

ВЛИЯНИЕ ОБКАТКИ РОЛИКОМ НА ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ ОБРАЗЦОВ С НАПРЕССОВАННОЙ ВТУЛКОЙ

Павлов В. Ф., Денискина Е. А., Михалкина С. А., Богданова И. В., Матвеев П. А.
Самарский университет, г. Самара, pavlov.vf@ssau.ru

Ключевые слова: упрочнение роликом, напрессованная втулка, предел выносливости, остаточные напряжения

В исследовании изучалось влияние сжимающих остаточных напряжений на предел выносливости обкатанных роликом цилиндрических образцов диаметром 25 мм из сталей 20 и 40Х с напрессованной втулкой. Влияние поверхностного упрочнения на предел выносливости образцов при изгибе σ_{-1} в случае симметричного цикла оценивалось по двум критериям: по критерию осевых остаточных напряжений σ_z^{nos} [1-3] на поверхности образцов и по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ocm}$ [4]

Сжимающие остаточные напряжения в поверхностном слое образцов создавались обкаткой роликом (ОР) диаметром 60 мм с профильным радиусом 1,6 мм при усилиях $P = 0,5$ кН и $P = 1,0$ кН. Распределение осевых σ_z остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя a определялось экспериментально методом колец и полосок [5] и представлено на рис. 1. Из данных рис. 1 видно, что при обкатке роликом на одних и тех же режимах ($P = 1,0$ кН) сжимающие остаточные напряжения в образцах из стали 40Х (эпюра 3) значительно выше как по величине, так и по глубине залегания, чем в образцах из стали 20 (эпюра 2), то есть распределение остаточных напряжений в образцах из стали 40Х является более полным. Это различие в характере распределения остаточных напряжений существенно сказывается на сопротивлении усталости упрочнённых обкаткой роликом образцов из сталей 20 и 40Х.

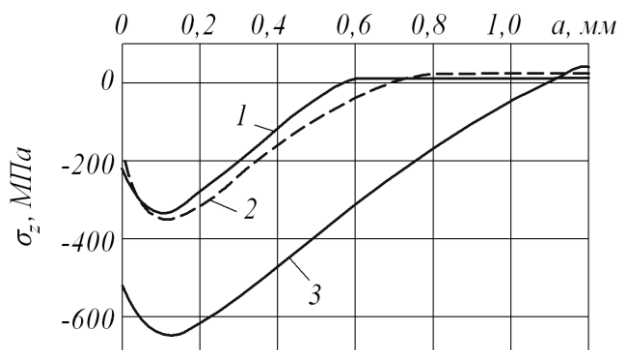


Рис. 1 – Осевые остаточные напряжения σ_z в упрочнённых обкаткой роликом образцах из стали 20 (1, 2) и стали 40Х (3) при $P = 0,5$ кН (1) и $P = 1,0$ кН (2, 3)

Испытания образцов с напрессованной втулкой на усталость при изгибе в случае симметричного цикла проводились на машине УММ-01, база испытаний – $3 \cdot 10^6$ циклов нагружения. Значения пределов выносливости образцов σ_{-1} представлены в табл. 1. Можно видеть, что приращение предела выносливости упрочнённых роликом при $P = 1,0$ кН образцов из стали 40Х почти в два раза выше, чем образцов из стали 20, что объясняется большей величиной сжимающих остаточных напряжений и более полным их распределением по толщине поверхностного слоя.

На примере образцов из стали 20, обкатанных роликом при $P = 0,5$ кН и $P = 1,0$ кН, можно проанализировать влияние характера распределения остаточных напряжений по толщине упрочнённого поверхностного слоя на предел выносливости. При практически одинаковых осевых остаточных напряжениях на поверхности образцов ($\sigma_z^{nos} = -220$ МПа и $\sigma_z^{nos} = -210$ МПа)

и наибольших напряжениях ($\sigma_z^{наиб} = -350$ МПа и $\sigma_z^{наиб} = -360$ МПа) бóльшая глубина залегания сжимающих остаточных напряжений при $P = 1,0$ кН ($a = 0,70$ мм), чем при $P = 0,5$ кН ($a = 0,52$ мм) приводит к бóльшему увеличению предела выносливости. Приращение предела выносливости поверхностно упрочнённых образцов при $P = 0,5$ кН составляет 50 МПа, а при $P = 1,0$ кН – 70 МПа, то есть на 40% выше. Этот результат указывает на то, что распределение сжимающих остаточных напряжений в поверхностно упрочнённых деталях должно быть наиболее полным по толщине поверхностного слоя, равной критической глубине $t_{кр}$ нераспространяющейся трещины усталости.

Для определения критической глубины $t_{кр}$ нераспространяющейся трещины усталости выстоявшие базу испытаний упрочнённые роликом образцы при напряжении, равном пределу выносливости, доводились до разрушения при бóльшем напряжении. На изломах этих образцов просматривались нераспространяющиеся усталостные трещины, средняя глубина которых приведена в табл. 1.

Табл. 1 – Результаты определения остаточных напряжений и испытаний на усталость образцов с напрессованной втулкой

Материал	Неупрочнённые образцы σ_{-1} , МПа	Упрочнённые образцы						
		обработка	σ_{-1} , МПа	$\sigma_z^{нов}$, МПа	ψ_σ	$t_{кр}$, мм	$\bar{\sigma}_{ост}$, МПа	$\bar{\psi}_\sigma$
сталь 20	100	ОР, $P=0,5$ кН	150	-220	0,227	0,535	-148	0,338
		ОР, $P=1,0$ кН	170	-210	0,333	0,540	-201	0,348
40X	162,5	ОР, $P=1,0$ кН	285	-520	0,235	0,523	-484	0,253

Критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ вычислялся по методике работы [4] с использованием распределения остаточных напряжений, приведённого на рис. 1, по толщине поверхностного слоя образцов, равной критической глубине $t_{кр}$ нераспространяющейся трещины усталости. Значения $\bar{\sigma}_{ост}$ приведены в табл. 1. Коэффициенты влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости по критериям $\sigma_z^{нов}$ и $\bar{\sigma}_{ост}$, соответственно, ψ_σ и $\bar{\psi}_\sigma$, также представлены в табл. 1.

Сравнивая значения коэффициента ψ_σ , учитывающего влияние поверхностного упрочнения по критерию $\sigma_z^{нов}$, для образцов из стали 20, можно видеть, что величина этого коэффициента для двух вариантов упрочнения различается на 47%, то есть весьма существенно. Такое различие коэффициента ψ_σ не позволяет с достаточной для практики точностью использовать критерий $\sigma_z^{нов}$ для оценки влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости детали. Анализируя значения коэффициента $\bar{\psi}_\sigma$, учитывающего влияние поверхностного упрочнения по критерию $\bar{\sigma}_{ост}$, можно видеть, что для упрочнённых роликом образцов из стали 40X этот коэффициент меньше, чем для образцов из стали 20. Это различие объясняется бóльшей чувствительностью стали 40X к концентрации напряжений по сравнению со сталью 20.

Таким образом, критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ может быть использован для прогнозирования предела выносливости поверхностно упрочнённых валов с напрессованной втулкой.

Список литературы

1. Кравченко Б.А., Митряев. К.Ф. Обработка и выносливость высокопрочных материалов – Куйбышев: Куйбышевское книжное издательство, 1968. 131 с.
2. Серенсен С.В., Борисов С.П., Бородин Н.А. К вопросу об оценке сопротивления усталости поверхностно упрочнённых образцов с учётом кинетики остаточной напряжённости / Проблемы прочности. 1969. №2. С. 3-7.
3. Туровский М.Л., Шифрин Н.М. Концентрация напряжений в поверхностном слое цементированной стали / Вестник машиностроения. 1970. №11. С. 37-40.
4. Павлов В.Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений / Известия вузов. Машиностроение. 1986. №8. С. 29-32.
5. Иванов С.И. К определению остаточных напряжений в цилиндре методом колец и полосок / Остаточные напряжения. Куйбышев: КуАИ, 1971. Вып. 53. С. 32-42.

Сведения об авторах

Павлов Валентин Фёдорович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой сопротивления материалов. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Денискина Екатерина Александровна, канд. техн. наук, доцент. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Михалкина Светлана Алексеевна, старший преподаватель. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Богданова Ирина Вячеславовна, аспирант. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Матвеев Павел Андреевич, студент. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

THE INFLUENCE OF ROLLER HARDENING ON THE ENDURANCE LIMIT OF SPECIMENS WITH PRESSURIZED HUB

Pavlov V. F., Deniskina E. A., Mihalkina S. A., Bogdanova I. V., Matveev P. A.
Samara National Research University, Samara, Russia, pavlov.vf@ssau.ru

Keywords: roller hardening, pressurized hub, endurance limit, residual stresses

The influence of roller hardening on an endurance limit of specimens of 25 mm diameter made of steels 20 and 40X with a pressurized hub has been examined. It's been stated that the average integral residual stresses criterion calculated through a surface layer thickness equal the critical depth of a non-propagating fatigue crack can be used for an endurance limit prediction of the specimens.