

Кочерова Е.Е., Денискина Е.А., Костичев В.Э., Сушко Р.А.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСТИННЫХ КРИВЫХ ДЕФОРМИРОВАНИЯ
В МОДЕЛИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПОВРЕЖДЕНИЙ МАТЕРИАЛА**

Ранее был предложен расчётно-аналитический подход к анализу долговечности по механизму малоциклового усталости (МЦУ), построенный на базе обобщённой модели накопления макроповреждения с использованием деформационно-энергетических критериев. При этом в качестве меры повреждения материала используется удельная диссипация энергии пластического деформирования, что предполагает возможность анализа накопления повреждения до его критического уровня на всём протяжении жизненного цикла детали.

Единственная модель деформируемого твёрдого тела, позволяющая реализовать термодинамически корректный энергетический подход к накоплению повреждения от статической и циклической пластической деформации на макроуровне, – это используемая в деформационной теории пластичности жёстко-пластическая модель материала [1].

Как основание не только для анализа напряжённо-деформированного состояния (НДС), но и для оценки предельного значения удельной диссипации энергии деформирования используется истинная кривая деформирования, полученная на стандартных образцах. Подробная методология получения истинной кривой деформирования с определением, в том числе, кривой изменения микротвёрдости в критическом сечении стандартного образца для обеспечения возможности привязки пластической деформации и, соответственно, удельной диссипации энергии, полученной в технологическом процессе, к стандартной характеристике материала, в данной работе не приводится.

Современные программные средства и вычислительная техника позволяют получать качественные численные решения задач деформирования трёхмерного твёрдого тела без особых ограничений по геометрии и граничным условиям моделей, исключая зоны негладкости геометрии.

Для таких зон решения на дискретных моделях с удовлетворительной точностью невозможны, но возможны особые подходы, например средствами механики разрушения, реализованными в современных САЕ – программных пакетах или средствами

сабмоделинга с использованием для субэлемента в зоне негладкости решений, реализованных для идеальной жёстко-пластической модели.

Проблему представляют собой только адекватные выбор и формирование модели материала для анализа НДС и формирование моделей повреждения для анализа долговечности реальных деталей и узлов в реальных условиях нагружения.

Известно, что все процессы деформирования и повреждения поликристаллического материала зарождаются на уровне кристаллической решётки кристаллитов с присущими ей дефектами – дислокациями. На этом (нано) уровне моделирование вполне возможно и для монокристаллических материалов, оно может давать вполне приемлемые результаты [2].

В то же время случайным образом сформировавшиеся границы кристаллитов, наличие на них для многих материалов упрочняющей границы кристаллитов фазы, случайная разориентация кристаллической решётки соседних кристаллитов делают весьма проблематичным моделирование на этом уровне материала реальной детали. Попытки нано- и мезо- подхода в вероятностной постановке не дали, по крайней мере на данный момент, удовлетворительного инструмента для реального проектирования.

Реальным для конструктора на сегодняшний день остаётся формирование модели материала на макроуровне, опирающееся на некоторый набор экспериментальных данных для используемого конструкционного материала.

Для линейно-упругого поведения все необходимые данные о модели материала содержатся в соотношениях Гука и включают в себя всего лишь термозависимый модуль упругости и коэффициент Пуассона (в анализе с учётом теплового состояния ещё и термозависимые коэффициент термического расширения, теплопроводность и теплоёмкость) [3].

Сложнее обстоит дело с моделями изотропных поликристаллических металлов, работающими в отдельных зонах (зоны концентрации напряжений для оценки циклической долговечности – МЦУ) или во всей конструкции (при оценках несущей способности) в области необратимых (в том числе и циклических) пластических деформаций и деформаций ползучести.

Проблема состоит в том, что в «континуальной» трёхмерной модели её реальные свойства (истинная кривая деформирования, уравнения, описывающие предельное состояние по МЦУ, МнЦУ, ползучесть или исчерпание длительной прочности и т.д.) формируются на базе простейших макроэкспериментов.

Обычно такие макроэксперименты первой очереди представляют собой набор испытаний стандартных образцов из материала детали при различных температурах и временных параметрах при одноосном растяжении, сжатии или циклическом одноосном растяжении-сжатии с различной асимметрией цикла.

Исходная информация о поведении реального материала детали при анализе её напряжённо-деформированного состояния (стационарного, нестационарного) содержится в экспериментально получаемой диаграмме деформирования и определённом наборе физических свойств материала.

Использование для анализа НДС полученной при испытаниях на растяжение кривой деформирования в координатах напряжение-деформация ($\sigma - \delta$) прямым измерением в соответствии с ГОСТ 1487 некорректно, особенно в области больших деформаций. Некорректность заключается в использовании при формировании диаграммы деформирования по ГОСТ напряжения, полученного по исходной площади сечения рабочей зоны стандартного образца. Соответственно для использования в анализе средствами механики деформируемого твёрдого тела диаграмма должна быть скорректирована, исходя из изменения площади поперечного сечения теоретически в соответствии с законами деформирования в упругой (соотношения Гука) и пластической (несжимаемость) областях или быть построена с учётом прямого измерения минимальной площади рабочего сечения образца в ходе его нагружения до момента начала формирования макрорастрескивания в зоне образующейся шейки.

Полученные экспериментально точки истинной диаграммы деформирования вполне удовлетворительно совпадают с расчётным перестроением при использовании теоретической коррекции.

Библиографический список

1. Надаи, А. Пластичность и разрушение твёрдых тел [Текст] / А. Надаи. М.: – Изд-во иностр. лит., 1954. – 648 с.
2. Новиков, Н.И. Дефекты кристаллического строения металлов [Текст] / Н.И. Новиков. – М.: Металлургия, 1975. – 194 с.
3. Нотт, Дж.Ф. Основы механики разрушения [Текст] / Дж.Ф. Нотт; пер. с англ. – М.: Металлургия, 1978. – 256 с.