

УДК 539.374

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦЫ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ
ПРИ СЛОЖНОМ НАГРУЖЕНИИ****И.С. СВИДУНОВИЧ, Е.И. ПАДАЛИЦКАЯ**
(Представлено: доц. А.Г. ЩЕРБО)

Напряженное состояние в точках элементов современных конструкций, воспринимающих внешние силовые воздействия, нередко оказывается таким, что напряжения превышают предел пропорциональности, т.е. деформации становятся упругопластическими. Существует также ряд технологических процессов, использующих пластическое деформирование как метод образования различных конструктивных форм. Достигается конечное напряженное состояние по траекториям различной геометрии, а история процесса упругопластического деформирования оказывает существенное влияние на конечный результат.

Для оценки прочностного состояния конструкции, определения условий ее нормальной эксплуатации или для определения режима технологического процесса необходимо выявить напряженно-деформированное состояние, т.е. найти зависимости между напряжениями и деформациями, возникающими в процессе деформирования. К настоящему времени определилось несколько основных направлений развития теории пластичности. Наиболее разработанной в настоящее время является теория упругопластических процессов. Для описания упругопластических процессов простого нагружения построены и обоснованы соотношения теории малых упругопластических деформаций, достоверно описывающих физические закономерности, проявляющиеся при простом нагружении.

Уравнения теории малых упругопластических деформаций относятся к произвольному закону упрочнения и используют опытную кривую напряжение – деформация. В рамках этой теории разработан метод упругих решений, который успешно применяется при решении многих задач. Однако при сложном нагружении теория малых упругопластических деформаций не учитывает специфические эффекты, что приводит к существенным погрешностям. В результате исследования процессов сложного нагружения, была создана общая математическая теория пластичности, удовлетворительно описывающая процессы данного класса. Значительный интерес при этом представляет граница упругих деформаций (поверхность текучести, упругая поверхность), т.е. граница перехода к деформациям упругопластическим.

Понятие поверхности текучести широко используется при построении моделей упругопластического деформирования в механике сплошных сред. При этом существенную роль играет как форма поверхности текучести, так и её смещение в зависимости от направления и величины сообщённой первоначальной упругопластической деформации. Так, в ряде работ поверхность текучести представлена в виде эллипса с центром, смещённым в направлении первоначального нагружения, в некоторых видах моделей упругопластического деформирования – в виде окружности. Между тем, положение и форма поверхности текучести имеют решающее значение при определении упругой и пластической составляющих деформации на путях нагружения, различным образом ориентированных в пространстве напряжений. Экспериментальному построению поверхности текучести посвящено значительное число работ, в которых приводится подробная методика получения точек поверхности. Сравнивая результаты описанных экспериментов, можно сделать вывод о подтверждении тенденции смещения поверхности в сторону точки нагружения, однако, теоретическая форма поверхности, особенно на тыльной границе, экспериментального подтверждения, как правило, не получает. Причинами этого авторы указанных работ считают, например, недостаточный полный учёт временных эффектов при определении точек поверхности текучести и ряд других. Однако в результате упругопластического деформирования претерпевают существенные изменения механические характеристики материала, что приводит к изменению соотношения упругой и пластической составляющих полной деформации и порождает ошибки.

Предлагаемая методика построения упругой поверхности по экспериментальным данным заключается в следующем. Трубчатый образец деформируется путём закручивания до некоторой интенсивности. Затем образец разгружается в заведомо упругую область и из этой точки-репера осуществляется путь нагружения, составляющий некоторый угол с первоначальным направлением. Из полной деформации, выделившийся на этом пути, вычитается упругая составляющая для получения остаточной деформации. Точка поверхности считается найденной, когда остаточная деформация достигает величины, равной принятому допуску. Нагружение повторяется на другом образце до той же первоначальной интенсивности с последующим нагружением по пути, составляющему другой угол с первоначальным направлением деформирования. Таким образом, каждая точка поверхности определяется на основании деформирования одного образца. Поверхность, полученная по изложенной методике, построена по 30 точкам

при допуске на пластическую деформацию 0,00025. Эта поверхность оказалась вогнутой на тыльной части и вектор приращения пластической деформации в точке, противоположной точке нагружения и ближайших к ней точках, будучи перпендикулярных к поверхности, должен иметь отрицательную составляющую вдоль оси растяжения, что не наблюдается. Указанное противоречие может быть объяснено ошибочным уменьшением упругой составляющей, если считать эту величину по первоначальному модулю упругости, не учитывая его изменение в процессе предварительного упругопластического деформирования. Изменение модуля G при первоначальном закручивании составляет 12-15%, а изменение модуля E до 10%. Если учесть эти изменения при определении соответствующих составляющих, указанный выше допуск на пластическую деформацию достигается на более длинных лучах повторного нагружения, и тыльная часть поверхности текучести хоть и остаётся смещённой к точке нагружения, уже не является вогнутой и располагается в отрицательной части оси сдвига на такую же величину, что и расстояние до тыльной точки, полученной по первоначальной методике, располагающейся в положительной части оси сдвига. Построенные при этом векторы приращения пластической деформации оказываются градиентальными к поверхности текучести с отклонениями порядка отклонений в других точках.

Таким образом, с учётом изменений модулей упругости построенная поверхность оказывается более точной, на что указывает градиентность векторов пластической деформации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильюшин А.А. Пластичность. –М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 271 с.
2. Шишмарёв О.А. Образ процесса нагружения для двухзвенных ломаных с углом излома более 90° /Шишмарёв О.А., Щербо А.Г. // Из-во АН СССР. Сер. Механика твёрдого тела. 1982. – Ч.5. – 185–189 с.
3. Shishmarev O.A. Variation of elastic constants of metal during plastic deformation. /Shishmarev O.A., Shcherbo A.G. // Arch. Mech. – Warszawa, 1990. – 42,1. – P. 43–52.