

Павлов В.Ф., Петрова Ю.Н., Катанаева Ю.А., Шляпников П.А.

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ НА ПРЕДЕЛ ВЫНОСЛИВОСТИ ДЕТАЛЕЙ
В УСЛОВИЯХ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ**

Изучалось влияние технологии изготовления корсетных образцов круглого поперечного сечения с наименьшим диаметром 7,5 мм из сплавов ВКС-5 и ВНС-17 на предел выносливости через величину и распределение остаточных напряжений поверхностного слоя. После механической обработки (шлифование) образцы подвергались термической и химико-термической обработке по режимам, приведённым в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний на усталость и определения остаточных напряжений

Материал	№ п/п	Вид обработки	Режим обработки	σ_{-1} , МПа	$\bar{\sigma}_{ост}$, МПа	$\bar{\psi}_{\sigma}$
ВКС-5	1	исходное состояние	закалка 900°C; отпуск 600°C – 1 час	760	-136	–
	2	ионная цементация	ионная цементация 950°C – 1 час; отпуск 650°C – 3 часа	900	-389	0,553
	3	цементация	цементация 940°C – 6 часов; отпуск 650°C – 3 часа; закалка 900°C; обработка холодом: – 70°C	1040	-672	0,522
ВНС-17	1	исходное состояние	закалка 860°C; отпуск 580°C – 10 час	640	-372	–
	2	азотирование	закалка 860°C; отпуск 580°C – 10 час; азотирование 560°C – 36 час	760	-606	0,513

Испытания образцов на усталость при изгибе в случае симметричного цикла проводились на машине МВП-10000, база испытаний – $30 \cdot 10^6$ циклов нагружения, температура испытаний – 20°C. Результаты определения предела выносливости σ_{-1} представлены в табл. 1. Из данных табл. 1 можно видеть, что цементация и азотирование образцов приводят к существенному повышению сопротивления усталости. Часть цементированных и азотированных образцов, испытанных на пределе выносливости при $30 \cdot 10^6$ циклов нагружения, были доведены до разрушения при статической нагрузке в случае растяжения. Во всех образцах были обнаружены нераспространяющиеся трещины усталости, средняя глубина которых $t_{кр}$ составляла 0,160 мм.

Меридиональные σ_{φ} остаточные напряжения (осевые σ_z – в наименьшем сечении образца) определялись методом удаления половины поверхности образца в пределах его корсетной части по методике, описанной в работе [1]. Исследовались остаточные напряжения в образцах как непосредственно после термической обработки, так и после

испытаний на усталость. Необходимо отметить, что остаточные напряжения в образцах, прошедших базу испытаний при напряжении, равном пределу выносливости, практически не отличались от остаточных напряжений образцов, не подвергавшихся испытаниям на усталость. Следовательно, остаточные напряжения после термической и химико-термической обработок в исследованных образцах весьма устойчивы к воздействию переменных напряжений. Распределение меридиональных σ_ϕ остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя a корсетных образцов представлено на рис. 1.

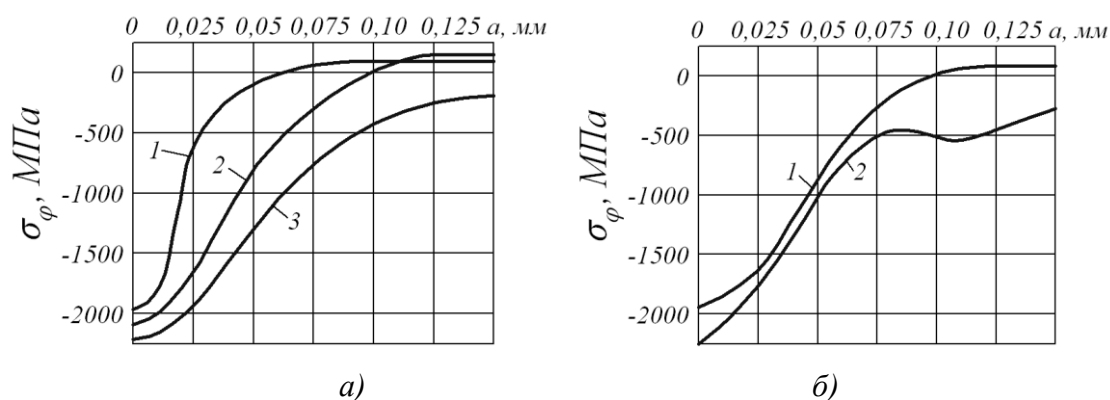


Рис. 1. Меридиональные σ_ϕ остаточные напряжения в корсетных образцах из сплавов ВКС-5(*a*) и ВНС-17 (*б*); номера эпюр соответствуют номерам вариантов табл. 1

Из данных рис. 1 следует, что при всех видах обработки в образцах действуют сжимающие остаточные напряжения с максимумом на поверхности, достигающим -2200 МПа. После цементации и азотирования распределение остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя образцов является более полным, чем в исходном состоянии.

На примере образцов из сплава ВКС-5 можно проследить за влиянием полноты эпюры сжимающих остаточных напряжений на предел выносливости. После ионной цементации и обычной цементации наибольшие остаточные напряжения различаются незначительно: -2100 МПа и -2200 МПа соответственно (рис. 1,*a*; эпюры 2 и 3). Однако после ионной цементации распределение остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя является менее полным, чем после обычной цементации – смена знака напряжений в первом случае (рис. 1,*a*; эпюра 2) происходит на глубине $a = 0,1$ мм, а во втором (рис. 1,*a*; эпюра 3) – на глубине $a = 0,23$ мм. В результате приращение предела выносливости $\Delta\sigma_{-1}$ образцов по сравнению с исходным состоянием после

ионной цементации в два раза меньше, чем после обычной цементации: $\Delta\sigma_{-1} = 140$ МПа и $\Delta\sigma_{-1} = 280$ МПа соответственно. О влиянии характера распределения остаточных напряжений на сопротивление усталости указывалось ранее в работах [2-4].

Оценка влияния остаточных напряжений на приращение предела выносливости образцов $\Delta\sigma_{-1}$ проводилась по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ocm}$ [5]:

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

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

Значения среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ocm}$ и коэффициента $\bar{\psi}_{\sigma}$ приведены в табл. 1. Анализ приведённых в табл. 1 данных показывает, что значение коэффициента $\bar{\psi}_{\sigma}$ составляет в среднем 0,529 и совпадает со значением $\bar{\psi}_{\sigma} = 0,53$, вычисленному по зависимости [6]:

$$\bar{\psi}_{\sigma} = 0,612 - 0,081 \cdot \alpha_{\sigma}, \quad (2)$$

где $\alpha_{\sigma} = 1,06$ – теоретический коэффициент концентрации напряжений для исследованных корсетных образцов.

Следует отметить, что критерий $\bar{\sigma}_{ocm}$ традиционно используется для прогнозирования предела выносливости поверхностно упрочнённых образцов (деталей) с существенной концентрацией напряжений. В настоящем исследовании для корсетных образцов концентрация напряжений весьма мала ($\alpha_{\sigma} = 1,06$), однако полученное значение коэффициента $\bar{\psi}_{\sigma} = 0,529$ соответствует зависимости (2), установленной для случаев значительной концентрации напряжений. Этот результат позволяет применять критерий $\bar{\sigma}_{ocm}$ для прогнозирования предела выносливости поверхностно упрочнённых деталей с малой концентрацией напряжений.

Таким образом, в проведённом исследовании установлено, что критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ocm}$ может быть использован для

прогнозирования приращения предела выносливости цементированных и азотированных деталей из сплавов ВКС-5 и ВНС-17 и в случае незначительной концентрации напряжений.

Библиографический список

1. Павлов, В.Ф. Остаточные напряжения и предел выносливости корсетных образцов после различных видов термической и химико-термической обработки [Текст] / В.Ф. Павлов, В.С. Вакулюк, В.А. Кирпичёв, В.И. Лапин // Вестник СамГТУ. Технические науки. – 2010. – №7(28). – С. 101-106.

2. Павлов, В.Ф. Влияние характера распределения остаточных напряжений по толщине поверхностного слоя детали на сопротивление усталости [Текст] / В.Ф. Павлов // Известия вузов. Машиностроение. – 1987. – №7. – С. 3-6.

3. Смагленко, Ф.П. Влияние распределения остаточных напряжений на усталостную прочность твёрдого сплава ВК15 [Текст] / Ф.П. Смагленко // Проблемы прочности. – 1980. – №8. – С. 35-38.

4. Туровский, М.Л. Упрочняющая обработка роликами азотированных стальных деталей [Текст] / М.Л. Туровский, Р.А. Новик // Вестник машиностроения. – 1970. – №1. – С. 39-42.

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

6. Кирпичёв, В.А. Влияние остаточных напряжений на предел выносливости детали при различной степени концентрации [Текст] / В.А. Кирпичёв, А.П. Филатов, О.В. Каранаева, В.Б. Иванов // Сб.: Проблемы и перспективы развития двигателестроения. Материалы докладов МНТК. – Самара: СГАУ. – 2009. – Ч. 2. – С. 178-179.