

УДК 621.787:4

ОЦЕНКА СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПОСЛЕ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ

Сазанов В.П., Вакулюк В.С., Семёнова О.Ю., Письмаров А.В., Денискина Е.А.
Самарский университет, г. Самара, Россия, sopromat@ssau.ru

Ключевые слова: химико-термическая обработка, цементация, азотирование, предел выносливости, первоначальные деформации, остаточные напряжения, корсетный образец, критерий среднеинтегральных остаточных напряжений.

Основной целью исследования является разработка расчётно-экспериментальной методики, позволяющей оценить эффективность химико-термической обработки с точки зрения повышения предела выносливости по сравнению с неупрочнёнными деталями, а также иметь возможность выбора наиболее оптимального технологического режима.

Создание высоконадёжных и с большим ресурсом деталей изделий является одной из наиболее важных задач машиностроения. Поверхностное упрочнение является наиболее эффективным способом повышения сопротивления усталости для деталей, испытывающих переменные нагрузки. Целью операции упрочнения является создание в тонком поверхностном слое значительных сжимающих остаточных напряжений, которые препятствуют развитию усталостной трещины.

Химико-термическую обработку (ХТО) применяют для получения большой твёрдости в поверхностном слое детали с сохранением вязкой сердцевины. Это обеспечивает одновременно высокую износостойкость и высокую динамическую прочность при действии переменных нагрузок. По сравнению с другими видами термообработки ХТО отличается тем, что при ней, кроме структурных изменений, происходит изменение состава поверхностного слоя путём диффузии в металл различных элементов. Так как протекающий в поверхностном слое процесс идёт с увеличением объёма, то в нём и возникают напряжения сжатия.

Наиболее широко распространёнными видами ХТО в машиностроении являются цементация и азотирование. При цементации происходит поверхностное насыщение стали углеродом, в результате чего получается высокоуглеродистый поверхностный слой. Азотированием называют процесс насыщения стали азотом. Основное назначение процесса азотирования – повышение твёрдости и износостойкости. Для этой цели азотируют специальные стали, содержащие элементы, дающие нитриды высокой термической устойчивости (хром, молибден, алюминий).

В проведённом исследовании были использованы экспериментальные результаты изучения влияния химико-термической обработки корсетных образцов круглого поперечного сечения с наименьшим диаметром 7,5 мм из сплава ВКС-5 (цементация) и сплава ВНС-17 (азотирование) на предел выносливости через величину и распределение остаточных напряжений поверхностного слоя [1].

Для определения распределений остаточных напряжений по толщине опасного сечения корсетных образцов методом конечно-элементного моделирования были проведены расчёты с использованием комплекса PATRAN/ NASTRAN. Моделирование остаточных напряжений в упрочнённом слое выполнено методом термоупругости по первоначальным деформациям [2, 3],

которые определялись на моделях гладких образцов сплошного сечения диаметром 7,5 мм. В качестве исходных данных использованы распределения осевых σ_z остаточных напряжений по толщине a упрочнённого поверхностного слоя гладких образцов, полученные экспериментальным методом с использованием расчётных зависимостей работы [4]. Как показали результаты расчётов, распределение осевых остаточных напряжений σ_z по толщине a поверхностного слоя наименьшего сечения корсетных образцов для всех рассмотренных вариантов состояния упрочнённой поверхности практически совпадает с аналогичным распределением для гладких образцов и отличие от исходной эпоры для гладкого образца не превышает 3%.

Для оценки влияния остаточных напряжений на предел выносливости упрочнённых ХТО образцов использован критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ [1], вычисленный по толщине поверхностного слоя опасного сечения образцов, равной критической глубине $t_{кр}$ нераспространяющейся трещины усталости. Из полученных в исследовании результатов следует, что с достаточной точностью критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ можно определять по экспериментальной эпоре остаточных напряжений гладкого образца.

Анализ полученных результатов расчёта и их сравнение с результатами экспериментов свидетельствуют о том, что для оценки эффективности ХТО поверхности деталей с точки зрения повышения сопротивления усталости, наиболее целесообразно использовать образцы двух типов: гладкие для определения зависимости остаточных напряжений по толщине упрочнённого слоя и корсетные для испытаний на усталость.

Экономическая сторона предложенного метода решения задачи об оценке эффективности ХТО поверхности деталей заключается в том, что значительно сокращаются объём и время проведения испытаний на усталость. Правильность выбора режимов технологической операции подтверждается испытанием лишь одной партии неупрочнённых и одной партии упрочнённых корсетных образцов. Критерием является сходимость результатов испытаний с расчётным определением приращения предела выносливости.

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

Список литературы

1. Павлов, В.Ф. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям / В.Ф. Павлов, В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулюк. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012. – 125 с.
2. Сазанов, В.П. Определение первоначальных деформаций в упрочнённом слое цилиндрической детали методом конечно-элементного моделирования с использованием расчётного комплекса PATRAN/NASTRAN / В.П. Сазанов, В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулюк, В.Ф. Павлов // Вестник УГАТУ. – 2015. – Т. 19. – №2(68). – С. 35-40.

3. Сазанов, В.П. Математическое моделирование первоначальных деформаций в поверхностно упрочненных деталях при выборе образца-свидетеля / В.П. Сазанов, О.Ю. Семёнова, В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулюк // Вестник УГАТУ. – 2016. – Т. 20. – №3(73). – С. 31-37.

4. Иванов, С.И. К определению остаточных напряжений в цилиндре методом колец и полосок / С.И. Иванов // Остаточные напряжения. – Куйбышев: КуАИ, 1971. – Вып. 53. – С. 32-42.

Сведения об авторах

Сазанов Вячеслав Петрович, к.т.н., доцент. Область научных интересов: исследования в области механики остаточных напряжений.

Вакулюк Владимир Степанович, д.т.н., профессор. Область научных интересов: исследования в области механики остаточных напряжений.

Семёнова Ольга Юрьевна, к.т.н., доцент. Область научных интересов: исследования в области механики остаточных напряжений.

Письмаров Андрей Викторович, аспирант. Область научных интересов: исследования в области механики остаточных напряжений.

Денискина Екатерина Александровна, к.т.н., доцент. Область научных интересов: исследования в области механики остаточных напряжений.

AN EVALUATION OF PARTS FATIGUE RESISTANCE AFTER SURFACE THERMO CHEMICAL TREATMENT

Sazanov V.P., Vakulyuk V.S., Semenova O.Yu., Pis'marov A.V., Deniskina E.A.
Samara University, Samara, Russia, sopromat@ssau.ru

Key words: thermo chemical treatment, cementation, nitriding, endurance limit, initial deformations, endurance limit, corset specimen, average integral residual stresses criterion.

Using corset reference specimens for fatigue tests and smooth reference specimens for residual stresses determination in a surface layer is more reasonable for the evaluation of thermo chemical treatment influence on parts multicyclic fatigue. The calculations of the study have been carried out by the Finite Elements Modeling method using the calculation complexes ANSYS and PATRAN/NASTRAN. It's been stated that the axial residual stresses distribution in the dangerous (smallest) section of a corset specimen doesn't practically differ from a distribution in smooth specimens. Carried out results are the reason for average integral residual stresses determination by residual stresses distribution of smooth specimens and their employment for an evaluation of hardened corset specimens' endurance limit. Carried out results let also maintain that the more optimal regimes of cementation are the regimes under which average integral residual stresses are maximum.