

УДК 621.787.4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСЧЁТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЗОТИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Сазанов В. В., Мокшин Д. С., Шадрин В. К.

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королёва, г. Самара

Повышение ресурса и надёжности работы деталей машин являются важнейшими задачами при их проектировании, производстве и эксплуатации. Для получения большой твёрдости в поверхностном слое детали с сохранением вязкой сердцевины, что обеспечивает высокую износостойкость и одновременно высокую динамическую прочность, применяют химико-термическую обработку. Химико-термическая обработка отличается от других видов термической обработки тем, что при этой обработке, кроме структурных изменений, происходит изменение состава поверхностного слоя путём диффузии в металл различных элементов. Наиболее широко распространёнными её видами являются цементация, азотирование, цианирование, борирование. Азотирование конструкционных сталей для повышения сопротивления усталости в настоящее время стало достаточно широко применяться в ряде отраслей ответственного машиностроения. Так как образование азотосодержащих фаз в поверхностном слое идёт с увеличением объёма, то поверхность азотированной детали испытывает напряжения сжатия. Напряжения сжатия на поверхности вызывают повышение предела выносливости, поскольку усталостные трещины возникают в результате действия растягивающих напряжений.

Применение методов поверхностного упрочнения деталей машин, при условии правильного выбора технологического процесса, приводит к значительному повышению их сопротивления усталости. Задачей данного исследования является обоснование возможности использования для оценки эффективности азотирования и других видов химико-термической обработки деталей определённых типов образцов-свидетелей [1 – 4].

Для оценки эффективности азотирования деталей (химико-термическая обработка) обосновано применение корсетных образцов-свидетелей для проведения испытаний на усталость и гладких образцов-свидетелей для определения остаточных напряжений в поверхностном слое. Расчётная часть исследования выполнена методом конечно-элементного моделирования с использованием комплексов ANSYS и PATRAN/NASTRAN.

Расчётный комплекс ANSYS применён при определении коэффициента концентрации напряжений при изгибе корсетного образца [5]. Используемые модели с гармоническими осесимметричными конечными элементами позволяют определять коэффициенты концентрации напряжений при растяжении-сжатии и изгибе деталей, представляющих собой тела вращения. Полученное значение коэффициента влияния остаточных напряжений на приращение предела выносливости достаточно точно согласуется с его экспериментальными значениями для азотирования и других видов химико-термической обработки корсетных образцов.

Комплекс PATRAN/NASTRAN использован при расчёте напряжённо-деформированного состояния в корсетных образцах от действия остаточных напряжений, возникающих при азотировании поверхностей детали. Конечно-элементные модели деталей разработаны в осесимметричной постановке с наложением соответствующих граничных условий и с использованием треугольного шестиузлого конечного элемента типа 2d-solid. Моделирование выполнено методом термоупругости

[6-8], при этом в качестве исходных данных использованы экспериментальные эпюры распределения остаточных напряжений в гладких образцах [9].

Установлено, что распределение осевых остаточных напряжений в опасном (наименьшем) сечении корсетного образца практически не отличается от распределения в гладких образцах. Полученные результаты являются основанием определять среднеинтегральные остаточные напряжения по распределениям остаточных напряжений в гладких образцах и использовать их при расчёте предела выносливости упрочнённых корсетных образцов. Полученные результаты исследования позволяют считать, что оптимальными будут режимы азотирования, при которых среднеинтегральные остаточные напряжения являются наибольшими.

Предложенный в исследовании метод оценки эффективности азотирования поверхности деталей, выполняемого с целью повышения их сопротивления усталости, может быть использован и для других видов химико-термической обработки с проведением соответствующих экспериментов и расчётов на соответствующих образцах-свидетелях и самой детали.

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: Издательство СНЦ 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. Павлов, В. Ф. Влияние на предел выносливости величины и распределения остаточных напряжений в поверхностном слое детали с концентратором. Сообщение I. Сплошные детали [Текст] / В. Ф. Павлов // Известия вузов. Машиностроение. – 1988. – №8. – С. 22-26.
4. Кирпичёв, В. А. Прогнозирование предела выносливости поверхностно упрочнённых деталей при различной степени концентрации напряжений [Текст] / В. А. Кирпичёв, А. П. Филатов, О. В. Каранаева, А. В. Чирков, О. Ю. Семёнова // Труды МНТК «Прочность материалов и элементов конструкций». – Киев: ИПП им. Г.С. Писаренко НАНУ. – 2011. – С. 678-685.
5. Петерсон, Р. Е. Коэффициенты концентрации напряжений [Текст] / Р. Е. Петерсон. – М.: Мир, 1977. – 304 с.
6. 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.
7. 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.
8. Сазанов, В. П. Математическое моделирование первоначальных деформаций в поверхностно упрочнённых деталях при выборе образца-свидетеля [Текст] / В. П. Сазанов, О. Ю. Семенова, В. А. Кирпичёв, В. С. Вакулюк // Вестник УГАТУ. – 2016. – Т. 20. – №3 (73). – С. 31-37.
9. 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.