

УДК 621.787:539.31

## ВЛИЯНИЕ АСИММЕТРИИ ЦИКЛА НАПРЯЖЕНИЙ НА ПРЕДЕЛЬНУЮ АМПЛИТУДУ РЕЗЬБОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

Злобин А. С., Рунова К. В., Павлов В. Ф.

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

Наблюдаемые на практике изменения характеристик сопротивления усталости резьбовых деталей, связанные с изменениями конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов, обусловлены, в основном, характером распределения остаточных напряжений во впадинах резьбы [1]. В настоящем исследовании изучено совместное влияние средних напряжений и остаточных напряжений во впадинах резьбы на предельную амплитуду цикла резьбовых деталей.

Влияние асимметрии цикла напряжений на сопротивление многоциклового усталости исследовалось на болтах М6 из сплава ВТ16. Половина всех болтов после накатывания резьбы подвергалась отжигу для снятия остаточных напряжений, наведённых при изготовлении резьбы. В отожжённых после накатывания болтах остаточные напряжения практически отсутствовали. Резьба другой половины болтов накатывалась на предварительно отожжённых заготовках. Остаточные напряжения в опасном сечении болтов как до испытаний на усталость, так и после определялись по методике, описанной в работе [1]. Результаты экспериментального определения предельной амплитуды цикла напряжений  $\sigma_{Ra}$  при различных средних напряжениях цикла  $\sigma_m$  и расчёта критерия среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{ост}$  [2] представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты испытаний болтов на усталость

$\sigma_m$ , МПа	$\sigma_{Ra}$ , МПа		$\bar{\sigma}_{ост}$ , МПа	Опыт	Расчёт
	накатывание + отжиг	отжиг + накатывание		$\Delta\sigma_{Ra}^{on}$ , МПа	$\Delta\sigma_{Ra}^{pac}$ , МПа
200	46	153	-1030	107	103
350	44	123		79	72
400	39	111		72	68
600	37	61		24	16

Для резьбы М6 с гайкой при радиусе впадин  $\rho_0 = 0,17$  мм теоретический коэффициент концентрации напряжений  $\alpha_\sigma = 6,2$  [3], эффективный коэффициент концентрации напряжений  $K_\sigma$  принимался равным  $\alpha_\sigma$ . По методике, изложенной в работе [2], при указанных параметрах строилась диаграмма предельных амплитуд цикла напряжений 1 (рис. 1) для болтов без остаточных напряжений, то есть для отожжённых после накатывания резьбы болтов.

При построении диаграммы предельных амплитуд цикла напряжений 2 (рис. 1) болтов со сжимающими остаточными напряжениями, то есть для накатанных после отжига болтов, использовалась зависимость для вычисления приращения предельной амплитуды цикла  $\Delta\sigma_{Ra}^{pac}$ , полученная в работе [2] в следующем виде:

$$\Delta\sigma_{Ra}^{pac} = \bar{\psi}_\sigma |\bar{\sigma}_{ocm}| - \frac{\sigma_{-1p} (\sigma_m - \sigma_m^T)}{S_k}, \quad (1)$$

где  $\bar{\psi}_\sigma$  – коэффициент влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости болтов при растяжении-сжатии в случае симметричного цикла;  $\sigma_m^T$  – среднее напряжение цикла, при котором в резьбе болтов без остаточных напряжений появляются первые пластические деформации.

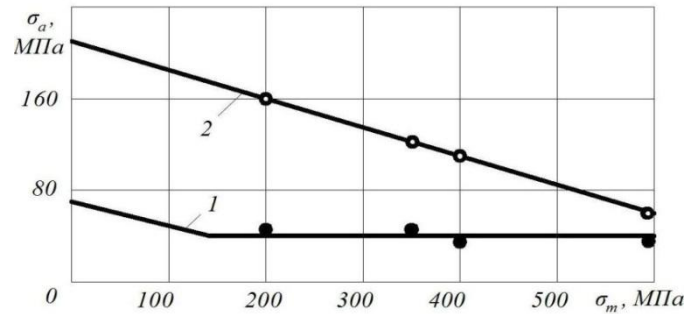


Рис. 1. Диаграммы предельных амплитуд цикла напряжений болтов М6 из сплава ВТ16, накатанных до (1) и после (2) отжига: ● – накатывание + отжиг, ○ – отжиг + накатывание

В работе [2] приведены следующие зависимости для коэффициента  $\bar{\psi}_\sigma$ :

$$\begin{aligned} \bar{\psi}_\sigma &= 0,612 - 0,081\alpha_\sigma, \\ \bar{\psi}_\sigma &= 0,514 - 0,065K_\sigma. \quad (2) \end{aligned}$$

Если в формулах (2) положить  $\alpha_\sigma = K_\sigma = 6,2$  [3], то коэффициент  $\bar{\psi}_\sigma$  будет равен 0,11.

Используя полученное значение  $\bar{\psi}_\sigma = 0,11$ , вычислялось приращение предела выносливости болтов при симметричном цикле по формуле (1) и строилась диаграмма 2 (рис. 1) предельных амплитуд цикла накатанных после отжига болтов.

На построенные расчётным путём диаграммы (рис. 1) нанесены результаты экспериментов, представленные в табл. 1. Видно, что опытные данные достаточно близки к расчётным, поэтому предложенная в работе [2] методика построения диаграммы предельных амплитуд цикла напряжений может быть использована для определения предельной амплитуды резьбовых деталей.

Полученные данные объясняют результаты исследований о влиянии усилия затяжки на прочность резьбовых соединений при переменных напряжениях. Для термообработанной, нарезанной и шлифованной резьбы, где толщина слоя с остаточными напряжениями и их величина незначительны, предельная амплитуда  $\sigma_{Ra}$  практически не зависит от среднего напряжения  $\sigma_m$ .

#### Библиографический список

1. Иванов, С. И. Остаточные напряжения и сопротивление усталости высокоресурсных 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.
2. 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.
3. Биргер, И. А. Резьбовые соединения [Текст] / И. А. Биргер, Г. Б. Иосилевич// М.: Машгиз, 1973. – 256 с.