Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. А. Кирпичёв, М. Н. Саушкин, О. С. Афанасьева, В. А. Смыслов, Прогнозирование предела выносливости упрочнённых деталей при повышенной температуре, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2010, выпуск 1(), 218–221

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu789>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 54.224.187.69

26 апреля 2023 г., 03:41:08

Механика деформируемого твёрдого тела

УДК 539.319

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ УПРОЧНЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

**В. А. Кирпичёв¹, М. Н. Саушкин², О. С. Афанасьева²,
В. А. Смыслов²**

¹ Самарский государственный аэрокосмический университет им. ак. С. П. Королёва, 443086, Самара, Московское ш., 34.

² Самарский государственный технический университет, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244.

E-mails: sopromat@ssau.ru, msaushkin@gmail.com, afa@pm.samgtu.ru

Приводятся результаты испытаний на усталость и измерения остаточных напряжений поверхностно упрочнённых гладких образцов и образцов с надрезами. Установлено, что критерий среднеинтегральных остаточных напряжений можно использовать для прогнозирования предела выносливости таких образцов при повышенной температуре, используя при этом остаточные напряжения, оставшиеся в конце ресурса.

Ключевые слова: остаточные напряжения, усталость, предел выносливости, термоэкспозиция, эксперимент.

Для оценки влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости деталей в условиях концентрации напряжений в работе [1] был предложен критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{\text{ост}}$ в виде

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

где $\sigma_z(\xi)$ — осевые остаточные напряжения в наименьшем сечении детали с концентратором; $\xi = y/t_{\text{кр}}$ — расстояние от дна концентратора до текущего слоя, выраженное в долях критической глубины $t_{\text{кр}}$ нераспространяющейся трещины усталости.

Зависимость для определения приращения предела выносливости при изгибе $\Delta\sigma_{-1}$ упрочнённой детали с использованием критерия $\bar{\sigma}_{\text{ост}}$ имеет вид

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

где $\bar{\psi}_{\sigma}$ — коэффициент влияния остаточных напряжений на предел выносливости по разрушению.

В настоящем исследовании предпринята попытка использования этого критерия для прогнозирования предела выносливости упрочнённых образцов с концентраторами напряжений при повышенной температуре на примере стали ЭИ 961, а также сплавов В95 и Д16Т.

Виктор Алексеевич Кирпичёв (к.т.н., доцент), доцент, каф. сопротивления материалов. *Михаил Николаевич Саушкин* (к.ф.-м.н., доцент), докторант, каф. прикладной математики и информатики. *Ольга Сергеевна Афанасьева*, аспирант, каф. прикладной математики и информатики. *Виталий Андреевич Смыслов*, студент.

Гладкие образцы из стали ЭИ 961 диаметром 7,5 мм подвергались алмазному выглаживанию, а затем на них наносились надрезы полукруглого профиля радиуса 0,3 мм. Остаточные напряжения в гладких образцах определялись методом снятия части поверхности [2], в образцах с надрезом – по методике работы [3]. Эпюры осевых σ_z остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя a в гладких и надрезанных образцах приведены на рис. 1, где показаны также остаточные напряжения после их выдержки в печи при температуре $T = 400^\circ\text{C}$ в течение 100 часов. Можно видеть, что термоэкспозиция привела к снижению остаточных напряжений примерно на 30%.

Рис. 1. Осевые остаточные напряжения σ_z в гладких образцах (а) и в образцах с надрезом (б) из стали ЭИ 961 после алмазного выглаживания: 1 – $T = 20^\circ\text{C}$; 2 – $T = 400^\circ\text{C}$

Испытания на усталость образцов с надрезом при изгибе в случае симметричного цикла проводились при $T = 20^\circ\text{C}$ и при $T = 400^\circ\text{C}$ на машине МВП–10000, база испытаний – 10^7 циклов нагружения. Результаты испытаний на усталость и определения остаточных напряжений представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний на усталость и определения остаточных напряжений образцов из стали ЭИ 961

$T, ^\circ\text{C}$	σ_{-1} для неупрочнённых образцов, МПа	Упрочнённые образцы			
		σ_{-1} , МПа	$t_{кр}$, мм	$\bar{\sigma}_{ост}$, МПа	$\bar{\psi}_\sigma$
20	230	380	0,160	–422	0,356
400	190	270	0,160	–242	0,331

Из приведённых в табл. 1 данных видно, что коэффициент $\bar{\psi}_\sigma$, отражающий влияние упрочнения через критерий $\bar{\sigma}_{ост}$, и при $T = 400^\circ\text{C}$ близок к значению $\bar{\psi}_\sigma = 0,36$, установленному в [4] для упрочнённых образцов с аналогичной степенью концентрации напряжений.

Также были проведены эксперименты на образцах из алюминиевых сплавов В95 и Д16Т. Гладкие образцы диаметром 15 мм с отверстием диаметром 5 мм упрочнялись на пневмодробеструйной установке. Упрочнённые и неупрочнённые образцы подвергались термоэкспозиции при температуре $T = 125^\circ\text{C}$ в течение 100 ч. Затем на все гладкие образцы наносились надрезы полукруглого профиля двух радиусов $R = 0,3$ и $R = 0,5$ мм.

Остаточные напряжения в гладких образцах определялись методом колец и полосок [5], в образцах с надрезом – по методике работы [3]. Эпюры осевых σ_z остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя a в гладких и надрезанных образцах представлены на рис. 2. Из приведённого на рис. 2 распределения остаточных напряжений видно, что после термоэкспозиции в образцах из сплава В95 сжимающие остаточные напряжения значительно меньше, чем в образцах из сплава Д16Т.

Рис. 2. Осевые остаточные напряжения σ_z после термоэкспозиции в гладких образцах (а) и в образцах с надрезом (б) из сплавов В95 (1, 3, 5) и Д16Т (2, 4, 6)

Испытания на усталость образцов с надрезом при изгибе в случае симметричного цикла проводились при $T = 20^\circ\text{C}$ на машинах МУИ-6000, база испытаний — 10^7 циклов нагружения. Результаты испытаний на усталость и определения остаточных напряжений представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты испытаний на усталость и определения остаточных напряжений образцов из сплавов В95 и Д16Т

Материал	Радиус надреза R , мм	σ_{-1} для неупрочнённых образцов, МПа	Упрочнённые образцы			
			σ_{-1} , МПа	$t_{кр}$, мм	$\bar{\sigma}_{ост}$, МПа	$\bar{\psi}_\sigma$
В95	0,3	105	155	0,310	-141	0,355
	0,5	107,5	115	0,320	-21,3	0,352
Д16Т	0,3	82,5	175	0,320	-250	0,370
	0,5	82,5	150	0,310	-171	0,395

Можно видеть, что и в этом случае коэффициент влияния остаточных напряжений $\bar{\psi}_\sigma$ на предел выносливости по критерию $\bar{\sigma}_{ост}$ составляет в среднем 0,368 и близок к значению $\bar{\psi}_\sigma = 0,36$, установленному в [4] для упрочнённых образцов с такой же степенью концентрации напряжений.

Таким образом, проведённое исследование показывает, что критерий среднеинтегральных остаточных напряжений можно применять для оценки влияния поверхностного упрочнения при рабочей температуре, используя при этом остаточные напряжения, оставшиеся после воздействия температуры.

Работа выполнена при поддержке Федерального агентства по образованию (код проекта РНП 2.1.1/3397, государственный контракт № П818).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павлов В. Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений // *Извест. вузов. Машиностроение*, 1986. — № 8. — С. 29–32.
2. Иванов С. И., Григорьева И. В. К определению остаточных напряжений в цилиндре методом снятия части поверхности / В сб.: *Вопросы прочности элементов авиационных конструкций*. Вып. 48. — Куйбышев: КуАИ, 1971. — С. 179–183.
3. Иванов С. И., Шатунов М. П., Павлов В. Ф. Влияние остаточных напряжений на выносливость образцов с надрезом / В сб.: *Вопросы прочности элементов авиационных конструкций*. Вып. 1. — Куйбышев: КуАИ, 1974. — С. 88–95.
4. Павлов В. Ф., Кирпичёв В. А., Иванов В. Б. Остаточные напряжения и сопротивление усталости упрочнённых деталей с концентраторами напряжений. — Самара: СНЦ РАН, 2008. — 64 с.

5. Иванов С. И. К определению остаточных напряжений методом колец и полосок / В сб.: *Остаточные напряжения*. Вып. 53. — Куйбышев: КуАИ, 1971. — С. 32–42.

Поступила в редакцию 03/II/2010;
в окончательном варианте — 13/III/2010.

MSC: 74A10, 74C05

PREDICTIONS OF FATIGUE ENDURANCE LIMIT OF HARDENING SAMPLES AT ELEVATED TEMPERATURE

V. A. Kirpichev¹, M. N. Saushkin², O. S. Afanasieva², V. A. Smyslov²

¹ S. P. Korolyov Samara State Aerospace University,
34, Moskovskoe sh., Samara, 443086.

² Samara State Technical University,
244, Molodogvardeyskaya str., Samara, 443100.

E-mails: sopromat@ssau.ru, msaushkin@gmail.com, afa@pm.samgtu.ru

The results of fatigue testing and measurement of residual stress of surface-hardened smooth samples and samples with a notch are presented. It was established that the test mean integral residual stress can be used to predict the fatigue endurance limit of samples at elevated temperatures, using the residual stress remaining at the end of the resource.

Key words: *residual stress, fatigue, fatigue endurance limit, thermal exposition, experiment.*

Original article submitted 03/II/2010;
revision submitted 13/III/2010.

Victor A. Kirpichev (Ph. D. (Techn.)), Associate Professor, Dept. of Resistance Materials. *Mikhail N. Saushkin* (Ph.D. (Phys. & Math.)), Doctoral Candidate, Dept. of Applied Mathematics & Computer Science. *Ol'ga S. Afanasieva*, Postgraduate Student, Dept. of Applied Mathematics & Computer Science. *Vitaliy A. Smyslov*, Student.