

Расчет термических напряжений в образце горной породы при его нагревании средствами COMSOL Multiphysics

Ишмухаметов Р. А.

Ишмухаметов Рустем Айдарович / Ishmukhametov Rustem Aydarovich - студент магистратуры, кафедра математического моделирования, факультет математики и информационных технологий, Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета, г. Стерлитамак

Аннотация: все возможности пакета COMSOL Multiphysics раскрываются при моделировании мультифизических (междисциплинарных) задач. Одной из таких является задача расчета термических напряжений в образце горной породы при её нагревании. В ходе решения задачи должны быть учтены как законы механики, так и тепловые законы.

Ключевые слова: механическое напряжение, моделирование, comsol.

Достоинством программного пакета COMSOL Multiphysics является возможность проведения расчетов с использованием нескольких физических законов.

В качестве примера рассмотрим расширение задачи о расчете температурного градиента, рассмотренной выше. При существовании температурного градиента области с различной температурой, находящиеся рядом, будут расширяться с разной степенью, что приведет к возникновению механических напряжений.

Рассмотрим расчет напряжений, возникающих в образце горной породы, имеющем форму параллелепипеда, при его нагревании с линейно возрастающей температурой на боковых гранях от 0°C до 1000°C.

Образец будет иметь форму параллелепипеда с размерами поперечного сечения 20 x 20 мм и высотой 10 мм.

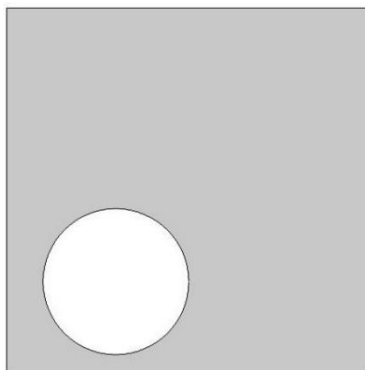


Рис. 1. Геометрия модели

Мультифизическая модель объединяет уравнения расчета плоских деформаций Plane Strain в разделе структурной механики Structural Mechanics и теплопередачи в разделе Heat Transfer.

Механические процессы протекают гораздо быстрее, чем тепловые, поэтому их длительностью в данном случае можно пренебречь, и в задачах структурной механики будет рассматриваться статическая модель. Поведение моделируемой конструкции описывается системой дифференциальных и алгебраических уравнений следующего вида.

1. Законы механики. В основы расчетов заложен принцип виртуальной работы, который для плоского напряженного состояния описывается уравнением

$$\delta W = \int_V (-\varepsilon_{xt}\sigma_x - \varepsilon_{yt}\sigma_y - 2\varepsilon_{xyt}\sigma_{xy} - \vec{u}_t^i \vec{F}_V^i) dV + \int_S \vec{u}_t^i \vec{F}_S^i ds = 0 \quad (1)$$

где W - общая накопленная энергия, δW - ее приращения, буквами ε с соответствующими коэффициентами обозначены деформации, а буквами σ - напряжения, буквами F обозначены векторы сил.

2. Тепловые законы. Для расчета переходного теплового режима используется уравнение теплопроводности в виде

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (k \nabla T) = Q(t), \quad (2)$$

где ρ - плотность; C_p - удельная теплоемкость при постоянном давлении, $T(x, y, z, t)$ - температура в точке с координатами x, y, z ; t - время; k - коэффициент теплопроводности (теплопроводность); T - температура; $Q(t)$ - тепловые источники (плотность теплового потока).

Введя необходимые константы материала, установив граничные условия и формулы для подсчета напряжений, было получено изображение деформированного образца (рис. 2). Установив флажки на Max/min marker и Subdomain max/min data, получим максимальное и минимальное значения горизонтального, вертикального и сдвигового напряжений.

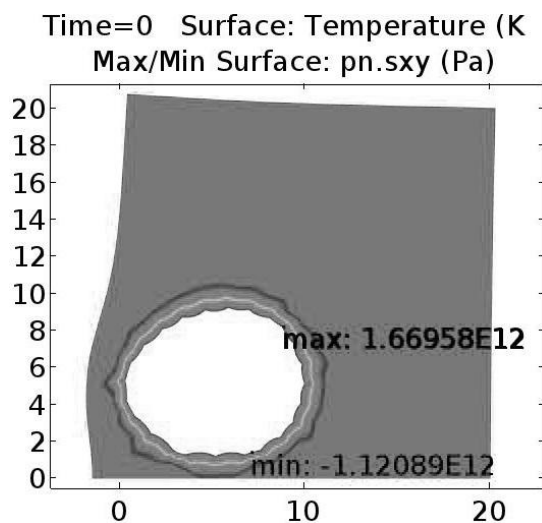


Рис. 2. Изображение деформированного при нагревании образца горной породы

Литература

1. Вознесенский А. С. Компьютерные методы в научных исследованиях. Часть 2. Компьютерное моделирование физических объектов и процессов горного производства: Учебник для студентов специальности 130401 «Физические процессы горного или нефтегазового производства». М.: МГГУ, 2011, 107 с.
2. Сайт компании разработчика пакета COMSOL Multiphysics. [Электронный ресурс]. / www.comsol.com. Режим доступа: <http://www.comsol.com/>, свободный.