

УДК 621.787.4

МЕТОД ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЦЕМЕНТАЦИИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ИЗГИБЕ

Мокшин Д. С., Сазанов В. В., Семёнова О. Ю.

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

Правильно назначенный технологический процесс поверхностного упрочнения деталей машин приводит к значительному повышению их сопротивления усталости и соответственно повышает их ресурс и надёжность работы. Поэтому задачей данного исследования является разработка расчётно-экспериментального метода оценки эффективности цементации и других видов химико-термической обработки деталей с использованием определённых типов образцов-свидетелей. Решение поставленной задачи выполнено расчётно-экспериментальным методом, в котором в качестве исходных данных были использованы экспериментальные результаты, полученные при изучении влияния химико-термической обработки, в том числе цементации, на предел выносливости деталей из конструкционной легированной стали 16ХЗНВФМБ (ВКС-5) [1-4].

Для оценки влияния цементации деталей (химико-термическая обработка) результатами расчётов и экспериментов 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 для определения 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 цементации 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 цементации поверхностей детали [6, 7]. Моделирование выполнено методом термоупругости, при этом в качестве исходных данных использованы экспериментальные эпюры распределения остаточных напряжений в гладких образцах.

Оценка результатов расчётов показывает, что распределения осевых остаточных напряжений σ_z по толщине a поверхностного слоя в наименьшем (опасном) сечении корсетного образца в рассматриваемых вариантах термической и химико-термической обработки практически совпадают с аналогичными распределениями для гладких образцов, причём отличие от исходной эпюры для гладкого образца не превышает 2,5–3%. На основании полученных в исследовании результатов установлено, что с достаточной точностью критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ [2] можно определять по экспериментальной эпюре остаточных напряжений гладкого образца. Также показано, что размер наименьшего сечения корсетного образца для повышения точности прогнозирования предела выносливости за счёт упрочнения должен быть увязан с размером упрочняемой детали. В качестве гладких образцов-свидетелей в случае осесимметричных деталей целесообразно использовать

цилиндрические втулки, которые позволяют определять осевые и окружные остаточные напряжения хорошо отработанными методами и с высокой точностью.

С экономической точки зрения значение предложенного метода образцов-свидетелей при оценке эффективности цементации заключается в том, что значительно сокращаются объём и время проведения испытаний на усталость, причём правильность выбора режимов технологической операции цементации подтверждается испытанием относительно небольшой партии корсетных образцов и сходимостью полученных результатов с расчётным значением предела выносливости. На основании проведённых исследований установлено, что полученные расчётными методами результаты прогнозирования предела выносливости корсетных образцов, упрочнённых на различных режимах термической и химико-термической обработки (цементации), имеют достаточно высокую сходимость с результатами проведённых испытаний на усталость. Анализ результатов расчёта методом конечно-элементного моделирования остаточного напряжённого состояния гладких и корсетных образцов показывает, что определение критерия среднеинтегральных остаточных напряжений для вычисления приращения предела выносливости цементированных деталей представляется возможным проводить по результатам определения остаточных напряжений в поверхностном слое гладких образцов-свидетелей. Результатами расчёта и испытаний показано, что для повышения предела выносливости оптимальными режимами цементации и последующей за ней термической обработки детали будут те режимы, при которых критерий среднеинтегральных остаточных напряжений будет наибольшим.

Библиографический список

1. Павлов, В. Ф. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям [Текст] / В. Ф. Павлов, В. А. Кирпичёв, В. С. Вакулук. – 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. Вакулук, В. Ф. Павлов // Вестник УГАТУ. – 2015. – Т. 19. – №2 (68). – С. 35-40.