

УДК 621.787:4

ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТИ РЕЗЬБОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОСЛЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБКАТКИ РОЛИКОМ

Сазанов В.П., Письмаров А.В., Злобин А.С., Михалкина С.А., Пилипив О.М.

Самарский университет, г. Самара, Россия, sopromat@ssau.ru

Ключевые слова: опережающее поверхностное пластическое деформирование, концентратор напряжений, остаточные напряжения, обкатка роликом, первоначальные деформации, предел выносливости.

В данном исследовании рассматривается вопрос влияния остаточных напряжений на сопротивление усталости детали с резьбой, нарезанной после обкатки роликом, то есть после опережающего поверхностного пластического деформирования (ОППД). После обкатки в поверхностном слое гладкой заготовки возникают сжимающие остаточные напряжения, приводящие к увеличению сопротивления усталости, особенно существенному деталей с концентраторами напряжений. В случае, когда толщина срезаемого слоя превышает глубину наклёпа от ОППД, на дне концентратора возникают сжимающие остаточные напряжения в ненаклёпанном материале. В этом случае сжимающие остаточные напряжения в области концентратора образуются за счёт перераспределения остаточных усилий поверхностного слоя гладкой упрочнённой поверхности детали. Необходимо отметить, что способ ОППД наиболее эффективен, когда непосредственное упрочнение концентратора затруднено.

Влияние ОППД на примере обкатки роликом было изучено на партиях деталей с метрической резьбой М16х2, изготовленных из стали 30ХГСА. При этом половина заготовок диаметром 16 мм обкатывалась на приспособлении с тремя роликами диаметром 50 мм и с профильным радиусом 13 мм при частоте вращения 400 об/мин и подаче 0,43 мм/об. Усилие обкатки составляло 4,3 кН, 6,45 кН, 8,6 кН и 10,75 кН. Затем на упрочнённых и неупрочнённых образцах нарезалась резьба М16х2.

Остаточные напряжения в поверхностном слое гладких упрочнённых образцов определялись методом колец и полосок [1]. Для этого образцы диаметром 16 мм предварительно растачивались до толщины стенки 2 мм. Дополнительные остаточные напряжения определялись по методике работы [2] с помощью тензорезисторов. Остаточные напряжения сплошных образцов определялись как разность напряжений, вычисленных по результатам исследований колец и полосок и дополнительных остаточных напряжений за счёт расточки.

Для прогнозирования сопротивления усталости и выбора оптимальных параметров ОППД необходимо знать остаточные напряжения в местах концентрации напряжений после изготовления резьбы. Решение задачи по определению распределений остаточных напряжений по глубине опасного сечения впадины резьбы выполнялось двумя способами: аналитическим по методике работы [2] и методом конечно-элементного моделирования [3].

Для определения распределений остаточных напряжений по толщине опасного сечения впадины резьбы методом конечно-элементного моделирования были проведены расчёты с использованием комплекса PATRAN/ NASTRAN. Моделирование остаточных напряжений в упрочнённом слое выполнено методом термоупругости по первоначальным деформациям [3,4], которые определялись на моделях гладких образцов сплошного сечения диаметром 16 мм.

В качестве исходных данных использованы распределения осевых σ_z остаточных напряжений по толщине a упрочнённого поверхностного слоя гладких образцов. Как показали результаты расчётов, распределение осевых остаточных напряжений σ_z по толщине a поверхностного слоя наименьшего сечения впадин резьбы для всех рассмотренных вариантов состояния упрочнённой поверхности практически совпадает с аналогичным решением для внутренних витков, примерно начиная с четвёртого витка, если считать от гладкой части детали (рис. 1).

Для определения приращения предела выносливости деталей после ОППД по сравнению с неупрочнёнными расчётным методом был использован критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ [2], вычисленный по толщине поверхностного слоя опасного сечения детали, равной критической глубине $t_{кр}$ нераспространяющейся трещины усталости.

На конечном этапе экспериментального исследования детали с резьбой подвергались испытаниям на усталость при изгибе в случае симметричного цикла на базе испытаний $3 \cdot 10^6$ циклов. Результаты испытаний в части приращений пределов выносливости резьбовых деталей после ОППД по сравнению с неупрочнёнными деталями показали достаточно высокую сходимость с расчётными значениями с использованием критерия среднеинтегральных остаточных напряжений. Все разрушения при испытаниях происходили в одном из внутренних витков резьбы по наименьшему сечению впадины. Это результат очевидно связан с тем, что на первых витках резьбы уровень сжимающих остаточных напряжений значительно выше, чем на внутренних витках (рис. 1).

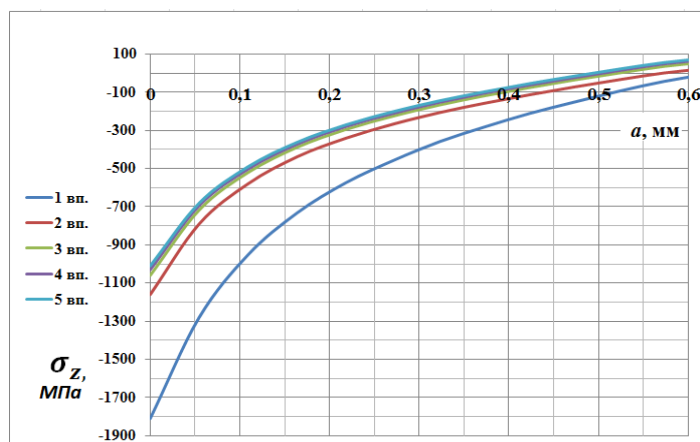


Рис. 1. Осевые остаточные напряжения σ_z в наименьших сечениях впадин резьбы М16х2 после опережающей обкатки роликами с усилием 10,75 кН

Таким образом, ОППД является весьма 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. Расчётные значения приращений предела выносливости достаточно близки к их опытным значениям, что указывает на возможность расчета предела выносливости резьбовых деталей, изготовленных с использованием опережающего пластического деформирования, без проведения испытаний на усталость.

Список литературы

1. Иванов, С.И. К определению остаточных напряжений в цилиндре методом колец и полосок / С.И. Иванов // Остаточные напряжения. – Куйбышев: КуАИ, 1971. – Вып. 53. – С. 32-42.
2. Павлов, В.Ф. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям / В.Ф. Павлов, В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулюк. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012. – 125 с.
3. Сазанов, В.П. Определение первоначальных деформаций в упрочнённом слое цилиндрической детали методом конечно-элементного моделирования с использованием расчётного комплекса PATRAN/NASTRAN / В.П. Сазанов В.П., В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулюк, В.Ф. Павлов // Вестник УГАТУ. – 2015. – Т. 19. – №2(68). – С. 35-40.
4. Сазанов, В.П. Математическое моделирование первоначальных деформаций в поверхностно упрочнённых деталях при выборе образца-свидетеля / В.П. Сазанов, О.Ю. Семёнова, В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулюк // Вестник УГАТУ. – 2016. – Т. 20. №3(73). – С. 31-37.

Сведения об авторах

Сазанов Вячеслав Петрович, к.т.н., доцент. Область научных интересов: исследования в области механики остаточных напряжений.

Письмаров Андрей Викторович, аспирант. Область научных интересов: исследования в области механики остаточных напряжений.

Злобин Андрей Сергеевич, аспирант. Область научных интересов: исследования в области механики остаточных напряжений.

Михалкина Светлана Алексеевна, старший преподаватель. Область научных интересов: исследования в области механики остаточных напряжений.

Пилипив Олег Михайлович, аспирант. Область научных интересов: исследования в области механики остаточных напряжений.

A RESIDUAL STRESSES INFLUENCE ON A FATIGUE RESISTANCE OF THREADED PARTS AFTER ADVANCE ROLLER STRENGTHENING

Sazanov V.P., Pis'marov A.V., Zlobin A.S., Mihalkina S.A., Pilipiv O.M.

Samara University, Samara, Russia, sopromat@ssau.ru

Key words: outstripping superficial plastic deforming, stress concentrator, residual stresses, roller strengthening, initial deformations, endurance limit.

An influence of outstripping superficial plastic deforming by roller strengthening on an endurance limit of parts with the thread M16x2 made of steel 30XГСА has been examined. The study has been carried out by calculation-experimental method with use the results of residual stresses mechanical determination on specimens cut from smooth intermediate products and modeling on finite elements models of threaded parts. The main conclusions are made by results of threaded parts fatigue tests under bending in case of the symmetric cycle.