

Сазанов В.В., Филатов А.П., Костичев В.Э., Шляпников П.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЗОТИРОВАНИЯ

НА СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ СПЛАВА ВНС-17

В машиностроении для повышения ресурса и надёжности работы конструкций широкое применение находят различные методы поверхностного упрочнения деталей машин. Для получения большой твёрдости поверхностного слоя детали с сохранением вязкой сердцевины, что обеспечивает высокую износостойкость и одновременно высокую динамическую прочность, применяют химико-термическую обработку. Наиболее широко распространёнными её видами являются цементация, азотирование, цианирование, борирование.

Азотирование деталей из конструкционных сталей для повышения сопротивления усталости в настоящее время стало достаточно широко использоваться в ряде отраслей отечественного машиностроения. Контроль качества азотирования поверхности деталей достаточно строго регламентирован нормативными документами, и с точки зрения износостойкости рабочих (трущихся) поверхностей наиболее важными контролируемыми параметрами являются твёрдость и толщина упрочнённого слоя. Проверки выполняются как на самой детали, так и на образцах-свидетелях, которые вместе с ней проходят полный цикл технологического процесса химико-термической обработки. Однако изучение вопроса повышения предела выносливости деталей за счёт создания при азотировании сжимающих остаточных напряжений [1-4] свидетельствует о том, что этих параметров недостаточно. Поэтому задачей данного исследования является обоснование возможности использования для оценки эффективности азотирования и других видов химико-термической обработки деталей определённых типов образцов-свидетелей.

Для испытаний на усталость применяются две формы рабочей части гладких образцов: с постоянным сечением и с переменным сечением (корсетные образцы). Недостатком первой формы образцов является концентрация напряжений в месте перехода цилиндрической части к галтели, что приводит к разрушению преимущественно вблизи галтели и поэтому результаты испытаний не могут характеризовать истинное сопротивление материала усталости. По этой причине для испытаний на усталость в качестве образцов-свидетелей предлагается использовать корсетные образцы, лишённые отмеченного недостатка. Для определения остаточных напряжений в поверхностном слое лабораторными методами предлагается применять в качестве образцов-свидетелей

гладкие образцы (плоские пластины, цилиндрические втулки), так как данный вариант является более точным, хорошо отработанным и простым в исполнении.

Поставленная задача выбора образцов-свидетелей для оценки эффективности азотирования поверхности деталей с позиций повышения сопротивления усталости решалась путём анализа и сравнения экспериментальных данных при изучении корсетных и гладких образцов с результатами расчётов остаточного напряжённого состояния, которые в свою очередь были получены методом конечно-элементного моделирования [5]. В проведённом исследовании были использованы экспериментальные результаты изучения влияния азотирования корсетных образцов круглого поперечного сечения с наименьшим диаметром 7,5 мм из сплава ВНС-17 на предел выносливости через величину и распределение остаточных напряжений поверхностного слоя [1].

Определение приращения предела выносливости деталей с концентраторами напряжений в случае симметричного цикла $(\Delta\sigma_{-1})_{расч}$ при изгибе наиболее точно выполняется по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ [1, 2]:

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

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

Коэффициент $\bar{\psi}_{\sigma}$ определяется по зависимости, установленной в работе [4]:

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

где α_{σ} – теоретический коэффициент концентрации напряжений.

В данной работе теоретический коэффициент концентрации напряжений α_{σ} определялся методом конечно-элементного моделирования с использованием комплекса ANSYS. По результатам расчёта при изгибе получено значение $\alpha_{\sigma} = 1,038$. Вычисленное с использованием этой величины по формуле (2) значение коэффициента влияния $\bar{\psi}_{\sigma} = 0,528$ достаточно хорошо согласуется со средними значениями $\bar{\psi}_{\sigma}$ по результатам испытаний для различных видов химико-термической обработки [1], которые изменяются в пределах от 0,513 до 0,553. Это означает, что расчёт приращения предела выносливости за счёт упрочнения поверхности, выполняемый по критерию среднеинтегральных остаточных напряжений по формуле (1), справедлив и для корсетных образцов, которые относятся к деталям с малой концентрацией напряжений.

Для определения распределения остаточных напряжений по толщине опасного

сечения корсетных образцов методом конечно-элементного моделирования были проведены расчёты с использованием комплекса NASTRAN/PATRAN. Моделирование остаточных напряжений в упрочнённом слое выполнено методом термоупругости по первоначальным деформациям [6], которые определялись на моделях гладких образцов. Распределения осевых σ_z остаточных напряжений по толщине a упрочнённого поверхностного слоя гладких образцов, полученные экспериментальным методом с использованием расчётных зависимостей работы [3], приведены на рис. 1. Соответствующие эпюрам остаточных напряжений (рис. 1) режимы термической и химико-термической обработки корсетных и гладких образцов представлены в табл. 1.

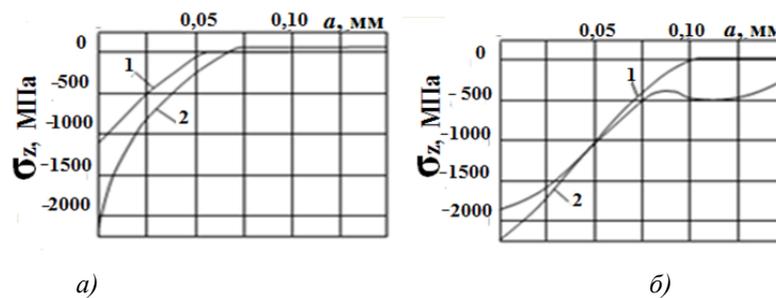


Рис. 1. Осевые σ_z остаточные напряжения в гладких образцах из сплава ВНС-17

Таблица 1 – Режимы термической и химико-термической обработки корсетных и гладких образцов

№ п/п	Обозначение на рис. 1	Режимы термической и химико-термической обработки
1	$a - 1$	закалка 860 °С; отпуск 580 °С – 10 часов
2	$a - 2$	закалка 860 °С; отпуск 580 °С – 10 часов; азотирование 630 °С – 20 часов; отпуск 600 °С – 2 часа
3	$b - 1$	закалка 860 °С; отпуск 580 °С – 30 часов, азотирование 630 °С – 20 часов
4	$b - 2$	закалка 860 °С; отпуск 580 °С – 10 часов; азотирование 630 °С – 20 часов; отпуск 600 °С – 2 часа

Анализ результатов расчётов показал, что распределения осевых σ_z остаточных напряжений по толщине a поверхностного слоя наименьшего сечения корсетных образцов для всех рассмотренных вариантов состояния упрочнённой поверхности практически совпадают с аналогичными распределениями для гладких образцов и отличие от исходной эпюры гладкого образца не превышает 3%. Из полученных в исследовании результатов следует, что с достаточной точностью критерий

среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ для корсетных образцов можно определять по экспериментальной эпюре остаточных напряжений гладкого образца.

Таким образом, полученные результаты расчётов и их сравнение с экспериментальными данными свидетельствуют о том, что для оценки эффективности азотирования поверхности деталей по сопротивлению усталости наиболее целесообразно использовать образцы двух типов: гладкие для определения распределения остаточных напряжений по толщине упрочнённого слоя и корсетные для испытаний на усталость. При этом правильность выбора режимов технологической операции подтверждается испытаниями на усталость лишь одной партии корсетных образцов и сходимостью полученных результатов с расчётным значением предела выносливости.

Библиографический список

1. Павлов, В.Ф. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям [Текст] / В.Ф. Павлов, В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулюк. – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2012. – 125 с.
2. 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.
3. Иванов, С.И. К определению остаточных напряжений в цилиндре методом колец и полосок [Текст] / С.И. Иванов // Остаточные напряжения. – Куйбышев: КуАИ. – 1971. – Вып. 53. – С. 32-42.
4. Кирпичёв, В.А. Прогнозирование предела выносливости поверхностно упрочнённых деталей при различной степени концентрации напряжений [Текст] / В.А. Кирпичёв, А.С. Букатый, А.П. Филатов, А.В. Чирков // Вестник УГАТУ. – 2011. – Т. 15. – № 4(44). – С. 81-85.
5. Сазанов, В.П. Моделирование перераспределения остаточных напряжений в упрочнённых цилиндрических образцах при опережающем поверхностном пластическом деформировании [Текст] / В.П. Сазанов, А.В. Чирков, В.А. Самойлов, Ю.С. Ларионова // Вестник СГАУ. – 2011. – №3 (27). Ч.3. – С. 171-174.
6. Сазанов, В.П. Определение первоначальных деформаций в упрочнённом слое цилиндрической детали методом конечно-элементного моделирования с использованием расчётного комплекса PATRAN/NASTRAN [Текст] / В.П. Сазанов, В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулюк, В.Ф. Павлов // Вестник УГАТУ. – 2015. – Т. 19. – №2 (68). – С. 35-40.