

осном растяжении цилиндрического образца;

(в) – диаграмма нагружения ЭК79.

Работы внутренних сил W_{**} и W_n определяются площадями (см. рис. 2,в) в полосе под статической диаграммой $\sigma - \delta$ и $\sigma_{0,2}$ по конечным деформациям частицы после пересечения пластической области.

Рассеиваемая работа внутренних сил при выглаживании вызывает повреждение, и снижает способность материала упрочняться. Согласно (2) это приводит к уменьшению величины W_{**} на величину W_n , что соответствует уменьшению ресурса упрочнения материала. В рассмотренном примере угол клина принят равным 89° и отношение площадей $\frac{W_{**}}{W_n} \approx 5,6$.

УДК 621.787:539.319

ВЛИЯНИЕ АЗОТИРОВАНИЯ НА ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ ОБРАЗЦОВ С НАДРЕЗАМИ ИЗ СТАЛИ 38Х2МЮА

© 2012 В.С. Вакулюк, А.В. Чирков, А.С. Букатый, О.В. Каранаева, П.А. Шляпников

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет), Самара,

NITRIDING INFLUENCE ON RESIDUAL STRESSES AND LIMIT OF ENDURANCE OF SPECIMENS WITH NOTCHES MADE OF 38X2MЮA STEEL

© 2012 V.S. Vakuljuk, A.V. Chirkov, A.S. Bukaty, O.V. Karanaeva, P.A. Shlyapnikov

The residual stresses after nitriding in specimens with notch made of 38X2MЮA steel are studied. It is established that for evaluation of limit of endurance increment at bending of such specimens the average residual stresses criterion can be used.

С целью изучения влияния азотирования на остаточные напряжения и предел выносливости деталей из стали 38Х2МЮА были проведены эксперименты на гладких образцах диаметром 5 мм и на образцах с глубокими надрезами V-образного профиля (рис. 1) двух радиусов $R = 0,5$ мм и $R = 2,5$ мм.

Одна половина образцов подвергалась азотированию в течение 6 часов (А1), другая – 8 часов (А2). Определение осевых σ_z остаточных напряжений проводилось методом удаления части поверхности на гладких цилиндрических образцах и

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Feltner, С.Е., Microplastic strain hysteresis energy as a criterion for fatigue fracture / С.Е. Feltner, J.D. Morrow. – Trans. ASME, 1961. – 83, №1. – P. 15-22.
2. Martin, D.E. An energy criterion for low-cycle fatigue / D.E. Martin // J. Basic Eng., Trans. ASME. – 1961. – P. 565-571.
3. Хромов, А.И. Концентраторы деформаций / А.И. Хромов, А.А. Буханько, С.Л. Степанов // Доклады Академии наук. – 2006. – Т. 407, № 6. – С. 777-781.
- Буханько, А. А. Адиабатическое распределение диссипации энергии в окрестности центра веера характеристик / А.А. Буханько, Е.П. Кочеров, В.А. Самойлов // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. физ.-мат. науки, 2009. – № 2(19). – С. 252-256.

меридиональных σ_φ (осевых σ_z – в наименьшем сечении) на образцах с надрезами (рис.2).

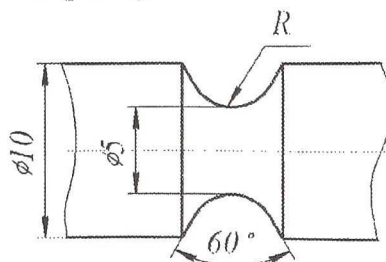


Рис. 1. Образец с надрезом радиуса R

В гладких образцах максимальная величина сжимающих остаточных напряжений на поверхности составляет -600 МПа, а глубина залегания – $a = 0,30$ мм (A1) и $a = 0,34$ мм (A2). На глубине $a = 0,15-0,16$ мм наблюдается подповерхностный максимум сжимающих остаточных напряжений. В образцах с V-образным надрезом радиуса $R = 2,5$ мм наибольшие сжимающие остаточные напряжения действуют на поверхности надреза, незначительно превышая значения напряжений гладких

обусловлено значительно большей концентрацией напряжений при $R = 0,5$ мм, чем при $R = 2,5$ мм.

Влияние азотирования на предел выносливости при изгибе σ_{-1} в случае симметричного цикла было изучено на образцах с надрезами радиуса $R = 0,5$ мм и $R = 2,5$ мм. Испытания на усталость при температуре 20°C проводились на машине МУИ-6000, база испытаний – $3 \cdot 10^6$ циклов нагружения. Значения пределов выносливости образцов σ_{-1} представлены в табл. 1.

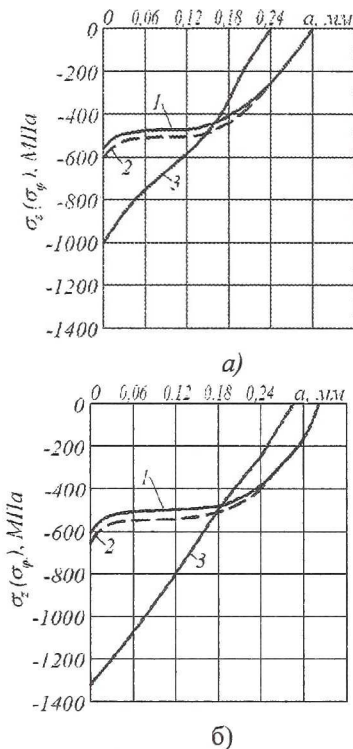


Рис. 2. Распределение остаточных напряжений в гладких образцах (1), образцах с надрезами $R = 2,5$ мм (2) и $R = 0,5$ мм (3) после азотирования:

а – выдержка 6 часов (A1), б – выдержка 8 часов (A2)

образцов, что является следствием небольшой концентрации напряжений при $R = 2,5$ мм. Начиная с глубины $a = 0,18$ мм различия в распределении остаточных напряжений гладких образцов и образцов с надрезом радиуса $R = 2,5$ мм практически нет. В образцах с V-образным надрезом радиуса $R = 0,5$ мм наибольшие сжимающие остаточные напряжения значительно выше, чем в гладких образцах и в образцах с надрезом радиуса $R = 2,5$ мм, достигая величины -990 МПа (A1) и -1310 МПа (A2), что

Таблица 1

R , мм	K_σ	Режимы азотирования	σ_{-1} , МПа	$\bar{\sigma}_{ост}$, МПа	$\bar{\psi}_\sigma$
0,5	2,1	исх. сост.	165	–	–
		A1	405	-694	0,346
		A2	529	-1043	0,349
2,5	1,2	исх. сост.	495	–	–
		A1	733	-523	0,455
		A2	738	-564	0,431

Оценка влияния азотирования на приращение предела выносливости $\Delta\sigma_{-1}$ проводилась по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ [1]

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

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

$$\bar{\sigma}_{ост} = \frac{2}{\pi} \int_0^1 \frac{\sigma_z(\xi)}{\sqrt{1-\xi^2}} d\xi;$$

$\sigma_z(\xi)$ – осевые остаточные напряжения в наименьшем сечении образца по толщине поверхностного слоя a ; $\xi = a/t_{кр}$ – расстояние от поверхности надреза до текущего слоя, выраженное в долях $t_{кр}$; $t_{кр}$ – критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости, возникающей при работе образца на пределе выносливости.

Результаты расчёта критерия $\bar{\sigma}_{ост}$ и коэффициента влияния остаточных напряжений на предел выносливости $\bar{\psi}_\sigma$ представлены в табл. 1.

Анализируя значения коэффициента $\bar{\psi}_\sigma$, учитывающего влияние азотирования на усталость по критерию $\bar{\sigma}_{ост}$, можно видеть, что для образцов с надрезом $R = 0,5$ мм этот коэффициент меньше, чем для образцов с надрезом $R = 2,5$ мм. Это различие объясняется большей степенью концентрации напряжений для образцов с меньшим радиусом, что подробно изучено в исследовании [2]. В табл.1 приведены значения эффективного коэффициента концентрации напряжений K_σ для образцов с надрезами из стали 38Х2МЮА. В исследовании [2] на основании обработки большого количества экспериментов была установлена зависимость между коэффициентом влияния $\bar{\psi}_\sigma$ и эффективным коэффициентом концентрации напряжений K_σ в виде

$$\bar{\psi}_\sigma = 0,514 - 0,065K_\sigma. \quad (1)$$

Значения коэффициента $\bar{\psi}_\sigma$, вычисленные по зависимости (1), составили: для образцов с надрезом $R = 0,5$ мм – 0,372, для образцов с надрезом $R = 2,5$ мм – 0,436, то есть различие между

экспериментальными и расчётными значениями $\bar{\psi}_\sigma$ не превышает 9%.

Таким образом, проведённое исследование показало, что критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ может быть использован для прогнозирования приращения предела выносливости азотированных цилиндрических деталей из стали 38Х2МЮА с концентраторами напряжений в виде надрезов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. Кирпичёв В.А., Филатов А.П., Каранаева О.В., Чирков А.В, Семёнова О.Ю. Прогнозирование предела выносливости поверхностно упрочнённых деталей при различной степени концентрации напряжений// Труды МНТК «Прочность материалов и элементов конструкций». – Киев: ИПП им. Г.С. Писаренко НАНУ, 2011. – С. 678-685.

УДК 621.787:539.319

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ГЛАДКОЙ ДЕТАЛИ НА ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ ПРИ ОПЕРЕЖАЮЩЕМ ПОВЕРХНОСТНОМ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

© 2012 В.С. Вакулук, А.П. Филатов, О.Ю. Семёнова, Е.А. Денискина, М.О. Перфильева

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет), Самара

RESIDUAL STRESS DISTRIBUTION CHARACTER INFLUENCE OF FLAT DETAIL ON LIMIT OF ENDURANCE DURING ADVANCED SURFACE PLASTIC FORMING

© 2012 V.S. Vakuljuk, A.P. Filatov, O.Yu. Semyonova, E.A. Deniskina, M.O. Perfilieva

It is experimentally established that during advanced surface plastic forming rising of thickness of flat treated layer of detail leads to rising of limit of endurance of detail with stress concentrator by rise of compressing residual stresses in the dangerous cross-section.

Изучалось влияние толщины упрочнённого поверхностного слоя при опережающем поверхностном

пластическом деформировании на предел выносливости образцов из стали 20 в условиях концентрации напряжений. Для