

пряжений в деталях с концентраторами напряжений по первоначальным деформациям. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2008. 124 с.

5. Кирпичёв В.А., Филатов А.П., Каранева О.В., Чирков А.В., Семёнова О.Ю. Про-

гнозирование предела выносливости поверхностно упрочнённых деталей при различной степени концентрации напряжений. / Труды МНТК «Прочность материалов и элементов конструкций». – Киев: ИПП им. Г.С. Писаренко НАНУ, 2011. С. 678-685.

УДК 621.787:539.319

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРВОНАЧАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В УПРОЧНЁННОМ СЛОЕ ДЕТАЛИ МЕТОДОМ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

©2016 В.П. Сазанов, О.Ю. Семёнова, В.В. Лунин, С.А. Колычев, А.В. Письмаров

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

THE DEFINITION OF INITIAL DEFORMATIONS IN THE PART HARDENED LAYER BY FINITE ELEMENTS MODELING METHOD

Sazanov V.P., Semenova O.Yu, Lunin V.V., Kolychev S.A., Pismarov A.V. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

For residual stress - strain state calculation of surface hardened parts the possibility of using reference specimens hardened simultaneously with the parts initial deformations has been based.

Известно [1], что первоначальные деформации лежат в основе образования остаточных деформаций и соответствующих им остаточных напряжений после различных воздействий на материал детали. Данные воздействия приводят к необратимым изменениям линейных размеров детали (пластические деформации, структурные и фазовые превращения в материале, облучение и др.). При этом деталь упруго деформируется и в ней образуется самоуравновешенное поле остаточных напряжений, в котором их максимальная величина соизмерима с пределом текучести наклепанного материала. В строгом понимании первоначальные деформации – это деформации, возникающие в детали, все элементарные объёмы которой, не участвующие в процессе пластического или другого деформирования, абсолютно жёстко закреплены. Из данного определения следует, что первоначальные деформации являются:

– абсолютной мерой результатов воздействия на деформируемые элементы объёма твёрдого тела;

– начальными условиями для расчёта остаточного напряжённо-деформированного состояния в твёрдом теле.

На практике в явном виде первоначальные деформации не существуют, так как процесс разгрузки протекает одновременно с их формированием. Возникает сложная и нерешённая до сих пор в полном объёме задача теории упругости и теории пластичности с наложением силовых, температурных, структурно-фазовых и других факторов.

Известно, что задача по определению деформаций и напряжений после обработки поверхности, подобно температурной аналогии С.П. Тимошенко, приводит к первой основной задаче теории упругости с объёмными силами и нормальными усилиями, распределёнными по поверхности тела [1]. Приведённые в ряде работ [2-5] решения задач по определению остаточных напряжений по известным значениям первоначальных деформаций методами теории упругости не дают решений обратных задач по их определению. Вместе с тем, в практических методах определения первоначальных деформаций существует большая потребность, особенно при определении остаточных напряжений в упрочнённых деталях с концентраторами напряжений, а также при прогнозировании их предела выносливости.

Ограниченность применения методов теории упругости заставляет искать на практике более простые, но достаточно точные приближённые и, самое главное, универсальные методы определения первоначальных деформаций в деталях. Одним из таких является расчётно-экспериментальный метод с использованием результатов замера остаточных напряжений по толщине упрочнённого слоя (на образце, вырезанном из детали, или на образце-свидетеле) и конечно-элементного моделирования с применением современных расчётных комплексов. В этом методе приняты следующие допущения, которые позволяют значительно упростить решение поставленной задачи:

– все точки поверхности деталей и образцов-свидетелей при одинаковых технологических процессах упрочнения получают одинаковые первоначальные деформации;

– первоначальные деформации сдвига малы и ими пренебрегают.

В работе представлена разработанная методика определения первоначальных деформаций путём моделирования остаточного напряжённо-деформированного состояния методом конечных элементов с использованием расчётного комплекса PATRAN/NASTRAN.

В исследовании показано, что для первой итерации расчёта зависимость остаточных напряжений по толщине упрочнённого слоя можно заменить эквивалентной ей зависимостью температурного поля (с обратным знаком):

$$\Delta T(a) = -n\sigma_z(a),$$

где $n = \frac{1-\mu}{\alpha E}$ – коэффициент пропорциональности; $\sigma_z(a)$ – зависимость осевых остаточных напряжений по толщине упрочнённого слоя; α – температурный коэффициент линейного расширения; E – модуль продольной упругости; μ – коэффициент Пуассона.

Проведение последующих итераций расчёта позволяет в итоге получить искомую зависимость первоначальных деформаций,

которая обеспечивает экспериментальную зависимость остаточных напряжений по толщине упрочнённого слоя.

Полученная зависимость первоначальных деформаций по толщине упрочнённого поверхностного слоя образца-свидетеля в дальнейшем используется в качестве деформационного нагружения в конечно-элементных моделях штатных деталей при определении остаточного напряжённо-деформированного состояния в зонах концентрации напряжений (в опасных сечениях) и при определении изменений формы и размеров.

Библиографический список

1. Биргер И.А. Остаточные напряжения. – М.: Машгиз, 1963. 232 с.
2. Павлов В.Ф., Столяров А.К., Вакулук В.С., Кирпичёв В.А. Расчёт остаточных напряжений в деталях с концентраторами напряжений по первоначальным деформациям: монография. – Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2008. 124 с.
3. Иванов С.И., Павлов В.Ф., Минин Б.В., Кирпичёв В.А., Кочеров Е.П., Головкин В.В. Остаточные напряжения и сопротивление усталости высокопрочных резьбовых деталей. – Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2015. 171 с.
4. Павлов В.Ф., Кирпичёв В.А., Вакулук В.С. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям: монография. – Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2012. 125 с.
5. Вакулук В.С. Исследование влияния толщины упрочнённого слоя на остаточные напряжения во впадине концентратора методом первоначальных деформаций. / Вестник СамГТУ. Сер.: физ.-мат. науки. – 2010. №1 (20). С. 222-225.
6. Сазанов В.П., Чирков А.В., Самойлов В.А., Ларионова Ю.С. Моделирование перераспределения остаточных напряжений в упрочнённых цилиндрических образцах при опережающем поверхностном пластическом деформировании. / Вестник СГАУ. – 2011. №3(27). Ч. 3. С. 171-174.