

Злобин А.С., Вакулюк В.С., Шадрин В.К., Кочерова Е.Е.

СВЯЗЬ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ С КРИТЕРИЕМ СРЕДНЕИНТЕГРАЛЬНЫХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Циклическая долговечность наряду с длительной прочностью является важнейшей характеристикой надёжности деталей, определяющей ресурс их работы в циклах нагружения.

Для увеличения данного показателя широко применяют различные методы упрочнения поверхностного слоя деталей [1, 2]. При этом наиболее существенный положительный эффект наличия остаточных напряжений проявляется в деталях с концентраторами. В связи с этим весьма важной становится задача определения качественной и количественной зависимости циклической долговечности от величины и распределения остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя детали.

В настоящее время эта задача достаточно успешно решается [3-8] для области многоциклового усталости. Однако для области малоциклового усталости полноценное решение до сих пор отсутствует. С целью восполнения данного пробела был проведён качественный анализ влияния остаточных напряжений на малоцикловую усталость на примере резьбовых деталей.

В качестве параметра, характеризующего величину и распределение остаточных напряжений в поверхностном слое упрочнённой детали, удобно принять критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{осм}$ [3]:

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

где $\sigma_z(\xi)$ – осевые остаточные напряжения в наименьшем 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.

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.

На рис. 1-3 представлены результаты экспериментальных исследований [9], проведённых для различных способов изготовления и упрочнения резьбы.

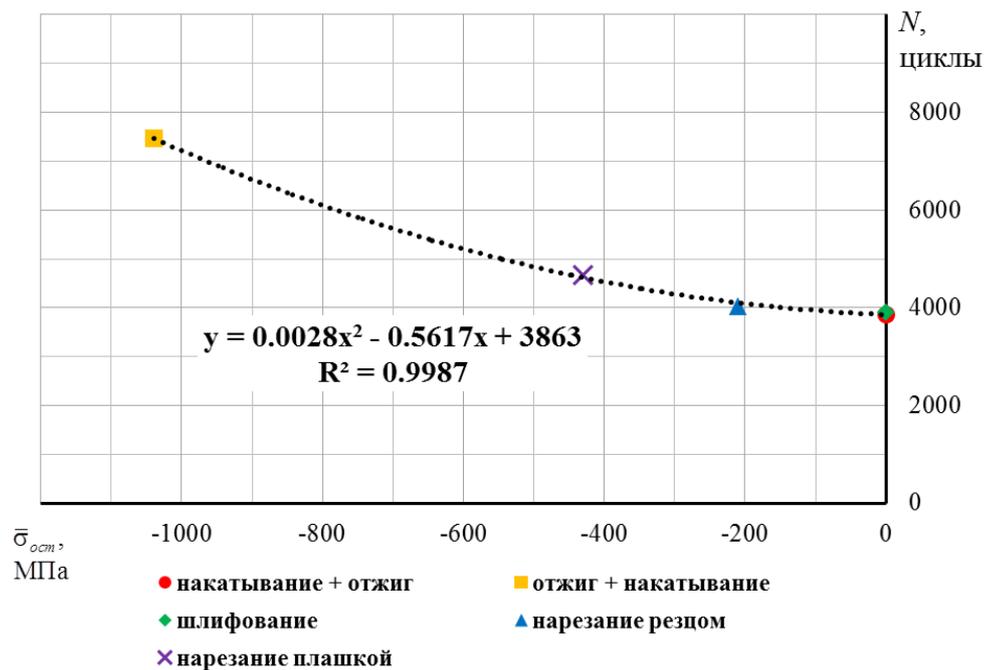


Рис. 1. Зависимость циклической долговечности $N(y)$ болтов М6 из сплава ВТ16 от критерия среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}(x)$ при различных способах формирования резьбы и среднем напряжении цикла $\sigma_m = 350$ МПа

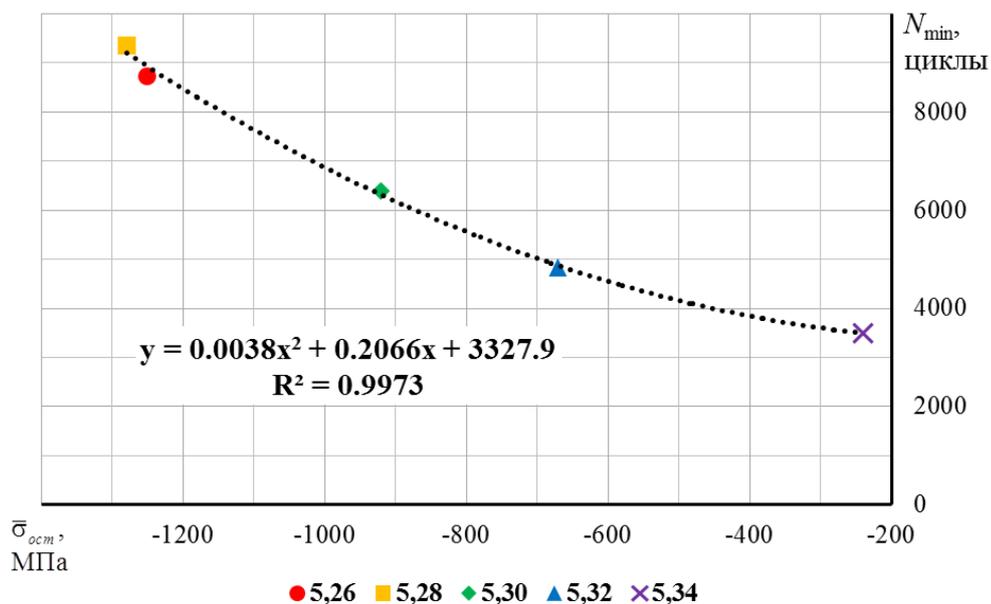


Рис. 2. Зависимость циклической долговечности $N(y)$ болтов М6 из сплава ВТ16 от критерия среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}(x)$ при различных диаметрах заготовок под накатывание резьбы и среднем напряжении цикла $\sigma_m = 350$ МПа

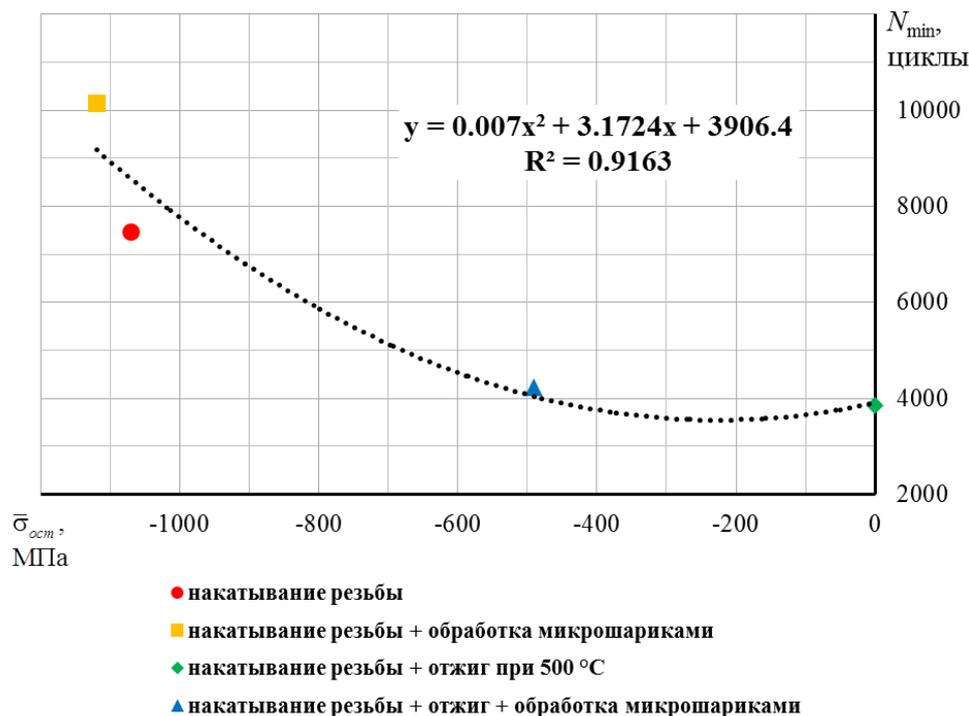


Рис. 3. Зависимость циклической долговечности $N(y)$ болтов М6 из сплава ВТ16

от критерия среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}(x)$

при различных способах упрочнения поверхностным пластическим деформированием и среднем напряжении цикла $\sigma_m = 350$ МПа

На рис. 1-3 пунктирными линиями показаны построенные по экспериментальным точкам аппроксимирующие зависимости числа циклов до разрушения N от величины критерия среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ и приведены соответствующие данным зависимостям уравнения. Через y выражено число циклов до разрушения, через x – критерий среднеинтегральных остаточных напряжений, R^2 – достоверность аппроксимации (коэффициент детерминированности). По значениям R^2 , полученным для рассмотренных случаев, видно, что зависимости квадратичного вида хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Таким образом, анализ рассмотренных экспериментальных данных показывает:

– наличие в области малоциклового усталости квадратичной зависимости между циклической долговечностью N и величиной критерия среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$;

– увеличение циклической долговечности при увеличении (по модулю) остаточных напряжений в поверхностном слое детали;

– принципиальную возможность использования среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ для оценки долговечности при малоциклового усталости.

Библиографический список

1. Карпенко, Г.В. Повышение малоциклового долговечности стальных деталей в рабочих средах методом поверхностного наклёпа [Текст] / Г.В. Карпенко, И.П. Пистун, А.Б. Куслицкий и др. // Вестник машиностроения. – 1977. – № 5. – С. 65-67.
2. Кудрявцев, П.И. Нераспространяющиеся усталостные трещины. [Текст] / П.И. Кудрявцев. – М.: Машиностроение, 1982. – 171 с.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Павлов, В.Ф. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям [Текст] / В.Ф. Павлов, В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулюк. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012. – 125 с.
8. 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.
9. 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: Издательство СНЦ РАН, 2015. – 170 с.