

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОБРАЗЦОВ С КОНЦЕНТРАТОРАМИ НАПРЯЖЕНИЙ

В.Е. Глебов, О.С. Афанасьева

Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

Обоснование. Поверхностное пластическое деформирование является штатной технологией упрочнения деталей машин и элементов конструкций на различного рода производствах: аэрокосмических, машиностроительных, теплоэнергетических. Для создания остаточных напряжений в тонком поверхностном слое образцов используют методы пластического поверхностного деформирования. Данная технология существенно повышает надежность и долговечность изделий. Однако указанные технологические подходы приводят к искажению первоначальной геометрической конфигурации деталей. Это является недостатком упрочняющей обработки, поскольку допустимые величины вариации геометрических параметров образцов строго регламентированы. Данным фактом продиктована актуальность исследования: знать, каким образом процесс упрочнения влияет на геометрию деталей, оказывается просто необходимым.

Цель — выявить изменения геометрической конфигурации плиты (в ситуации опережающего поверхностного пластического деформирования) и цилиндрического образца с концентраторами напряжений вследствие реализации процедуры поверхностного пластического деформирования.

Методы. В качестве основного метода достижения цели был выбран метод расчета по первоначальным остаточным деформациям, который позволяет восстановить полную картину напряженно-деформированного состояния. Процедура восстановления состоит в следующем: в упрочненной области задаются законы распределения для всех компонент тензора остаточных пластических деформаций и затем по ним рассчитываются поля остаточных напряжений [1–3]. Выбор такой стратегии исследования оправдан рядом преимуществ предложенного метода в сравнении с другими подходами. Экспериментальные методы оказываются несостоятельными, поскольку позволяют определить максимум 2 компоненты тензора остаточных напряжений. Методики, основанные на прямом моделировании процесса упрочнения, дают скорее качественные результаты в силу стохастической природы исследуемого явления. Более того, использование аналогии между деформациями в неоднородном температурном поле и пластическими деформациями в совокупности с методом расчета по первоначальным деформациям позволяет свести исходную задачу к краевой задаче фиктивной термоупругости, и многие современные программно-вычислительные комплексы позволяют получить решение данной задачи. Также сведение исходной задачи к термоупругой задаче решает проблему единственности и корректности задачи реконструкции напряженно-деформированного состояния. В настоящем исследовании использовалась среда Workbench программной системы конечно-элементного анализа ANSYS. Для решения краевых задач применялся численный метод на основе метода конечных элементов.

Результаты. Проведена серия расчетов для плит различных высот и различных радиусов концентраторов напряжений. Показано, что изменение геометрических параметров концентратора незначительно. Проведен ряд расчетов для цилиндрических образцов различных высот, различных внутренних и внешних радиусов концентратора и при различных условиях закрепления: шарнирное опирание нижней грани, шарнирное опирание верхней и нижней граней, жесткая заделка боковой поверхности цилиндра. Показана незначительность вариаций геометрических параметров концентратора.

Выводы. Предложены феноменологические методики реконструкции остаточных напряжений и пластических деформаций для задач о плите и цилиндрическом образце с концентраторами напряжений.

Сформулирован теоретический метод, позволяющий изучить изменение геометрии образцов после процедуры поверхностного пластического упрочнения. Проиллюстрирована адекватность предложенных подходов. Выявлены изменения геометрической конфигурации концентраторов вследствие упрочняющей обработки.

Ключевые слова: остаточные напряжения; пластические деформации; реконструкция; геометрические параметры.

Список литературы

1. Биргер И.А. Остаточные напряжения. Москва: Машгиз, 1963. 232 с.
2. Павлов В.Ф., Столяров А.К., Вакулюк В.С., Кирпичев В.А. Расчет остаточных напряжений в деталях с концентраторами напряжений по первоначальным деформациям. Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2008. 124 с.
3. Радченко В.П., Афанасьева О.С., Глебов В.Е. Исследование влияния остаточных напряжений на геометрические параметры поверхностно упрочненного бруса // Известия Саратовского университета. Новая серия: Математика. Механика. Информатика. 2019. Т. 19, № 4. С. 464–478. DOI: 10.18500/1816-9791-2019-19-4-464-478

Сведения об авторах:

Виктор Евгеньевич Глебов — студент, группа 2-ИАиИТ-10М, Институт автоматизации и информационных технологий; Самарский государственный технический университет, Самара, Россия. E-mail: gve5770200@mail.ru

Ольга Сергеевна Афанасьева — научный руководитель, кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры прикладной математики и информатики; Самарский государственный технический университет, Самара, Россия. E-mail: afa_samara@inbox.ru