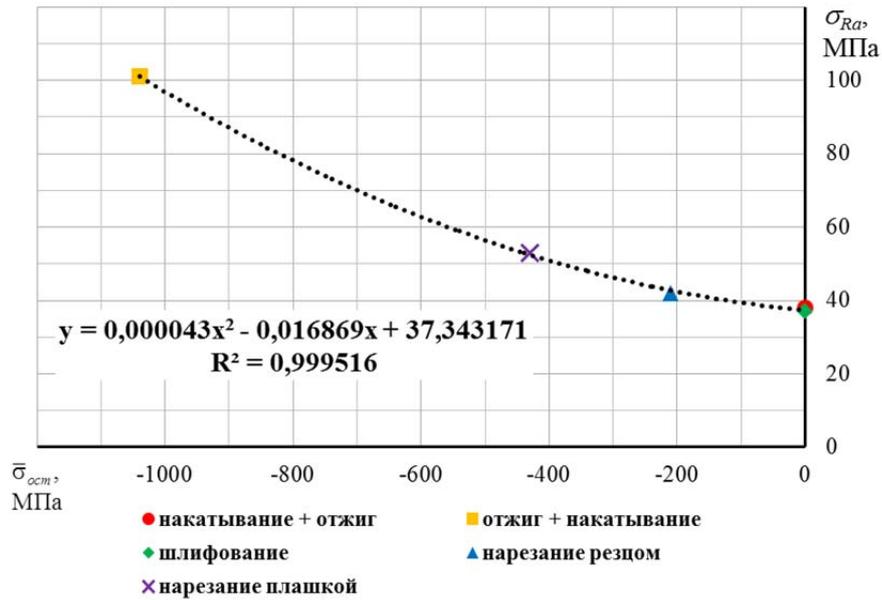


Рис. 2. Зависимость предельной амплитуды цикла σ_{Ra} от критерия среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ при различных способах формирования резьбы (материал деталей – ВТ16)

В то же время между собой указанные характеристики малоцикловой и многоцикловой усталости связаны линейной зависимостью (рис. 3).

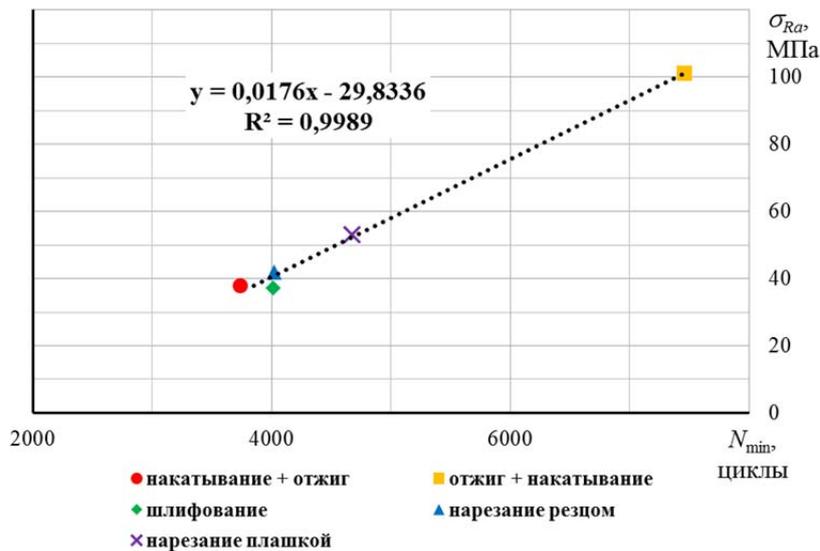


Рис. 3. Зависимость числа циклов до разрушения N_{min} от предельной амплитуды цикла σ_{Ra} (материал деталей – ВТ16)

Таким образом, результаты анализа дают основания полагать, что приращение числа циклов до разрушения ΔN_{min} может быть определено как:

$$\Delta N_{min} = \bar{\psi}_N \cdot \Delta \sigma_{Ra} = \bar{\psi}_N \cdot \bar{\psi}_\sigma^{(m)} \cdot |\bar{\sigma}_{ост}|, \quad (4)$$

где $\bar{\psi}_N$ – коэффициент влияния остаточных напряжений на число циклов до разрушения при среднем напряжении σ_m .

Библиографический список

1. 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.

2. Радченко, В.П. Методика расчёта предела выносливости упрочнённых цилиндрических образцов с концентраторами напряжений при температурных выдержках в условиях ползучести [Текст] / В.П. Радченко, О.С. Афанасьева // Вестник СамГТУ. Сер.: физ.-мат. науки. – 2009. – № 2 (19). – С. 264-268.

3. Кирпичёв, В.А. Прогнозирование предела выносливости поверхностно упрочнённых деталей при различной степени концентрации напряжений [Текст] / В.А. Кирпичёв, А.С. Букатый, А.П. Филатов, А.В. Чирков // Вестник УГАТУ. – 2011. – Т. 15, № 4 (44). – С. 81-85.

4. Кирпичёв, В.А. Остаточные напряжения и сопротивление усталости образцов с V-образными надрезами из стали ВНС40 [Текст] / В.А. Кирпичёв, М.Н. Саушкин, В.П. Сазанов, О.Ю. Семёнова // Вестник СГАУ. – 2012. – №5 (36). – Ч. 1. – С. 95-99.

5. Павлов, В.Ф. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям [Текст] / В.Ф. Павлов, В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулюк. – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2012. – 125 с.

6. Вакулюк, В.С. Прогнозирование предела выносливости поверхностно упрочнённых образцов с концентраторами напряжений [Текст] / В.С. Вакулюк, В.А. Кирпичёв, В.Ф. Павлов, В.П. Сазанов // Вестник УГАТУ. – 2013. – Т. 17. – №1 (54). – С. 45-49.

7. Иванов, С.И. Остаточные напряжения и сопротивление усталости высокопрочных резьбовых деталей [Текст] / С.И. Иванов, В.Ф. Павлов, Б.В. Минин, В.А. Кирпичёв, Е.П. Кочеров, В.В. Головкин. – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2015. – 170 с.