

О ВЛИЯНИИ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТИ ДЕТАЛЕЙ С РЕЗЬБОЙ

Сазанов В. П., Вакулюк В. С., Письмаров А. В., Пилипив О. М., Полетаев И. С.
Самарский университет, г. Самара, sopromat@ssau.ru

Ключевые слова: остаточные напряжения, упрочнение поверхности, обкатка роликом, предел выносливости

Опережающее поверхностное пластическое деформирование (ОППД) является одним из эффективных способов повышения сопротивления усталости деталей с концентраторами напряжений. Технологическая операция изготовления концентратора требуемой геометрической формы производится на предварительно упрочнённой заготовке. В этом случае сжимающие остаточные напряжения в области концентратора образуются за счёт перераспределения остаточных усилий гладкой упрочнённой поверхности детали. Способ ОППД является наиболее эффективным, когда непосредственное упрочнение концентратора затруднено.

Влияние ОППД в виде обкатки роликом было изучено на партиях деталей с метрической резьбой размером М16х2, изготовленных из стали 40Х. При этом половина заготовок диаметром 16 мм подвергалась обкатыванию на трёхроликовом приспособлении. Затем на упрочнённых и неупрочнённых образцах нарезалась резьба М16х2.

Остаточные напряжения в наименьшем сечении впадин резьбы аналитическим способом вычислены по методике, предложенной авторами работы [1]. Определение остаточных напряжений методом конечно-элементного моделирования проведено с использованием расчётного комплекса PATRAN/NASTRAN [2]. Влияние остаточных напряжений на повышение предела выносливости после упрочнения поверхности детали оценивалось по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений, определяемых на глубине нераспространяющейся трещины усталости [3]. Резьбовые детали испытывались с гайкой при отнулевом положительном цикле в случае растяжения, база испытаний принималась равной $3 \cdot 10^6$ циклов.

По результатам расчётов было установлено, что аналитическое решение задачи распределения осевых остаточных напряжений в наименьшем сечении впадины резьбы полностью совпадает с аналогичным решением по методу конечно-элементного моделирования, начиная с пятого витка резьбы. Данный факт подтверждается результатами испытаний на усталость, так как разрушения при испытаниях происходили в наименьших сечениях внутренних витков резьбы, несколько удалённых от гладкой части.

В табл.1 представлены средние амплитуды циклов нагружения при испытаниях на усталость образцов σ_m , предельные амплитуды циклов σ_{R_a} , значения среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$, опытные и расчетные значения приращений $\Delta\sigma_{Ra}^{on}$ и $\Delta\sigma_{Ra}^{pac}$.

Табл. 1 – Результаты испытаний на усталость резьбовых образцов

Материал, резьба М16х2	Усилие обкатки, кН	σ_m , МПа	σ_{R_a} , МПа	$\bar{\sigma}_{ост}$, МПа	$\bar{\psi}_\sigma$	$\Delta\sigma_{Ra}^{on}$, МПа	$\Delta\sigma_{Ra}^{pac}$, МПа
40Х	0	93	93	0	0	0	0
	10,75	131	131	-341	0,11	38	37

При вычислении приращений предела выносливости за счёт упрочнения коэффициент влияния принимался $\bar{\psi}_\sigma = 0,11$. Предельная амплитуда цикла напряжений деталей из стали 40Х за счёт упрочнения, предшествующего нарезанию резьбы, увеличилась на 41%. Таким образом, ОППД является эффективным способом повышения сопротивления усталости резьбовых деталей, причём во впадинах резьбы при таком упрочнении практически отсутствует наклёп.

Следует отметить, что упрочнение без наклёпа дна впадин резьбы имеет преимущество для деталей, работающих при повышенных температурах, так как наклёп в опасном сечении детали в этом случае снижает сопротивление усталости.

Список литературы

1. Иванов С.И., Филатов А.П. Остаточные напряжения и сопротивление усталости деталей с резьбой, нарезанной по предварительно упрочнённой поверхности / Вестник машиностроения. 1989. №1.

2. Сазанов В.П., Кирпичёв В.А., Вакулюк В.С., Павлов В.Ф. Определение первоначальных деформаций в упрочнённом слое цилиндрической детали методом конечно-элементного моделирования с использованием расчётного комплекса PATRAN/NASTRAN // Вестник УГАТУ. 2015. Т. 19. №2 (68). С. 35-40.

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

Сазанов Вячеслав Петрович, канд. техн. наук, доцент кафедры сопротивления материалов. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Вакулюк Владимир Степанович, д-р техн. наук, профессор кафедры сопротивления материалов. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Письмаров Андрей Викторович, аспирант. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Пилипив Олег Михайлович, аспирант. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Полетаев Илья Сергеевич, студент. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

ON THE INFLUENCE OF ADVANCED SURFACE PLASTIC DEFORMATION ON THE RESISTANCE OF FATIGUE OF THREADED PARTS

Sazanov V. P., Vakuljuk V.S., Pismarov A.V., Pilipiv O.M., Poletaev I.S.
Samara National Research University, Samara, Russia, sopromat@ssau.ru

Keywords: residual stresses, surface hardening, rolling with a roller, stress limit

A study was carried out by calculation and experimental methods of the influence of advanced surface plastic deformation (ASPD) on the fatigue resistance of parts with M16x2 thread made of 40Cr steel. Before threading, the surfaces of smooth workpieces were hardened by rolling with rollers. The prediction of the fatigue limits was carried out using the criterion of mean integral stresses, which showed a sufficiently high convergence with the results of fatigue tests.