

– исследования, проведённые на гладких и корсетных образцах, показали, что критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ можно использовать и для прогнозирования предела выносливости поверхностно упрочнённых гладких деталей, но лишь в том случае, когда сжимающие остаточные напряжения не изменяются под действием переменных нагрузок;

– критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ может быть использован и в случае работы детали при повышенной температуре, но при этом в расчёт необходимо брать остаточные напряжения детали в конце её ресурса, то есть с учётом релаксации;

– для исследованных видов поверхностного упрочнения (гидро- и пневмодробеструйная обработка, обкатка роликом, алмазное выглаживание, обработка микрошариками, азотирование, цементация, борирование), различных материалов (стали, сплавы на основе никеля, титана, алюминия), степеней равномерного и неравномерного наклёпа, величины (-29 – -2200 МПа) и характера распределения остаточных напряжений, типа

и размеров концентраторов, поперечных размеров деталей критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ хорошо отражает связь между остаточными напряжениями и приращением предела выносливости.

Библиографический список

1. Павлов В. Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений. / Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – №8. – С. 29-32.

2. Иванов С. И., Шатунов М. П., Павлов В. Ф. Влияние остаточных напряжений на выносливость образцов с надрезом / Вопросы прочности элементов авиационных конструкций. Куйбышев: КуАИ. – 1974. – Вып.1. – С. 88-95.

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.

УДК 621.787:539.319

ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ АЗОТИРОВАННОГО СЛОЯ НА ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ ПЛОСКИХ ОБРАЗЦОВ ИЗ СТАЛИ 30ХГСА

©2018 В.П. Сазанов, Д.С. Мокшин, А.П. Филатов, В.Э. Костичев

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

THE INFLUENCE OF THE NITRIDIED LAYER DEPTH ON THE ENDURANCE LIMIT OF PLATE SPECIMENS MADE OF STEEL 30ХГСА

Sazanov V.P., Mokshin D.S., Filatov A.P., Kostichev V.Je. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

The influence of the nitridied layer depth on the endurance limit of plate specimens made of steel 30ХГСА has been studied. It's been stated that the optimal depth of the nitridied layer for specimens of the 3 mm thickness is 0,10-0,12 mm.

В работе проведено исследование влияния глубины азотированного слоя на предел выносливости и остаточные напряжения плоских образцов толщиной 3 мм из стали 30ХГСА в состоянии поставки ($\sigma_{0,2} = 380$ МПа, $\sigma_g = 669$ МПа, $\delta = 15,6\%$,

$\psi = 20,2\%$). Азотирование образцов на глубину 0,05-0,25 мм для определения остаточных напряжений и испытаний на усталость проводилось в заводских условиях по вариантам, представленным в табл. 1.

Таблица 1 – Варианты азотирования образцов

Вариант	Глубина азотированного слоя, мм	σ_{-1} , МПа	$\Delta\sigma_{-1}$, МПа	$\bar{\sigma}_{ост}$, МПа	$\bar{\psi}_{\sigma}$
1	исходное состояние	247	-	-	-
2	0,05	330	83	-146	0,568
3	0,10	471	224	-405	0,553
4	0,12	468	221	-418	0,529
5	0,20	404	157	-278	0,565
6	0,25	388	141	-261	0,540

Испытания образцов на усталость при изгибе в случае симметричного цикла проводились на вибростенде LT-2016/DSA10-200KVA, база испытаний – $3 \cdot 10^6$ циклов нагружения. Значения предела выносливости σ_{-1} приведены табл. 1. Из приведённых в таблице данных видно, что наибольший предел выносливости образцов наблюдается при глубине азотирования 0,10-0,12 мм.

Осевые остаточные напряжения σ_z определялись по методикам, изложенным в работах [1, 2]. Эпюры остаточных напряжений по толщине a поверхностного слоя образцов представлены на рис. 1, из которых следует, что наиболее полное распределение остаточных напряжений в поверхностном слое наблюдается при азотировании на глубину 0,1-0,12 мм.

Влияние остаточных напряжений на приращение предела выносливости $\Delta\sigma_{-1}$ образцов за счёт азотирования оценивалось по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ [3] по формуле

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

где $\bar{\psi}_{\sigma}$ – коэффициент влияния остаточных напряжений на предел выносливости при изгибе по критерию $\bar{\sigma}_{ост}$.

Среднеинтегральные остаточные напряжения вычислялись по толщине поверхностного слоя, равной критической глубине нераспространяющейся трещины усталости, которая для плоских образцов толщиной 3 мм составляет 0,065 мм [4]. Значения приращения предела выносливости $\Delta\sigma_{-1}$, критерия $\bar{\sigma}_{ост}$ и коэффициента $\bar{\psi}_{\sigma}$ представлены в табл. 1. Среднее значение коэффициента $\bar{\psi}_{\sigma}$ составляет величину

0,551, что незначительно отличается от величины $\bar{\psi}_{\sigma} = 0,531$, определённой по зависимости работы [4] для гладких упрочнённых деталей.

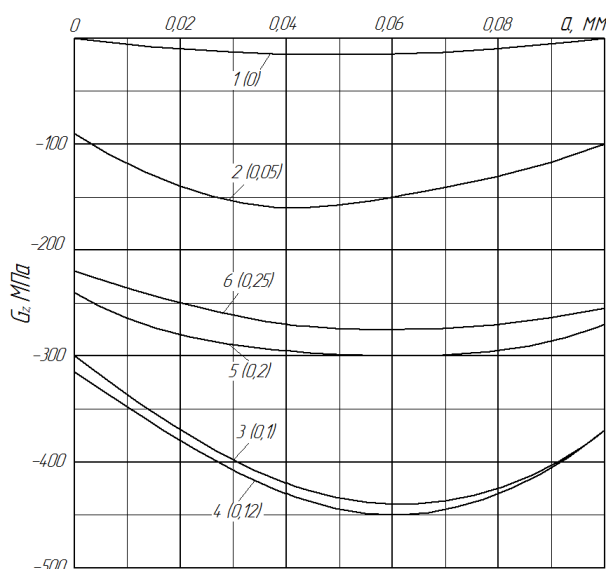


Рис.1. Осевые остаточные напряжения σ_z в плоских образцах из стали 30ХГСА при различной глубине азотированного слоя; номера эпюр соответствуют вариантам табл. 1

Выводы

1. С целью получения наибольшего эффекта по многоциклового усталости для плоских образцов толщиной 3 мм из стали 30ХГСА азотирование следует проводить на глубину 0,10-0,12 мм. Азотирование на большую глубину приводит к снижению предела выносливости.

2. Критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ достаточно хорошо отражает влияние азотирования на предел выносливости при изгибе плоских образцов из стали 30ХГСА.

3. Для маложёстких деталей толщина азотированного слоя должна назначаться в зависимости от их геометрических параметров, так как необоснованное увеличение толщины слоя может привести к значительному снижению сопротивления усталости.

Библиографический список

1. Биргер И.А. Остаточные напряжения/ М.: Машгиз, 1963. – 232 с.
2. Иванов С. И. Определение остаточных напряжений в пластинках методом полосок /

Вопросы прочности элементов авиационных конструкций. Куйбышев: КуАИ. – 1971. – Вып.48. – С. 139-152.

3. Павлов В.Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений. / Известия вузов. Машиностроение. – 1986. – №8. – С. 29-32.

4. 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.

УДК 621.787:539.319

ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ ПОВЕРХНОСТНО УПРОЧНЁННЫХ ДЕТАЛЕЙ ОТ ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

©2018 В.Ф. Павлов, Ю.Н. Петрова, С.А. Михалкина, Ю.А. Катанаева

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

THE ENDURANCE LIMIT OF HARDENED PARTS DEPENDENCE ON THE CHARACTER OF RESIDUAL STRESSES DISTRIBUTION

Pavlov V.F., Petrova Yu.N., Mihalkina S.A., Katanaeva Yu.A. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

The endurance limit of hardened part increment is defined by the completeness of compressive residual stresses diagram through the surface layer thickness equal the critical depth of a non-propagating fatigue crack.

В исследовании изучалось влияние характера распределения сжимающих остаточных напряжений, наведённых в поверхностном слое азотированием на предел выносливости гладких образцов и образцов с концентраторами напряжений.

Оценка влияния сжимающих остаточных напряжений на приращение предела выносливости образцов при изгибе в случае симметричного цикла $\Delta\sigma_{-1}$ проводилась по двум критериям. Во-первых, по критерию остаточных напряжений на поверхности опасного сечения образцов $\sigma_z^{нов}$ по зависимости

$$\Delta\sigma_{-1} = \psi_\sigma \cdot |\sigma_z^{нов}|, \quad (1)$$

где ψ_σ – коэффициент влияния упрочнения на предел выносливости по критерию $\sigma_z^{нов}$.

Во-вторых, по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{осм}$ [1] по формуле

$$\Delta\sigma_{-1} = \bar{\psi}_\sigma \cdot |\bar{\sigma}_{осм}|, \quad (2)$$

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

Цилиндрические образцы с V-образным надрезом при наименьшем диаметре 7,5 мм из сталей ВНС40 и 38Х2МЮА подвергались азотированию. Меридиональные σ_ϕ (осевые σ_z – в наименьшем сечении) остаточные напряжения определялись по методике, изложенной в работе [2], и по толщине поверхностного слоя a наименьшего сечения образцов приведены на рис. 1.

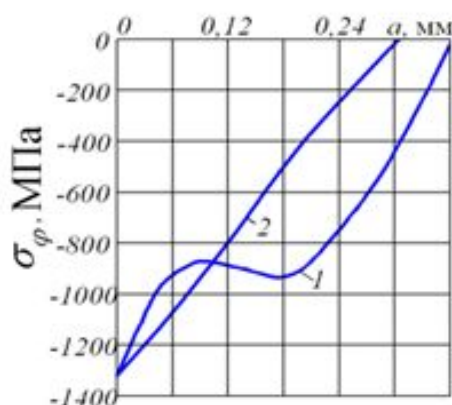


Рис. 1. Остаточные напряжения в образцах с надрезами из сталей ВНС40 (1) и 38Х2МЮА (2)

Из приведённых на рис. 1 данных видно, что после азотирования сжимающие ос-