

УДК 539.3

А.С.Немов (5 курс, каф. МиПУ), А.И.Боровков, к.т.н., проф.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЧАТОЙ ДЕТАЛИ МЕТОДОМ КВАЗИВИХРЕВОЙ ВЫТЯЖКИ

Вихревое нагружение рассматривается как способ повышения циклической долговечности деталей трубчатой формы путем возбуждения в них необходимого тренирующего воздействия на упруго-пластической стадии деформирования материала трубы. Оно представляет собой нагружение с вращением главных осей напряженного состояния при увеличении значения напряжения и осуществляется посредством одновременного приложения осевой силы, внутреннего давления и крутящего момента. Осевую силу и внутреннее давление прикладывают по отнулевому циклу в противофазах, а крутящий момент – по симметричному циклу с отставанием по фазе на четверть периода относительно фазы одного из экстремальных значений осевой силы, при этом вихревому растяжению придают спиралевидно нарастающий характер.

Рассматриваемое квазивихревое нагружение представляет собой аппроксимацию вихревого нагружения и заключается в том, что вращение главных осей напряженного состояния в материале осуществляется дискретно за счет воздействия на трубу по четырем фазам, составляющим один цикл нагружения. Первая фаза – осевое растяжение трубы, вторая фаза – двухосное растяжение трубы (осевое растяжение и растяжение внутренним давлением) с кручением в условиях пропорционального нагружения, третья фаза – растяжение трубы внутренним давлением, четвертая фаза – двухосное растяжение трубы с кручением в противоположном направлении в условиях пропорционального нагружения.

При этом нагружение на каждой фазе каждого цикла сопровождается последующей полной разгрузкой, а наращивание растягивающего напряжения обеспечивается за счет его равномерного ступенчатого изменения на каждом последующем шаге. Схематически способ нагружения представлен на рис. 1. Чертеж рассматриваемой цилиндрической трубчатой детали

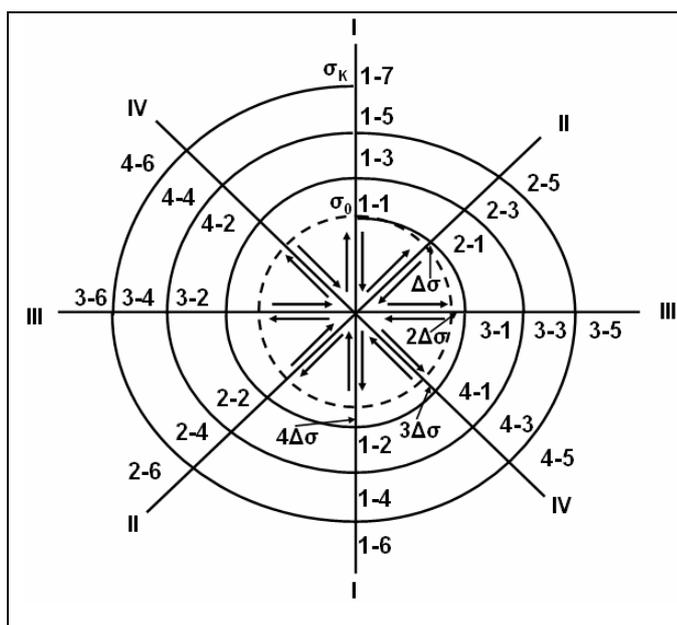
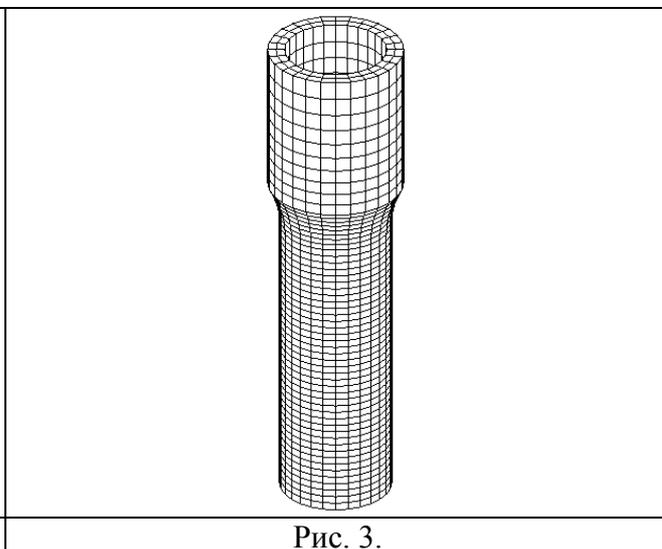
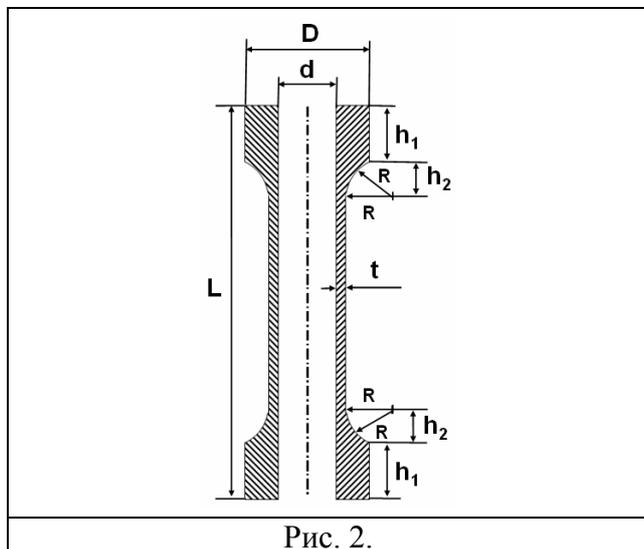


Рис. 1.

приведен на рис. 2. Параметры трубчатой детали: $d = 30$ мм; $t = 1,5$ мм; $D = 40$ мм; $h_1 = 40$ мм; $h_2 = 20$ мм; $R = 30$ мм; $L = 300$ мм. На рис. 3 приведен вид созданной КЭ модели. Данная модель имеет 3 304 элемента, 18 088 узлов и обладает 54 264 степенями свободы.

Параметры материала конструкции: модуль Юнга $E = 210$ ГПа, коэффициент Пуассона $\nu_f = 0,3$, модуль упрочнения $H = 60$ МПа. Задача решалась в терминах малых и больших упруго-пластических деформаций. При решении серии задач в предположении малости упруго-пластических деформаций были подобраны значения прикладываемых нагрузок на каждом шаге, обеспечивающие равномерное приращение интенсивности пластических деформаций. На рис. 4 представлены результаты расчета первых трех

циклов нагружения (этапы нагружения с 1-1 по 4-3) как в предположении малости упруго-пластических деформаций, так и с учетом больших упруго-пластических деформаций. По оси абсцисс на графике отложены номера этапов нагружения (1 соответствует этапу 1-1, 2 – этапу 2-1 и так далее, вплоть до 12 (этап 4-3)), а по оси ординат отложена максимальная интенсивность остаточных пластических деформаций, наблюдаемая после завершения данного этапа нагружения.



Из рис. 4 видно, что лишь на первых двух этапах нагружения решение в малых упруго-пластических деформациях дает результаты, близкие к результатам решения с учетом больших упруго-пластических деформаций. На дальнейших шагах нагружения переход к большим упруго-пластическим деформациям (то есть учет изменения жесткости конструкции в процессе деформирования) приводит к существенному изменению результатов решения, причем эти изменения наиболее

значительны на шагах нагружения, соответствующих растяжению внутренним давлением (этапы нагружения с номерами 3, 7 и 11).