

Кирпичёв В.А., Лунин В.В., Сазанов В.В., Шляпников П.А., Нагиев А.В.

### ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБКАТКИ РОЛИКОМ НА ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ ДЕТАЛЕЙ С МЕТРИЧЕСКОЙ РЕЗЬБОЙ

Влияние опережающего поверхностного пластического деформирования (ОПД) в виде обкатки роликом было изучено на партиях деталей с метрической резьбой размером М16х2, изготовленных из сталей 40Х и 30ХГСА. При этом половина заготовок диаметром 16 мм из каждого сортамента стали подвергалась обкатыванию на трёхроликовом приспособлении с 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 10,75 кН. Затем на упрочнённых и неупрочнённых образцах нарезалась резьба М16х2. Образцы из стали 30ХГСА без гайки испытывались при симметричном цикле по схеме чистого изгиба, из стали 40Х с гайкой – при отнулевом положительном цикле в случае растяжения. База испытаний –  $3 \cdot 10^6$  циклов нагружения.

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 измерялись 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. Осевые остаточные напряжения гладких образцов из сталей 40Х и 30ХГСА приведены на рисунке 1. На графиках отсчёт оси  $y$  выполняется от поверхности к оси цилиндра. Из данных рисунка 1 следует, что при одном и том же усилии 10,75 кН обкатки роликом сжимающие остаточные напряжения в образцах из стали 40Х ниже, чем в образцах из стали 30ХГСА, что объясняется меньшими значениями предела текучести и предела прочности (таблица 1).

Таблица 1 – Механические характеристики материалов образцов

Марка материала	$\sigma_s$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ ,%	$\psi$ ,%
30ХГСА	1040	940	11	46
40Х	750	440	18	61

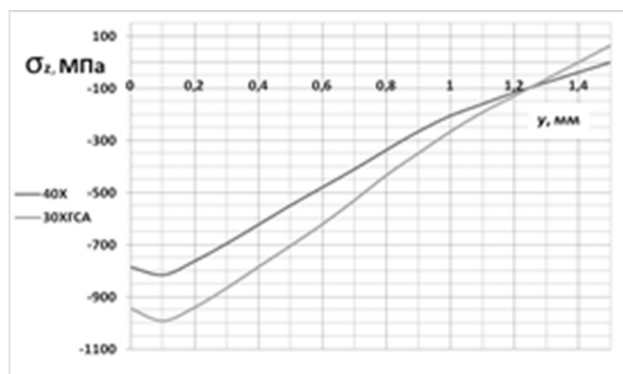


Рисунок 1 – Осевые остаточные напряжения по толщине упрочнённого слоя в гладких деталях после обкатки роликом

Для моделирования остаточного напряжённо-деформированного состояния был использован расчётный комплекс PATRAN/NASTRAN. Моделирование выполнялось методом термоупругости, при котором распределение остаточных напряжений по толщине упрочнённого слоя заменяется соответствующим температурным полем [3,4]. На конечно-элементных моделях гладких деталей из материалов 40X и 30XГСА были определены распределения первоначальных деформаций по толщине упрочнённого слоя, которые обеспечивают соответствующие им экспериментальные зависимости остаточных напряжений (рисунок 1). Данное определение было выполнено методом последовательных приближений за пять пошаговых расчётов.

Первоначальные деформации в виде соответствующих им температурных полей по толщине упрочнённого слоя принимались из результатов их определения на моделях гладких образцов.

Результаты расчёта распределений осевых остаточных напряжений по глубине наименьшего (опасного) поперечного сечения пяти впадин резьбы в виде графиков для деталей из сталей 40X и 30XГСА приведены на рисунке 2. Нумерация впадин выполнена от гладкой части в сторону резьбовой.

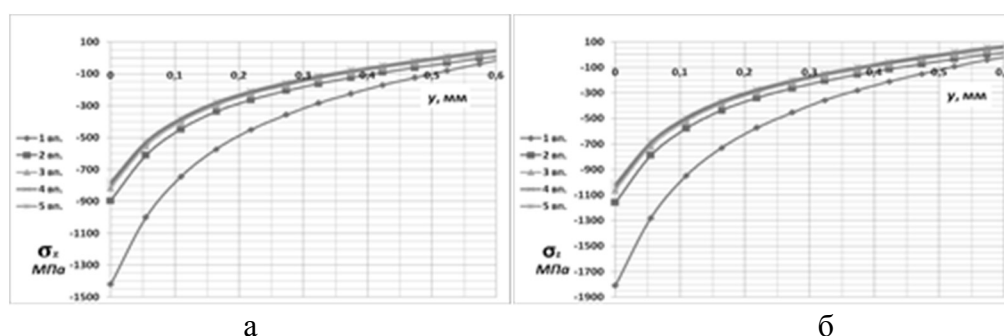


Рисунок 2 – Осевые  $\sigma_z$  остаточные напряжения в наименьших сечениях впадин резьбы для деталей из стали 40X (а) и стали 30XГСА (б)

Прогнозирование влияния обкатки роликом на приращение предела выносливости деталей с резьбой  $\Delta\sigma_{Ra}$  с использованием критерия среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{ocm}$  [5] проводилось по следующей зависимости:

$$\Delta\sigma_{Ra} = \bar{\psi}_{\sigma} |\bar{\sigma}_{ocm}|, \quad (1)$$

где  $\bar{\psi}_{\sigma}$  – коэффициент влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости по критерию  $\bar{\sigma}_{ocm}$ .

Значения критерия среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{ocm}$  вычислялись по толщине слоя наименьшего (опасного) сечения впадины, равной критической глубине  $t_{кр}$  нераспространяющейся трещины усталости [5]. Критическая глубина  $t_{кр}$  нераспространяющейся трещины усталости определялась по зависимости, установленной на основании многочисленных экспериментов в работах [5, 6]:

$$t_{кр} = 0,0216D, \quad (2)$$

где  $D$  – диаметр опасного сечения детали с концентратором напряжений.

В таблице 2 представлены средние значения напряжений  $\sigma_m$  при испытаниях на усталость образцов, предельные амплитуды циклов  $\sigma_{Ra}$ , значения среднеинтегральных остаточных напряжений  $\bar{\sigma}_{ocm}$ , опытные и расчётные значения приращений  $\Delta\sigma_{Ra}^{on}$ ,  $\Delta\sigma_{Ra}^{pac}$ .

Таблица 2 – Результаты испытаний на усталость резьбовых деталей

Материал	Усилие обкатки, кН	$\sigma_m$ , МПа	$\sigma_{Ra}$ , МПа	$\bar{\sigma}_{ocm}$ , МПа	$\bar{\psi}_{\sigma}$	$\Delta\sigma_{Ra}^{on}$ , МПа	$\Delta\sigma_{Ra}^{pac}$ , МПа
30ХГСА	0	0	284	0	-	0	0
	10,75	0	409	-362	0,36	125	130
40Х	0	93	93	0	-	0	0
	10,75	131	131	-341	0,11	38	37

При вычислении приращения предельной амплитуды  $\Delta\sigma_{Ra}^{pac}$  цикла напряжений для деталей без гайки из стали 30ХГСА коэффициент влияния  $\bar{\psi}_{\sigma}$  принимался равным 0,36, а для деталей с гайкой из стали 40Х – равным 0,11 [5]. Приращение предельной амплитуды деталей за счёт упрочнения из стали 30ХГСА составило 44%, из стали 40Х – 41%.

Таким образом, ОППД является эффективным способом повышения сопротивления усталости резьбовых деталей, причём во впадинах резьбы при таком упрочнении практически отсутствует наклёп.

## Выводы

1. Близкие значения приращений предельной амплитуды цикла напряжений подтверждают возможность замены растяжения на изгиб при проведении испытаний на усталость [7].

2. Расчётные значения приращений предельных амплитуд достаточно близки к их опытным значениям, что указывает на возможность расчёта предела выносливости резьбовых деталей, изготовленных методом опережающего поверхностного пластического деформирования, без проведения испытаний на усталость.

## Библиографический список

1. Иванов, С.И. К определению остаточных напряжений в цилиндре методом колец и полосок [Текст] / С.И. Иванов // Остаточные напряжения. – Куйбышев: КуАИ. – 1971. – Вып. 48. – С. 179-183.

2. Биргер, И.А. Остаточные напряжения [Текст] / И.А. Биргер. – М.: Машгиз, 1963. – 232 с.

3. Сазанов, В.П. Моделирование перераспределения остаточных напряжений в упрочнённых цилиндрических образцах при опережающем поверхностном пластическом деформировании [Текст] / В.П. Сазанов, А.В. Чирков, В.А. Самойлов, Ю.С. Ларионова // Вестник СГАУ. – 2011. – №3(27). Ч. 3. – С. 171-174.

4. Павлов, В.Ф. Расчёт остаточных напряжений в деталях с концентраторами напряжений по первоначальным деформациям [Текст] / В.Ф. Павлов, А.К. Столяров, В.С. Вакулук, В.А. Кирпичёв. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2008. – 124 с.

5. Павлов, В.Ф. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям [Текст] / В.Ф. Павлов, В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулук. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012. – 125 с.

6. Павлов, В.Ф. Влияние на предел выносливости величины и распределения остаточных напряжений в поверхностном слое детали с концентратором. Сообщение I. Сплошные детали [Текст] / В.Ф. Павлов // Известия вузов. Машиностроение. – 1988. – №8. – С. 22-26.

7. Кудрявцев, И.В. Повышение сопротивления усталости резьбовых деталей [Текст] / И.В. Кудрявцев, В.Н. Чижик // Вестник машиностроения. – 1963. – №1. – С. 51–55.