РАЗДЕЛ III. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Патрина Т.А.

Методика исследования механических характеристик материалов при растяжении, сжатии с использованием компьютерных технологий

*Санкт-Петербургский Государственный электротехнический университет
“ЛЭТИ”*

(Россия, Санкт-Петербург)

doi: 10.18411/sr-10-10-2020-04

idsp: sciencerussia-10-10-2020-04

Аннотация

Предложенная методика исследования механических характеристик материалов при растяжении, сжатии с помощью выбранного пакета конечно-элементного анализа Ansys позволяет лучше понять процесс деформации твердого тела материала, наглядно представить механические характеристики конструкций.

Ключевые слова: механические характеристики материалов конструкций, программный пакет конечно-элементного анализа Ansys, напряжения и деформации твердых тел при растяжении, сжатии.

Abstract

The proposed method of studying the mechanical characteristics of materials during tension and compression using the selected package of finite-element analysis of Ansys allows to better understand the process of deformation of the solid body of the material, to clearly represent the mechanical characteristics of structures.

Keywords: mechanical characteristics of structural materials, software package of finite-element analysis Ansys, stress and deformation of solids during tension, compression.

Введение

Для разработки методики исследования механических характеристик материалов твердых тел при растяжении и сжатии был выбран расчетный пакет Ansys. Программное обеспечение Ansys Multiphysics включает модуль геометрического моделирования, модуль получения конечно-элементной модели и модуль решения нелинейных задач. Достоинствами использования данного пакета являются наличие алгоритма последовательного связывания физических полей в междисциплинарных задачах и собственный язык программирования APDL, позволяющий организовать автоматизацию системы.

Теперь рассмотрим, что является механическими характеристиками материала на различных стадиях деформации конструкции. График зависимости деформаций от напряжений выявляет эти механические характеристики.

К механическим характеристикам относятся предел пропорциональности $\sigma_{пц}$ – напряжение для которого справедлив закон Гука, т.е. пропорциональная зависимость между внешней нагрузкой и вызываемой ею деформацией; предел текучести – напряжение σ_m при котором деформации растут без заметного увеличения нагрузки; временное сопротивление $\sigma_{вр}$ – напряжение, которое соответствует максимальной нагрузке. При расчете прочности пластичных материалов за опасное напряжение принимается предел текучести, для хрупких материалов за опасное напряжение принимается временное сопротивление.

Допускаемое напряжение вычисляется по формуле: $\sigma = \sigma_{оп} / n$, где σ опасное напряжение, n – коэффициент запаса прочности. За опасное напряжение принимается

механическая характеристика материала, коэффициент запаса прочности должен быть не менее 1,5.

Методика исследования механических характеристик материалов с помощью программы Ansys.

Для решения задач динамики конструкции задействован модуль Transient Structural. В качестве конструкции исследования выбран стальной стержень с нелинейными свойствами материала. Первой задачей является создать геометрическую модель конструкции в модуле Geometry. В режиме эскизирования необходимо нарисовать окружность, задать диаметр окружности через вкладку Modify [1, р. 234]. В режиме моделирования вытянуть окружность на заданное расстояние через операцию Extrude. Также последовательно построить еще две цилиндрические части. Затем создать собственную координатную плоскость на дальней стороне третьей цилиндрической части стержня. Потом зеркально отобразить три последовательных цилиндра относительно построенной плоскости [2]. Через команду Chamfer следует выполнить фаски на ребрах объемной модели (рисунок 1).

Рисунок 1. Построение зеркально второй части стержня

Для исследования механических характеристик необходимо выделить геометрический участок посередине стержня через команду Slice (рисунок 2) и объединить разделенные участки стержня в один объект.

Выбор материалов для созданных тел и задание их свойств происходит через модуль Engineering Data, связанный с блоком анализа (рисунок 3, 4).

Рисунок 2. Выделение участка стержня для механического исследования

Рисунок 3. Задание нелинейных свойств материалов стержня

Рисунок 4. Задание нелинейных свойств модели твердого тела

Затем требуется построить конечно – элементную сеть в модуле симуляции Mechanical [3]. Сеть генерируется на геометрической модели и является основной для составления и решения системы уравнений в матричном виде (рисунок 5).

Рисунок 5. Построение конечно-элементной сети для стержня

Теперь требуется задать время исследования эксперимента и временной шаг расчета напряжений и деформаций конструкций. Это выполняется через Analysis Settings (рисунок 6).

Рисунок 6. Настройка решателя. Задание шага времени расчета

Следующий этап – задание действующих сил на стержень. Среди нагрузок нам понадобится параметр Velocity. Производится выбор поверхности, на которую действует растяжение (параметр Geometry), задается величина скорости (параметр Magnitude) и направление для приложенной скорости (опция Define By). Второму концу стержня нужно установить жесткое закрепление – Fixed Support.

Результаты расчета.

На рисунке 7 представлен график зависимости эквивалентных напряжений Мизеса Equivalent (von Mises) Stress, учитывающие одновременно касательные и нормальные напряжения, от эквивалентных полных деформаций Equivalent Total Strain. Расчет проведен с заданным временным шагом для среднего участка стержня до момента разрушения, т.е. достижения допустимых напряжений. Максимальные деформации наблюдаются в сужающейся шейке стержня.

Рисунок 7. График зависимости эквивалентных напряжений от эквивалентных полных деформаций среднего участка стержня

На рисунке 8 представлен график зависимости величины относительного удлинения от приложенной нагрузки к концу стержня. По нему можно определить механические характеристики материала: предел пропорциональности $\sigma_{пц}$, предел текучести – напряжение σ_m , временное сопротивление. Расположение механических характеристик материала на графиках, представленных на рисунках 7, 8 совпадает, так как создаваемое эквивалентное напряжение находится в зависимости от величины приложенной нагрузки $\sigma = P / F$, где F – площадь сечения в месте стержня, где проводится исследование. На начальной стадии нагружения стержня до точки А (рисунок 8) справедлив закон Гука, зависимость между нагрузкой P и удлинением ΔL линейная [4, с. 420]. Образец испытывает упругую деформацию. Максимальная нагрузка на этом участке – $P_{пц}$.

Рисунок 8. График зависимости между приложенной нагрузкой к концу стержня и относительным удлинением для среднего участка стержня

Далее зависимость между P и ΔL становится нелинейной. Рост деформации происходит без заметного роста нагрузки. Для металлов (пластических материалов) это явление получило название текучести. На диаграмме это соответствует горизонтальному участку от точки B – участок текучести. Нагрузка при этом равна P_m . Следует заметить, что у большинства пластичных материалов площадка текучести отсутствует. Однако условно считают, что нагрузка равняется P_m , если деформация составляет 0,2% от длины рабочей части образца.

После стадии текучести материал вновь начинает сопротивляться возрастающей нагрузке – стадия упрочнения. До момента достижения точки C на диаграмме, что соответствует максимальной нагрузке P_{max} , продольная и поперечная деформации растут равномерно. Полная деформация в каждый момент времени складывается из упругой и остаточной, что видно на диаграмме в точке S . Отрезок LM – упругая или исчезающая деформация, отрезок – остаточная или пластическая деформация. Линия разгрузки SL параллельна линии нагрузки – первоначальному участку OL диаграммы.

При достижении максимальной нагрузки P_{max} значение деформации локализуются в ослабленном сечении, т.е. образуется местное сужение поперечного сечения. Сопротивление образца нагрузкам резко падает, что видно на диаграмме – кривая идет вниз. В точке D происходит разрушение образца, и нагрузка в момент разрыва равна P_k .

Заключение

В рабочих программах дисциплины «Прикладная механика» предусмотрено проведения лабораторных работ по экспериментальному исследованию механических свойств материалов. Эти работы носят чисто демонстрационный характер и это, безусловно, не позволяет студенту полностью понять физические и механические явления, которые происходят в материале, но другого способа проведения данных лабораторных работ не может быть, т.к. это связано с работой сложного оборудования и специальной подготовки лаборантов. Однако современное развитие вычислительной техники и внедрение в учебный процесс компьютерных технологий позволяет в дополнение к лабораторным работам по экспериментальному исследованию механических свойств материалов разработать методику исследований механических характеристик конструкционных материалов при растяжении, сжатии. Это позволяет студентам высших учебных заведений наглядно представить механические характеристики конструкций, способствует лучшему усвоению учебного материала.

1. Bruyaka, V.A, Fokin, V.G. & Soldusova, E.A. (2010) Engineering analysis in ANSYS Workbench. – Samara: SSTU, 2010. –234 p.
2. Training manual for the software package ANSYS. CADFEM.
3. Zienkewicz, O. C., Taylor, R. L. The finite element method 5th ed. – Oxford. UK: Butter worth-Heinemann, 2002.
4. Бегун, П.И., Кормилицын, О.П. Прикладная механика. – СПб.: Политехника, 2012. – 420 с.