Министерство образования и науки Российской Федерации

КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ им. Н. И. ЛОБАЧЕВСКОГО

КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

Специальность: 010500 - механика

Специализация: 010800.62 - механика и математическое моделирование

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(Бакалаврская работа)

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЛАСТИНЫ И ОБОЛОЧКИ В ППП ANSYS

Работа завершена:
"___"_____2014 г. _____(И.Р. Каримов)

Работа допущена к защите:
Научный руководитель
к.ф.-м.н., с.н.с., доцент
"___"_____2014 г. _____(С.А. Кузнецов)

Заведующий кафедрой
док. физ.-мат. наук, профессор
"___"_____2014 г. _____(Ю.Г. Коноплев)

Казань — 2014

Оглавление

Введение 2

1. Численное решение контактных задач 8

2. Моделирования контактной задачи в программе ANSYS .....…12

3. Этапы моделирования задачи……..... 14

4. Таблица сравнения результатов для различных материалов

цилиндра……..…32

Заключение…….33

Список литературы……..... 34

Приложение……..…35

Введение

Многие задачи, с которыми приходится в настоящее время сталкиваться исследователям и инженерам, не поддаются аналитическому решению либо требуют огромных затрат на экспериментальную реализацию. Прогресс в разработке численных методов и компьютерного моделирования позволил существенно расширить круг задач, доступных анализу. Полученные на основе этих методов результаты используются практически во всех областях науки и техники. Метод конечных элементов (МКЭ) является мощным, надежным и современным средством исследования поведения конструкций в условиях разнообразных воздействий. Программа ANSYS, использующая МКЭ, широко известна и пользуется популярностью среди инженеров, занимающихся решением вопросов прочности. Средства МКЭ ANSYS позволяют проводить расчеты статического и динамического напряженно-деформированного состояния конструкций, в том числе геометрически и физически нелинейных задач механики деформируемого твердого тела. Это позволяет решить широкий круг инженерных задач. Первичными переменными, которые вычисляются в ходе конструкционного анализа в ANSYS, являются узловые перемещения. В дальнейшем, исходя из вычисленных перемещений в узлах сетки, определяются другие важные параметры: перемещение конструкции, напряжения, деформация, реакции и прочее.

В контактных задачах рассматривается контактное взаимодействие тел. Такие задачи имеют большое практическое значение. Они возникают, когда требуется исследовать процесс деформирования составных конструкций, при ударных взаимодействиях тел, при качении колеса по рельсу, по дороге. Контактное взаимодействие анализируется в прочностных расчётах упругих, вязкоупругих и пластичных тел при статическом или динамическом контакте. Контактное взаимодействие имеет место в шарнирных, фланцевых

соединениях, при различных технологических операциях обработки – штамповки, резании, бурении нефтяных и газовых скважин, в шарико- и ролико- подшипниках, опорных частях мостовых пролетных строений, зубчатых колесах, фундаментах под сооружениями и др.

Классическая механика контактных взаимодействий связана, прежде всего, с именем Генриха Герца. В 1882 году Герц решил задачу о контакте двух сферических упругих тел и затем рассмотрел более общие случаи сжатия соприкасающихся упругих тел [1].

Особенностью контактных задач [2] является наличие на части поверхности упругого тела того или иного контакта с другим телом, абсолютно жестким или упругим. Граничные условия на поверхности контакта тел становятся специфическими. Поверхностные силы представляют собой результат взаимодействия рассматриваемого тела с примыкающими к нему телами. Если взаимодействуют твердые тела, то точки соприкосновения – точки контакта в области контакта перемещаются одинаково, или при наличии соприкасания, проскальзывают одна относительно другой. Все это осложняет граничные условия для каждого из контактных тел, т.к. неизвестны ни напряжения по поверхности контакта, ни перемещения точек этой поверхности.

Контактные задачи классифицируются

<u>по признаку размерности:</u>

- плоские;
- пространственные (осесимметричные);

<u>по признаку физических свойств контактирующих тел:</u>

- контакт абсолютно жесткого и деформируемого (упругого) тела;
- контакт двух деформируемых тел;

<u>по признаку размеров контактной площадки:</u>

- площадка контакта сохраняет свои размеры и форму в процессе роста силы (контакт плоского штампа и основания);
- площадка контакта увеличивается с ростом силы (контакт шаров);

- площадка контакта увеличивается с ростом силы до некоторого предела, после которого сохраняет свои размеры и форму (контакт штампа со сферической контактной поверхностью и основания);

<u>по условиям взаимодействия контактирующих тел на площадке контакта:</u>

- отсутствие сил трения на всей поверхности контакта;
- наличие полного сцепления тел на поверхности контакта;
- наличие тангенциальных сил взаимодействия на части площадки контакта (сцепление контактных тел), величина которых меньше произведения нормального давления на коэффициент трения; а на остальной части площадки контакта - (проскальзывание) наличие тангенциальных сил трения, равных произведению нормального давления на коэффициент трения. Граница между участками контактной поверхности изменяется с ростом сил.

Из большого числа примеров рассмотрим типичные контактные задачи. **Давление шара на плоскость [6]** (рис. 1). Твёрдый шар радиуса R вдавливается в упругое полупространство на глубину d (глубина проникновения), образуя область контакта радиуса a:

$$a = \sqrt{Rd},$$

или $a = \frac{1}{2R}$.

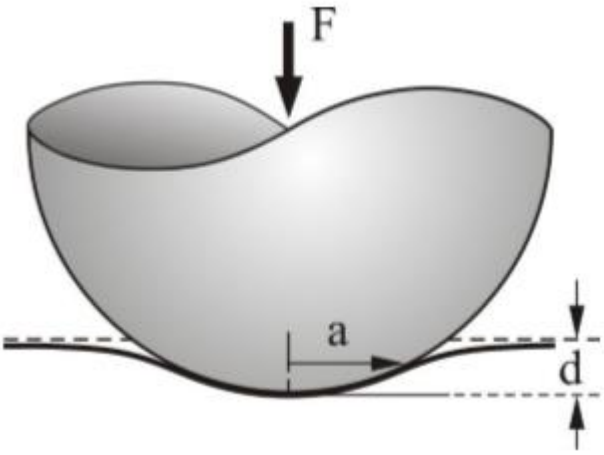


Рис. 1. Контакт между шаром и упругим полупространством.

Необходимая для этого сила равна

$$F = \frac{4}{3} E^* R^{\frac{1}{2}} d^{\frac{3}{2}}, \text{ где } \frac{1}{E^*} = \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}$$

E_1 и E_2 - модули упругости, ν_1 и ν_2 – коэффициенты Пуассона обоих тел.

При контакте двух шаров с радиусами R_1 и R_2 эти уравнения справедливы соответственно для радиуса R : $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

Распределение давления по площади контакта определяется как

$$p = p_0 \left(1 - \frac{r^2}{a^2}\right)^{\frac{1}{2}}, p_0 = \frac{2}{\pi} E^* \left(\frac{d}{R}\right)^{\frac{1}{2}}.$$

Наибольшее напряжение

$$\sigma_{\max} = 0.388 \sqrt[3]{FE^{*2} \frac{1}{R^2}}.$$

Два упругих шара при взаимном нажатии друг на друга [5] (рис. 2). Сначала они соприкасаются в точке, далее под действием силового взаимодействия соприкосновение идет по площадке в форме круга некоторого радиуса.

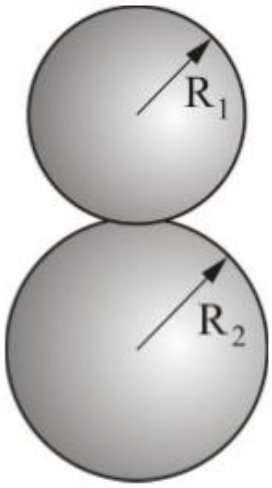


Рис. 2. Контакт двух упругих шаров.

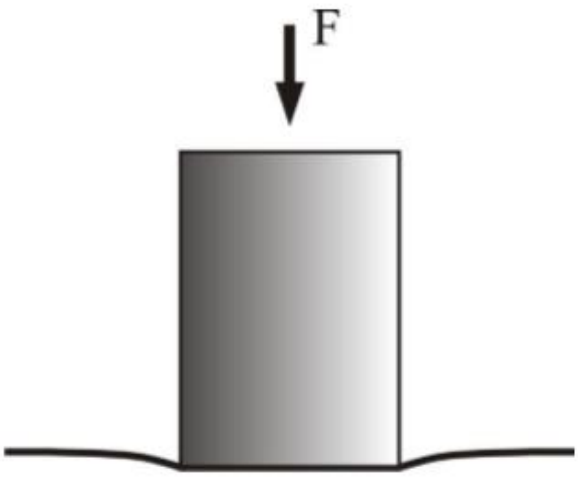


Рис. 3. Контакт между твердым цилиндрическим штампом и упругим полупространством.

Радиус площадки контакта

$$a = \frac{R_1 + R_2}{2R_1R_2}.$$

Наибольшее напряжение

$$\sigma_{\max} = 0.388\sqrt[3]{FE^2\frac{\left(R_1 + R_2\right)^2}{\left(R_1R_2\right)^2}}.$$

Давление жесткого штампа на упругое полупространство [7] (рис. 3).

Для точек площадки контакта в процессе решения находятся напряжения или перемещения как неизвестные заранее сложные функции нагрузки, формы и материала контактных тел. Если твердый цилиндр радиусом а вдавливается в упругое полупространство, давление распределяется следующим образом

$$p = p_0\left(1 - \frac{r^2}{a^2}\right)^{-\frac{1}{2}},$$

$$p_0 = \frac{1}{\pi}E^*\frac{d}{a}.$$

Связь между глубиной проникновения d и нормальной силой определяется формулой

$$F = 2aE^*d.$$

Контакт между двумя цилиндрами с параллельными осями [8] (рис. 4).

В случае контакта между двумя упругими цилиндрами с параллельными осями длиной l сила прямо пропорциональна глубине проникновения:

$$F = \frac{\pi}{4}E^*ld.$$

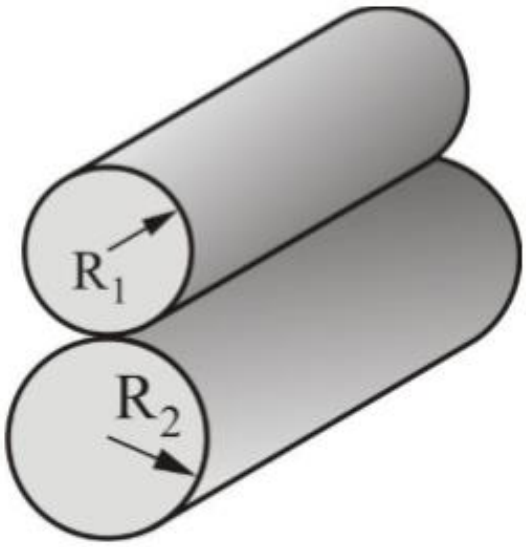


Рис. 4. Контакт между двумя цилиндрами с параллельными осями.

Радиус кривизны в этом соотношении вообще не присутствует. Полуширина контакта определяется следующим отношением

$$a = \sqrt{Rd},$$

где $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$, как и в случае примера на рис. 1.1, или

$$a = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right).$$

Максимальное давление равно

$$p_0 = \left(\frac{E * F}{\pi l R}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Наибольшее напряжение

$$\sigma_{\max} = 0.418\sqrt{\frac{FE}{l}\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}}.$$

Численное решение контактных задач

В настоящее время использование численных методов, в частности метода конечных элементов, и компьютерная реализация вычислений позволяет анализировать практически любые контактные взаимодействия с учетом самых разнообразных факторов – трения, скольжения, температуры, пластической деформирования. Решение нелинейных задач производится пошагово итерационными методами, так как размеры площадок контакта зависят от величины деформации взаимодействующих тел. Решение контактных задач с помощью программы численного конечно-элементного метода анализа ANSYS включает следующие основные шаги:

1. создаётся конечно-элементная сеточная модель;
2. устанавливаются контактные пары;
3. задаются целевая и контактная поверхности;
4. определяются необходимые константы контактных элементов и опции контакта;
5. накладываются граничные условия (силы, закрепления);
6. задаются параметры нагружения и решения;
7. выполняется решение задачи;
8. производится анализ результатов.

Контактные пары (contact pair) устанавливаются в результате предварительного анализа поведения составной конструкции при её деформировании. Программа ANSYS позволяет моделировать следующие типы контактных пар: «узел – узел» (рис. 5), «узел – поверхность» (рис. 6), «поверхность – поверхность» (рис. 7). Контактные пары могут быть плоскими (2D) и объемными (3D). Контактирующие тела могут быть податливыми (деформируемыми - flexible) и жесткими (rigid). В контактной асимметричной паре «поверхность – поверхность» одна из поверхностей принимается целевой (TARGET) , другая – контактной (CONTACT). При выборе можно руководствоваться перечисленными ниже правилами [9].

Рис. 5. Контактная пара «узел – узел».

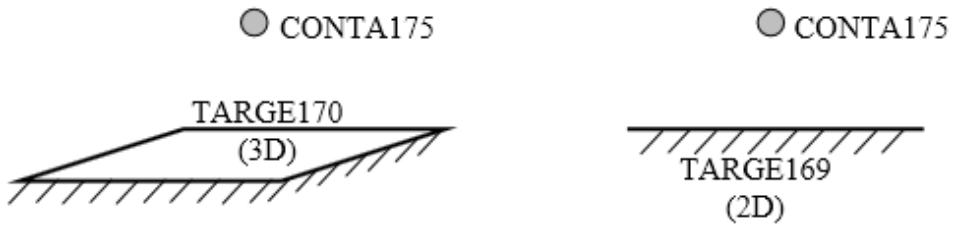


Рис. 6. Контактная пара «узел – поверхность».

Рис. 7. Контактная пара «поверхность – поверхность».

- Если одна поверхность (A) является плоской или вогнутой, а другая поверхность (B) является острым ребром или выпуклостью, то поверхность A должна быть целевой.
- Если обе контактирующие поверхности выпуклые, то целевой поверхностью принимается менее выпуклая.
- Если обе поверхности являются плоскими, выбор контактной и целевой произволен.
- Если одна контактная поверхность имеет острое ребро, а другая не имеет его, то первая принимается контактной поверхностью.

- Если одно из контактирующих тел абсолютно жесткое, то его поверхность принимается целевой.

В некоторых случаях полезно создавать симметричный контакт. При этом каждая поверхность определяется и как целевая, и как контактная. Так можно моделировать, например, контакт двух областей, имеющих острые рёбра или рифленые (волнообразные) поверхности.

Как только поверхности контакта идентифицированы, на контактной паре определяются их целевые и контактные элементы, которые будут прослеживать кинематику процесса деформирования.

Выбранные целевые поверхности покрываются целевыми конечными элементами типа TERGET (TARGE169 – для 2D поверхности, TARGE170 – для 3D поверхности).

Выбранные контактные поверхности покрываются контактными конечными элементами типа CONTACT (CONTA171, 172 - для 2D поверхности, CONTA173, 174 - для 3D поверхности).

Для контактов «узел – узел» используются контактные элементы CONTAC12, 52. Для контактов «узел – поверхность» применяются элементы CONTA175.

Моделирование контактных пар обычно производится в интерактивном режиме с помощью блока Contact Wizard (рис. 14) Мастера контактов (Contact Manager), включаемого командой графического интерфейса (ANSYS Graphics) командой Contact Pair (Preprocessor > Modeling > Create > Contact Pair > Contact Wizard). Большая часть констант и опций (Optional settings) оптимально устанавливается по умолчанию самим Мастером контактов.

В рассмотренных ниже задачах рекомендуется установить опцию автоматического регулирования контакта (Automatic contact adjustment) на «Close gap», чтобы устранить возможный зазор между контактируемыми поверхностями путём сдвига контактной поверхности.

Если одно из контактирующих тел жесткое, то надо сделать соответствующее указание в Мастере контакта - Target Type: Rigid (рис. 14 а).

Если необходимо учесть трение в контакте, то в Мастере контактов (рис. 14 б) должен быть указан коэффициент трения (Friction Coefficient) в блоке Friction.

При моделировании прессовой посадки с предварительным натягом, в Мастере контактов нужно отметить этот натяг командой Initial penetration (рис. 14 б).

Выбор метода расчета контактных пар Contact Algorithm рекомендуется доверить Мастеру контактов по умолчанию.

Результаты расчета контактного взаимодействия просматриваются как в главном постпроцессоре (General Postproc), так и в постпроцессоре истории нагружения (Timehist Postproc).

В General Postproc анализируются напряжения, деформации, перемещения деталей и зоны контакта. Определяются статус, контактное давление в самой контактной паре. В Timehist Postproc можно посмотреть параметры результатов для конкретно выбранного узла в процессе нагружения (во времени) [3].

Моделирование контактной задачи в программе ANSYS

Описание задачи: цилиндр радиусом 2 м контактирует со стальной пластиной толщиной 25 см. Пластина жестко закреплена по правому и левому краю (рис. 8).

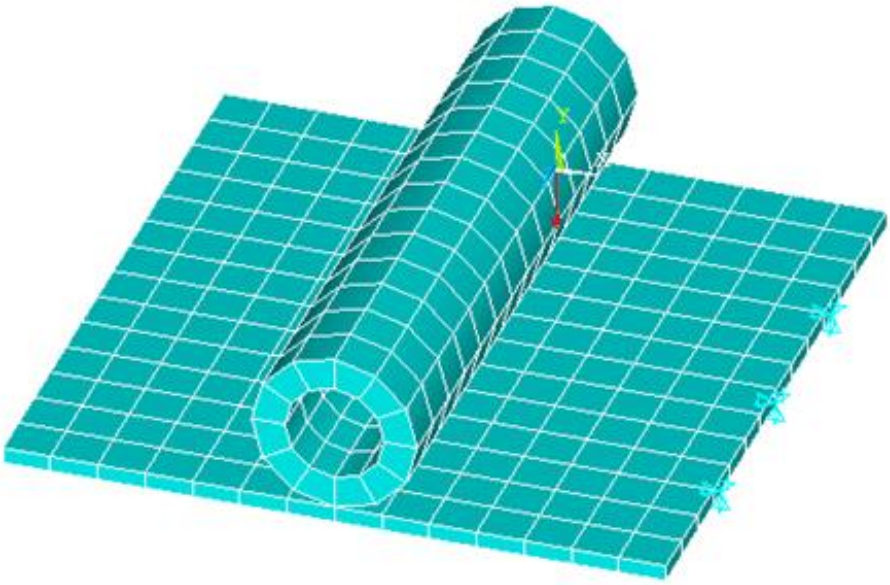


Рис. 8. Геометрическая модель взаимодействующих объектов

Свойства материалов: пластина – сталь3 - модуль упругости E1 = $2*10^5$ МПа, коэффициент Пуассона PRXY1 = 0.3, плотность – 7850 кг/куб.м, цилиндр – сталь3 - E2 = $2*10^5$ МПа, коэффициент Пуассона PRXY2 = 0.3, плотность – 7850 кг/куб.м.

Тип анализа: статическая симметричная линейно упругая геометрически нелинейная задача.

Цель анализа: расчет напряженно-деформированного состояния и контактного давления.

Этапы моделирования задачи представлены ниже в интерактивном (диалоговом) [подпункт «a»] и пакетном (командном) [подпункт «b»] режимах. Диалоговый режим выполняется посредством использования

клавиатуры и мышки для выполнения последовательности команд в Utility Menu, Main Menu, Toolbar. Для диалогового режима курсивом указывается информация, вносимая с помощью клавиатуры. Маркером выделены позиции, которые выбираются в панели диалогового окна с помощью мыши.

Пакетный режим выполняется путем запуска на решение командного файла – программы, написанной в командах ANSYS и языка APDL. Этот запуск производится с помощью панели ANSYS Product Launcher, где должен быть выбран режим Bach в позиции Simulation Environment. Командный файл при этом должен иметь первую команду /Bach.

Этот командный файл можно запустить на решение из графического интерфейса ANSYS с помощью команд: Utility Menu > File > Read Input from… (указывается нужный файл) > OK. Командный файл поставленной задачи должен иметь расширение *.lgw или *.log. Командный режим может выполняться путем внесения команды с клавиатуры (без пробелов) или полного командного файла (из буфера обмена) в окно ANSYS Input и нажатия кнопки Enter (выполнение команды). В последних двух случаях рекомендуется удалить из командного файла первую команду /Bach.

Этапы моделирования задачи.

1. Присвоение задаче имени «contact». Данное название будут иметь различные файлы, создаваемые программой:

a. Utility Menu > File > Change Jobname Contact > OK

b. /FILNAME,CONTACT,0

2. Выбор типа анализа:

a. Main Menu > Preferences > √ Structural > OK

b. /COM,Structural

3. Начало работы в препроцессоре:

a. Main Menu > Preprocessor

b. /PREP7

4. Выбор конечных элементов (рис. 9):

1- номер типа элемента - для стального цилиндра –PLANE 182 (название плоского элемента в библиотеке программы),

2 - для стальной пластины – PLANE 42.

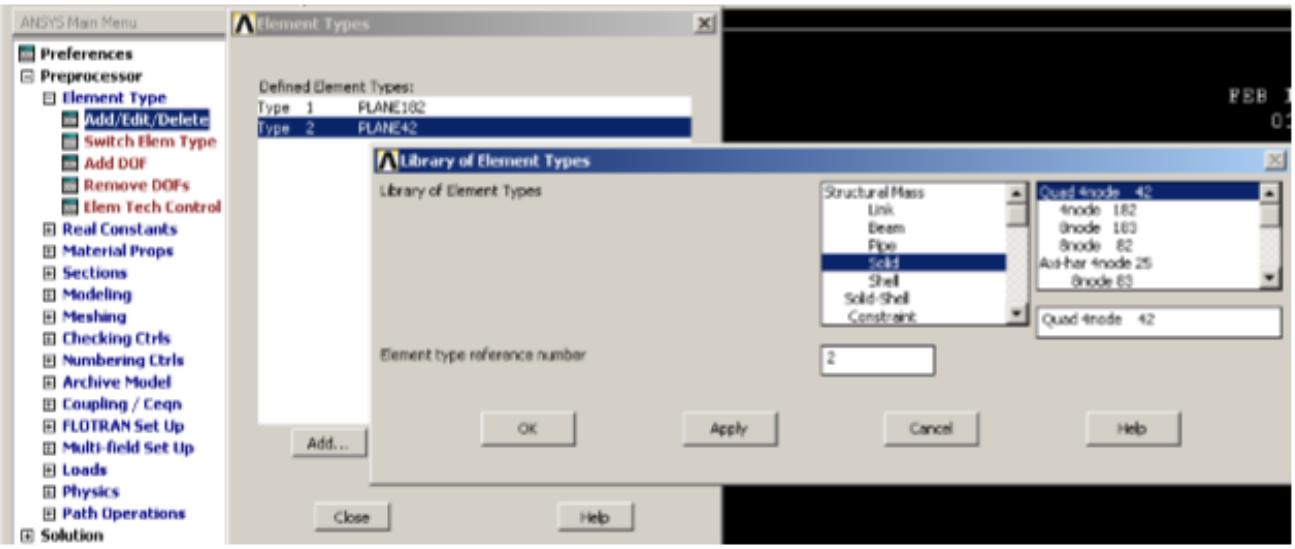


Рис. 9. Выбор элементов из библиотеки программы ANSYS.

a. Main Menu > Preprocessor > Element Type >

Add/Edit/Delete > Add > Hyperelastic 2D 4node 182 > OK

Add > Solid > Quad 4node 42 > OK

выделить курсором мыши строку Type 2 PLANE42

b. ET,1,PLANE182

ET,2,PLANE42

5. Задание свойств материалов (рис 10): EX – модуль Юнга, PRXY – коэффициент Пуассона соответственно для материала 1 и 2:

a. Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Models > Material Model Number 1 > Structural > Linear > Elastic > Isotropic > EX 2E5, PRXY 0.3 > OK

Material > New Model > Define Material ID 2 > OK

Material Model Number 2 > Structural > Linear > Elastic > Isotropic > EX 2E5, PRXY 0.3 > OK

Material > Exit

b. MPDATA,EX,1,, 2e5

MPDATA,PRXY,1,,0.3

MPDATA,EX,2,,2e5

MPDATA,PRXY,2,,0.3

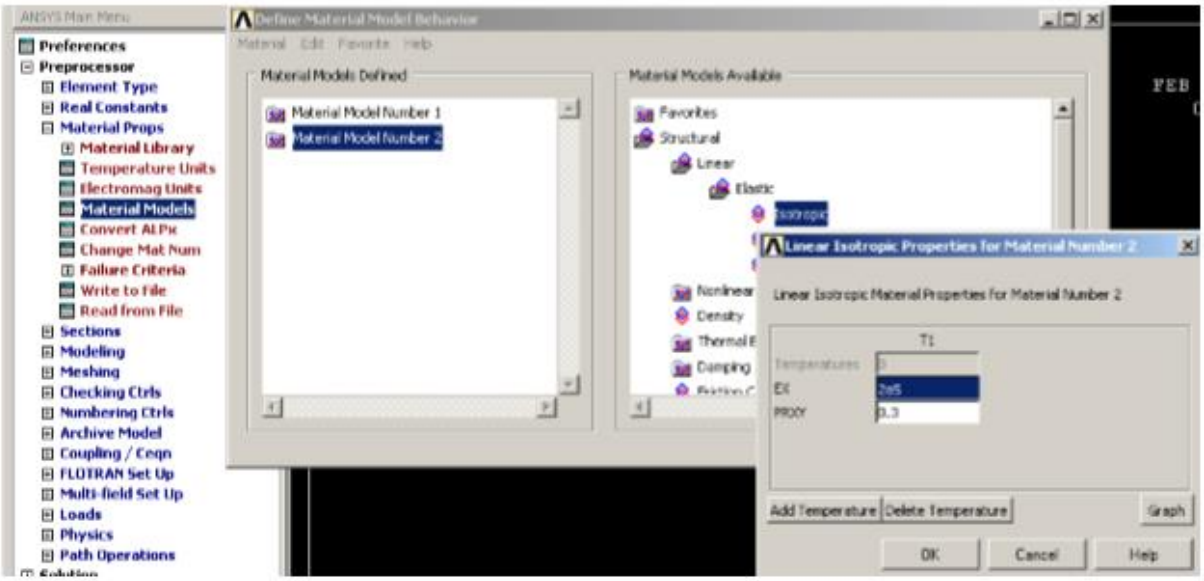


Рис. 10. Диалоговые окна для ввода свойств материалов.

6. Построение пластины

a. Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Areas Rectangle > By Dimensions >

X1 0, X2 a/2,

Y1 0, Y2 h > OK

b. RECTNG,0,a/2,0,h,

7. Построение цилиндра:

a. Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Areas Circle > By Dimensions >

Rad-1 r1,

Rad -2 r2,

Theta-1 270,

Theta-2 - 450 > OK

b. PCIRC,r1,r2,270,450,

8. Перемещение цилиндра:

a. Main Menu > Preprocessor > Modeling > Move / Modify > Areas >

DY – c+h

b. FLST,3,1,5,ORDE,1

FITEM,3,2

AGEN, ,P51X, , , ,c+h, , , ,1

Рис. 11. Геометрическая модель.

9. Присвоение атрибутов (свойства материала и тип элемента) выбранным поверхностям:

a. Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > Picked Areas > (“мышкой» указываем поверхность цилиндра) OK указываются атрибуты цилиндра: MAT 1, TYPE 1 PLANE182 > OK Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Attributes > Picked Areas > (“мышкой» указываем поверхность пластины) OK указываются атрибуты пластины: MAT 2, TYPE 2 PLANE42 > OK

b. ASEL,,,,1

AATT,1,,1,0

ASEL,,,,2

AATT,2,,2,0

ASEL,ALL

10. Задается размер элементов (сторона элемента 0.2 см):

a. Main Menu > Preprocessor > Meshing Size Cntrls > ManualSize > Global > Size > SIZE 0.2 > OK

b. ESIZE,0.2,0,

11. Генерирование конечно-элементной сетки (рис. 12):

a. Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh > Areas > Mapped > 3 or 4 sided > Pick All

b. AMESH,1,2,1

12. Настройка опций отображения номеров точек и линий:

a. Utility Menu > PlotCntrls > Numbering > KP √ On, LINE √ On > OK

b. /PNUM,KP,1

/PNUM,LINE,1

13. Изображение линий на экране (рис. 13):

a. Utility Menu > Plot > Lines

b. LPLOT

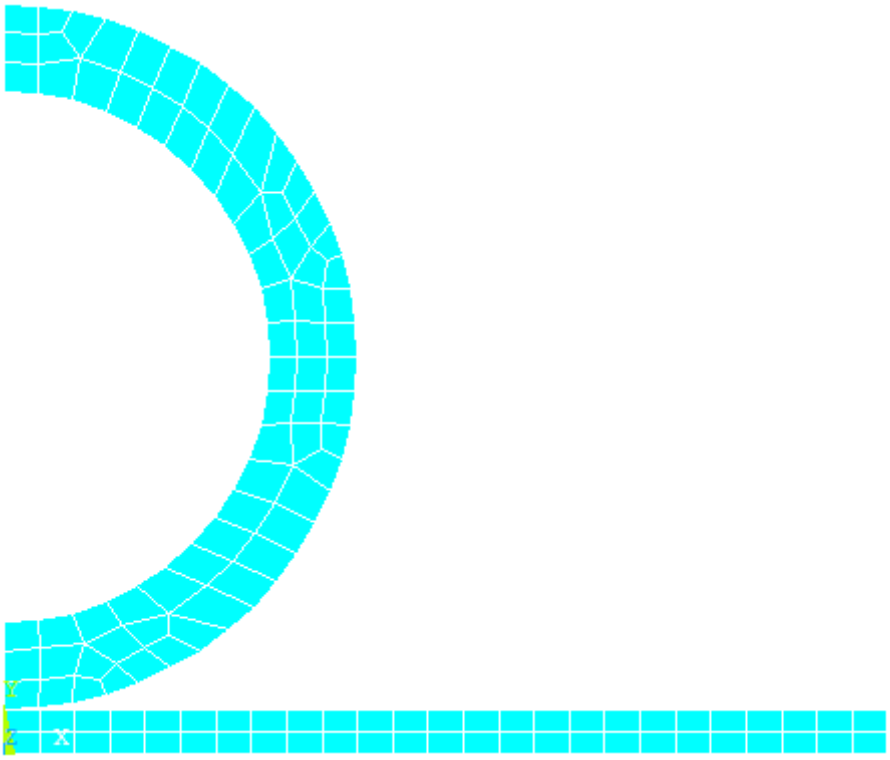


Рис. 12. Конечно-элементная модель.

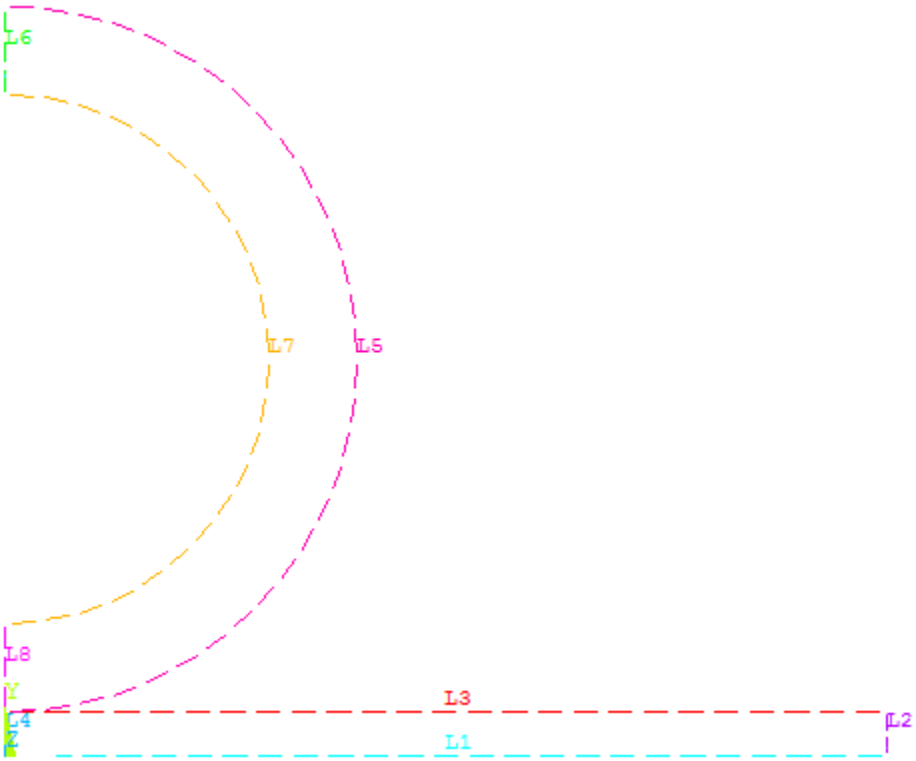
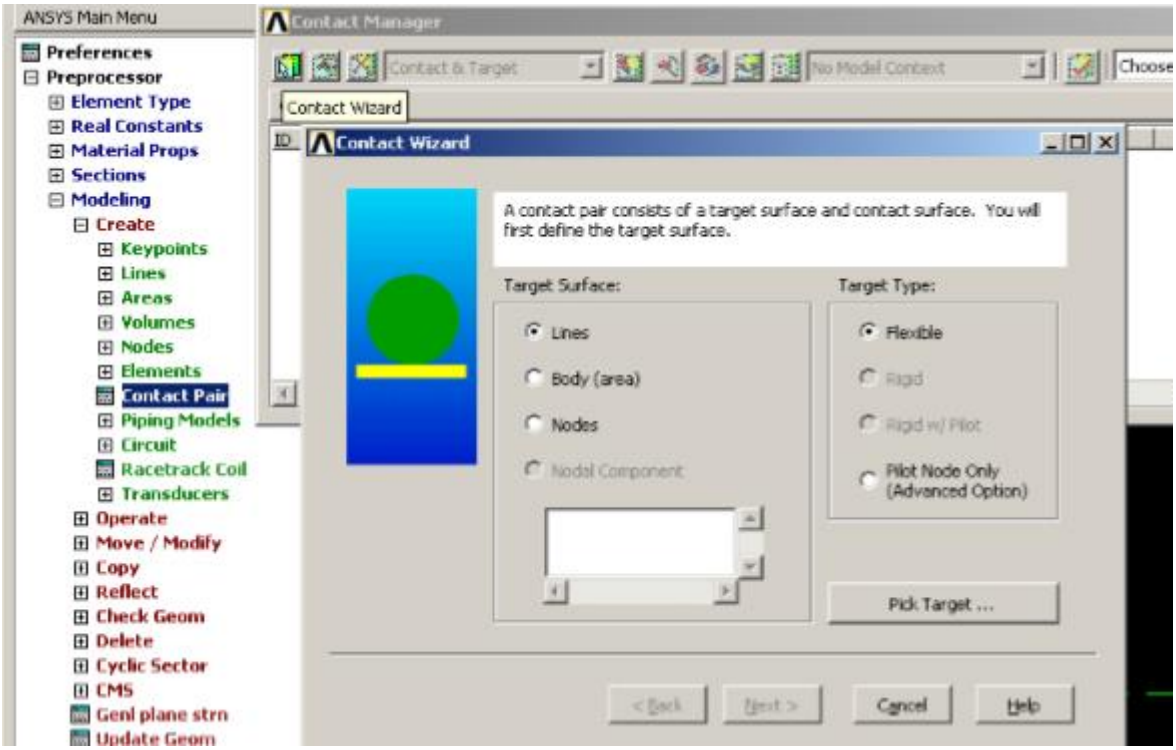


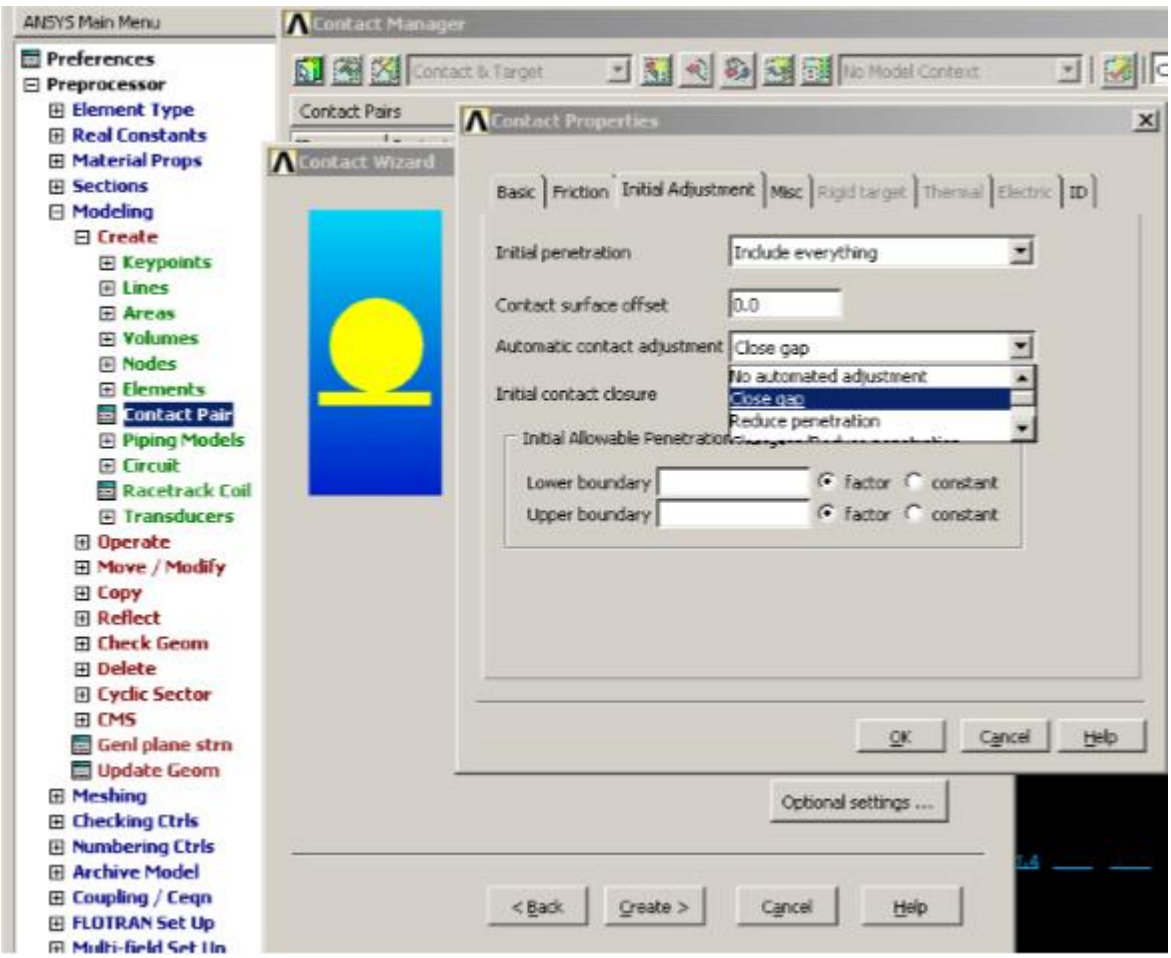
Рис. 13. Изображение номеров линий и точек геометрических моделей.

14. Моделирование условий контакта, создание контактной пары.

Создание контактной пары обеспечивается командами блока Contact Wizard. На панели Add Contact Pair (рис. 14 а) выполняется команда Pick Target, после чего панель исчезает, а в командной строке появляется запрос: «Укажите или введите номер линий, определяющих пятно контакта на цели (Pick or enter lines defining the target surface)». Затем указывается линия целевой поверхности L6 (рис. 13). Далее панель Add Contact Pair восстанавливается на экране и выполняется команда Next. Далее команда Pick Contact приводит к запросу: «Укажите или введите номер линий, определяющих пятно контакта на ответном теле (Pick or enter lines defining the contact surface)». Указывается линия уже на другом контактирующем теле L1 (рис. 13), после чего выполняется команда Next. Теперь можно при необходимости указать номер материала для создаваемых контактных элементов, коэффициент трения, в Optional setting доступны свойства контактных элементов (рис. 14 б). Выполнение команды Create приводит к созданию контактной пары и завершению процесса командой Finish.



а



б

Рис. 14. Диалоговые окна моделирования контактной пары: а) панель создания основной поверхности target; б) панель настройки свойств контакта.

Операция выполняется только в интерактивном режиме:

a. Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Contact Pair > Contact Manager > Contact Wizard (первый значок рисунок) > Pick Target (указываем «мышкой» на нижнюю линию цилиндра L5) > OK Next > Pick Contact (указываем «мышкой» на верхнюю линию пластины L3) > OK > Next > Optional settings… > Initial Adjustment > Automatic contact adjustment Close gap > OK > OK Create > Finish Все другие опции и константы контактной пары устанавливаются Мастером контактов по умолчанию.

b. В командном файле блок команд, создающих контактную пару, обычно записывается с помощью

Мастера контактов в интерактивном режиме. В данной работе этот блок команд не приводится.

15. Условия симметрии:

a. Main Menu > Preprocessor > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Lines > («мышкой» указываем левые линии пластины и цилиндра L6,L8 и L4) > Apply > Lab2 UX > OK

b. FITEM,2,4

FITEM,2,6

FITEM,2,8

!*

/GO

DL,P51X,,UX,

15a. Закрепление конструкции:

a. Main Menu > Preprocessor > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On Nodes > («мышкой» указываем узел №2) > Apply > Lab2 All DOF > OK

b. FLST,2,1,1,ORDE,1

FITEM,2,2

!*

/GO

D,P51X, , , , , ,ALL, , , , ,

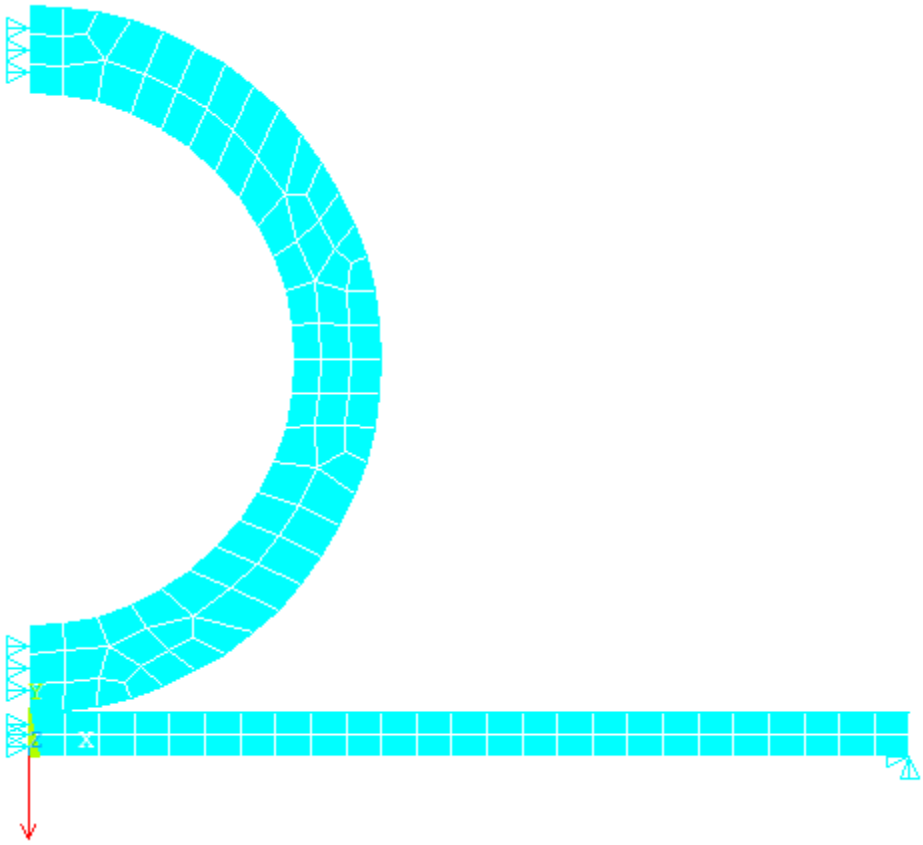


Рис. 15. Закрепленная конструкция

16. Настройка опций решения геометрически нелинейной задачи с большими перемещениями (рис. 16):

a. Main Menu > Solution > Analysis Type > Sol,n Controls > Basic Analysis Options > Large Displacement Static, Time Control > Time at end of loadstep 1, Number of substeps 20 > Frequency Write every substep >OK

b. ANTYPE,0

NLGEOM,1

NSUBST,20,0,0

OUTRES,ALL,ALL

TIME,1

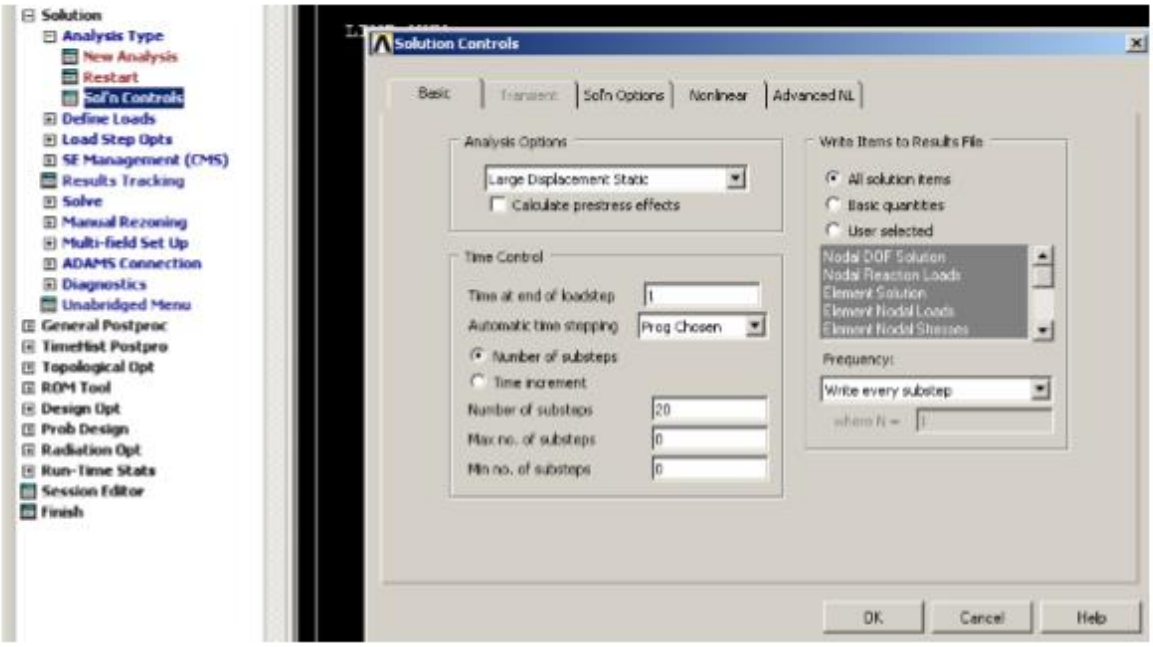


Рис. 16. Панель опций решения задачи.

17. Введение силы тяжести.

a. Main Menu > Preprocessor > Define Loads > Apply > Gravity > ACELY > -9.8.

b. ACEL,0,-9.8,0,

18. Решение, успешное завершение которого подтверждает появление сообщения: «Solution is done!»

a. Main Menu > Solution > Solve > Current LS >OK

b. SOLVE

19. Выбор результатов (постпроцессор) для последнего шага решения:

a. Main Menu > General Postproc > Read Results > Last Set

b. /POST1 SET,LAST

20. Просмотр деформированного состояния конструкции (рис. 17):

a. Main Menu > General Postproc > Read Results > Plot Results > Deformed Shape > KUND Def + undef edge > OK

b. PLDISP,2

21. Анализ эквивалентных напряжений в конструкции (рис. 19):

a. Main Menu > General Postproc > Plot Results > Nodal Solu > Item to be contoured > Stress > von Mises stress > OK

b. PLNSOL, S,EQV, 0,1.0

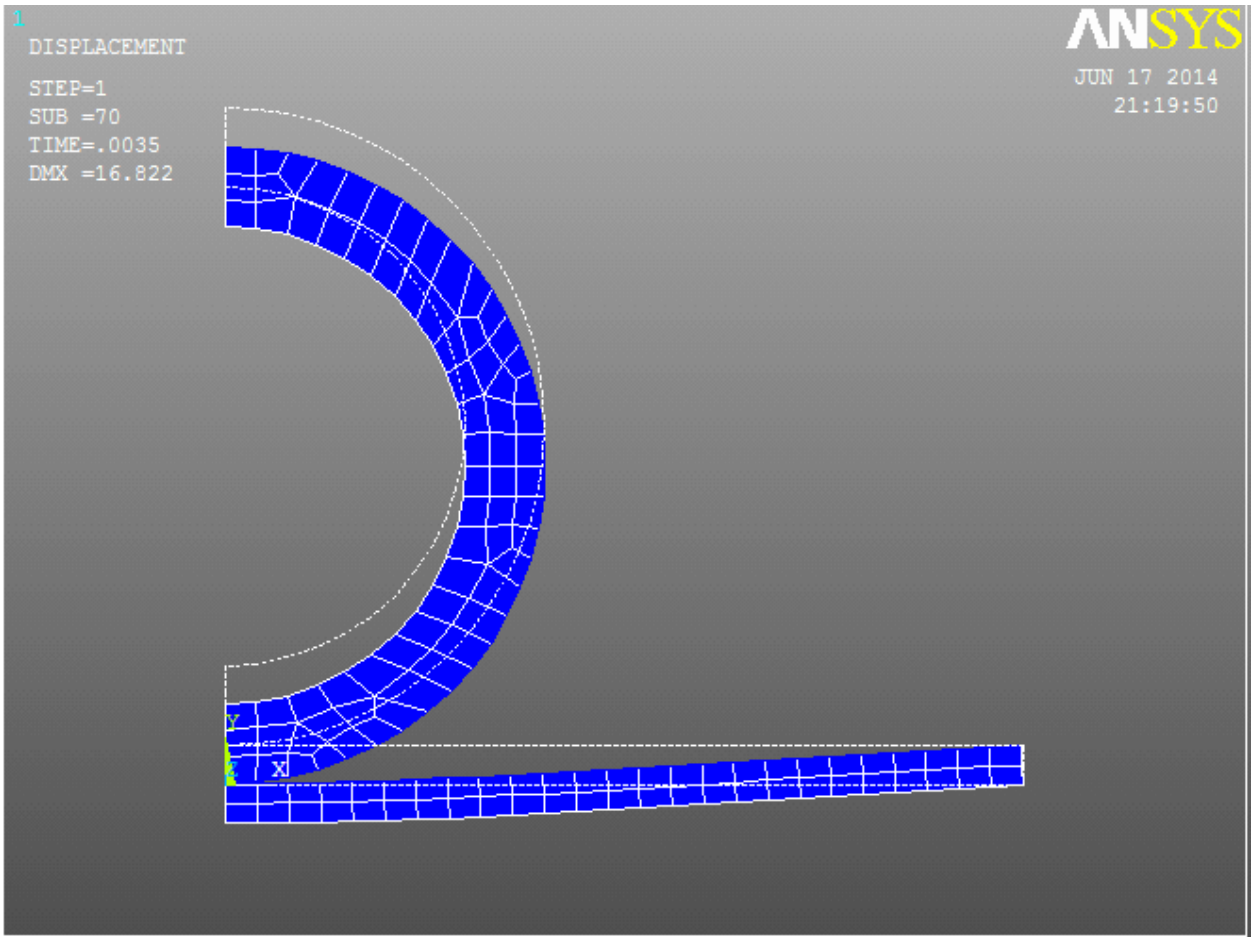


Рис. 17. Деформированная форма объектов (максимальные перемещения).

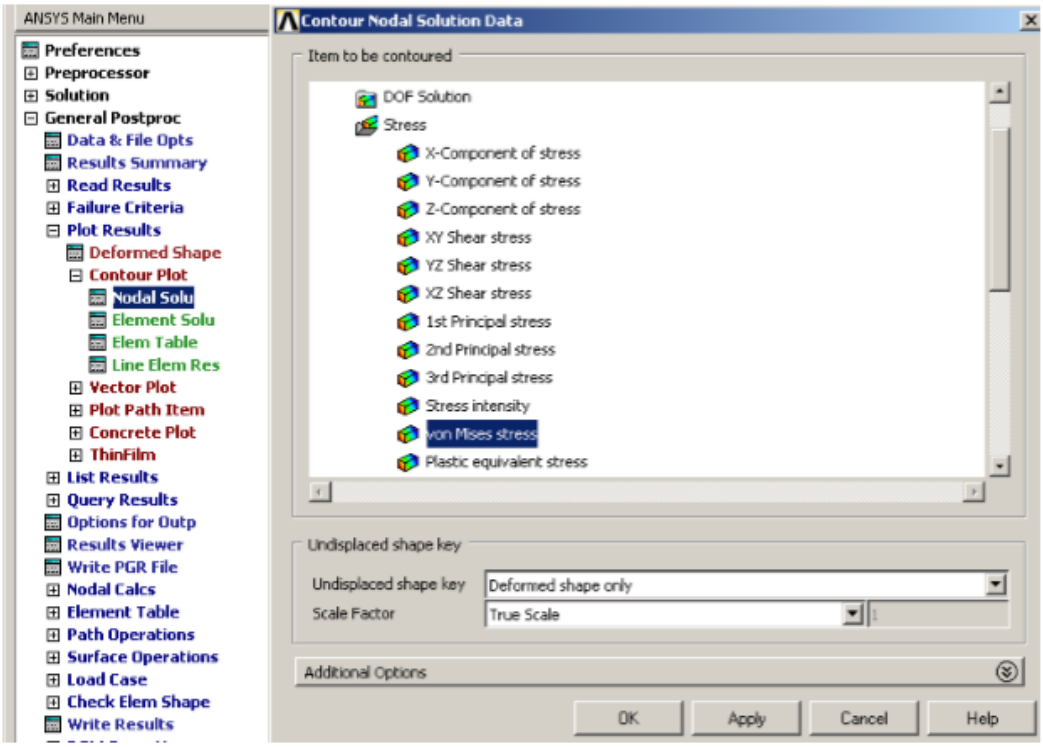


Рис. 18. Панель просмотра картины распределения напряжений.

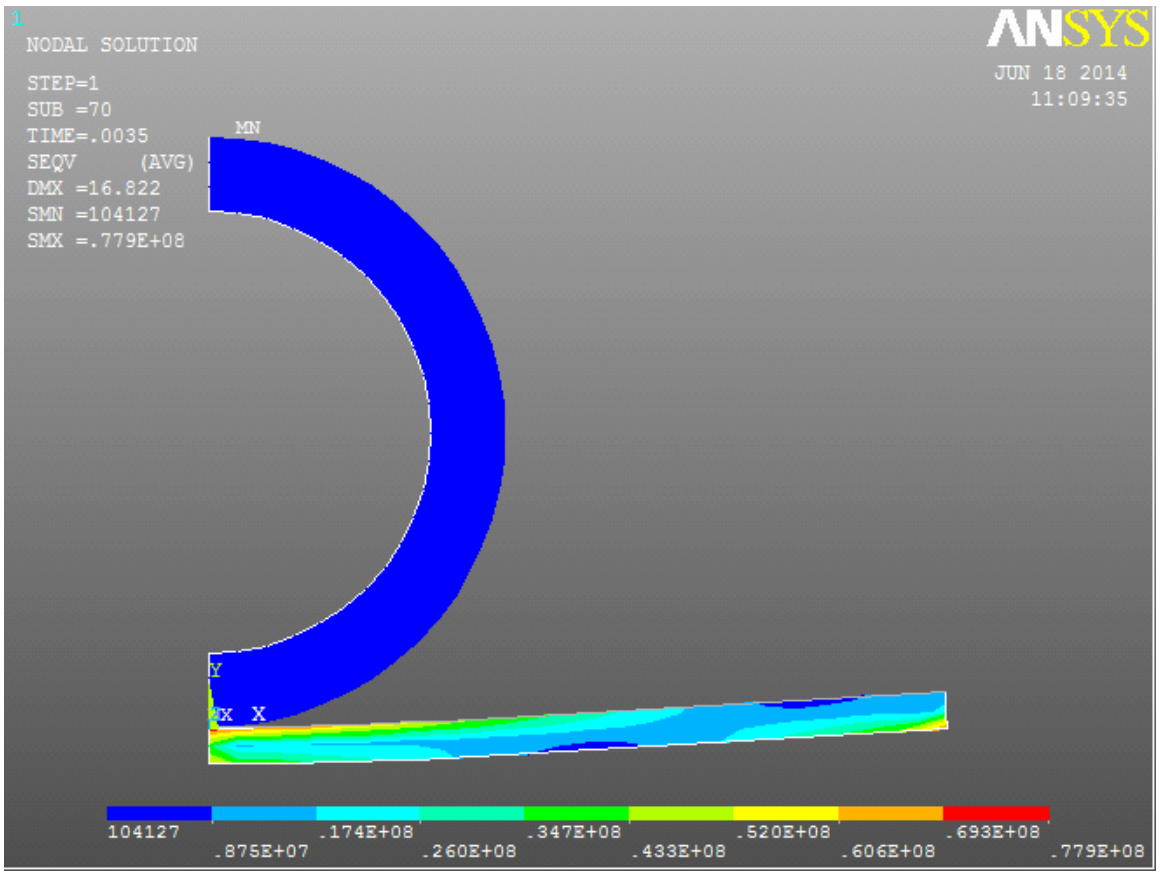


Рис. 19. Картина распределения напряжений.

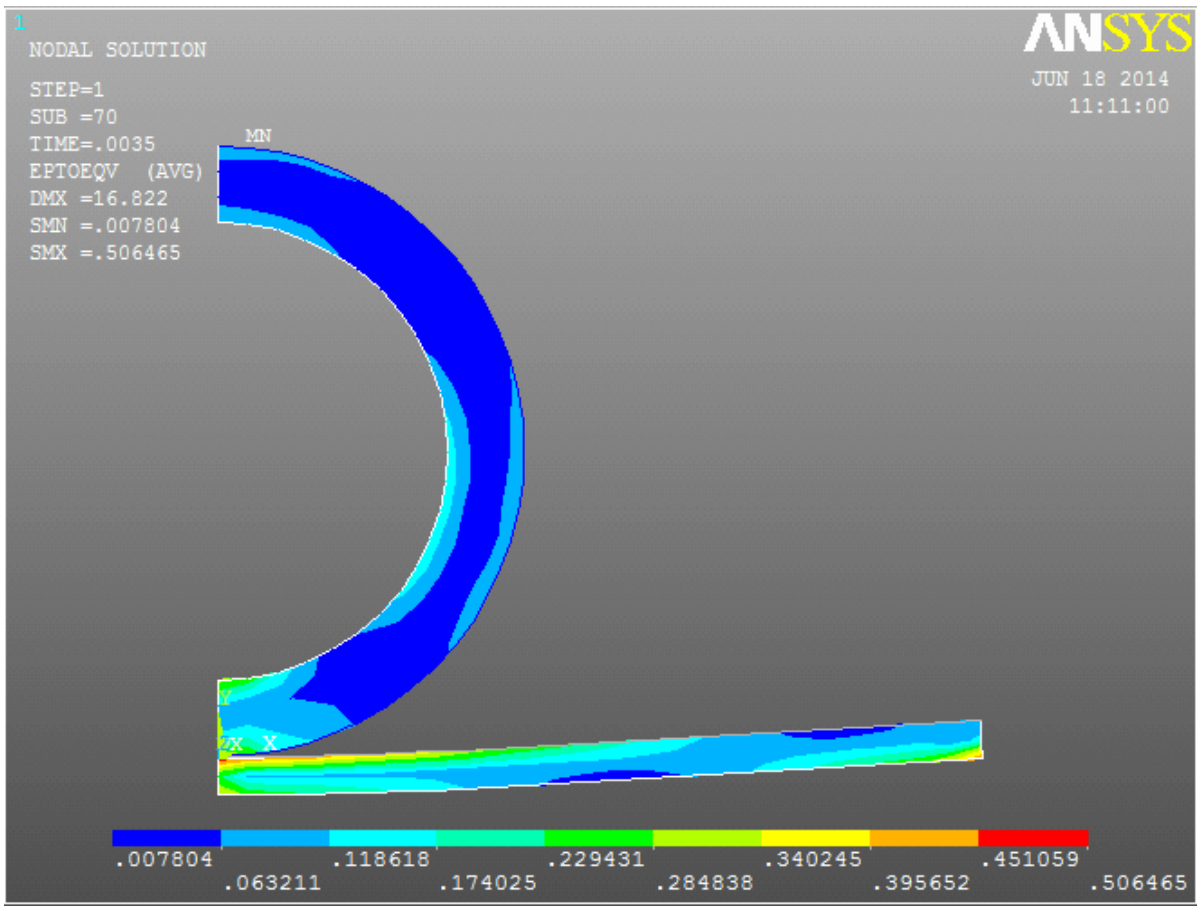


Рис. 20. Картина распределения деформаций.

22. Анализ эквивалентных деформаций в конструкции (рис. 20):

a. Main Menu > General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solu > Item to be contoured > Total Mechanical Strain > von Mises total mechanical strain > OK

b. PLNSOL, EPTO,EQV, 0,1.0

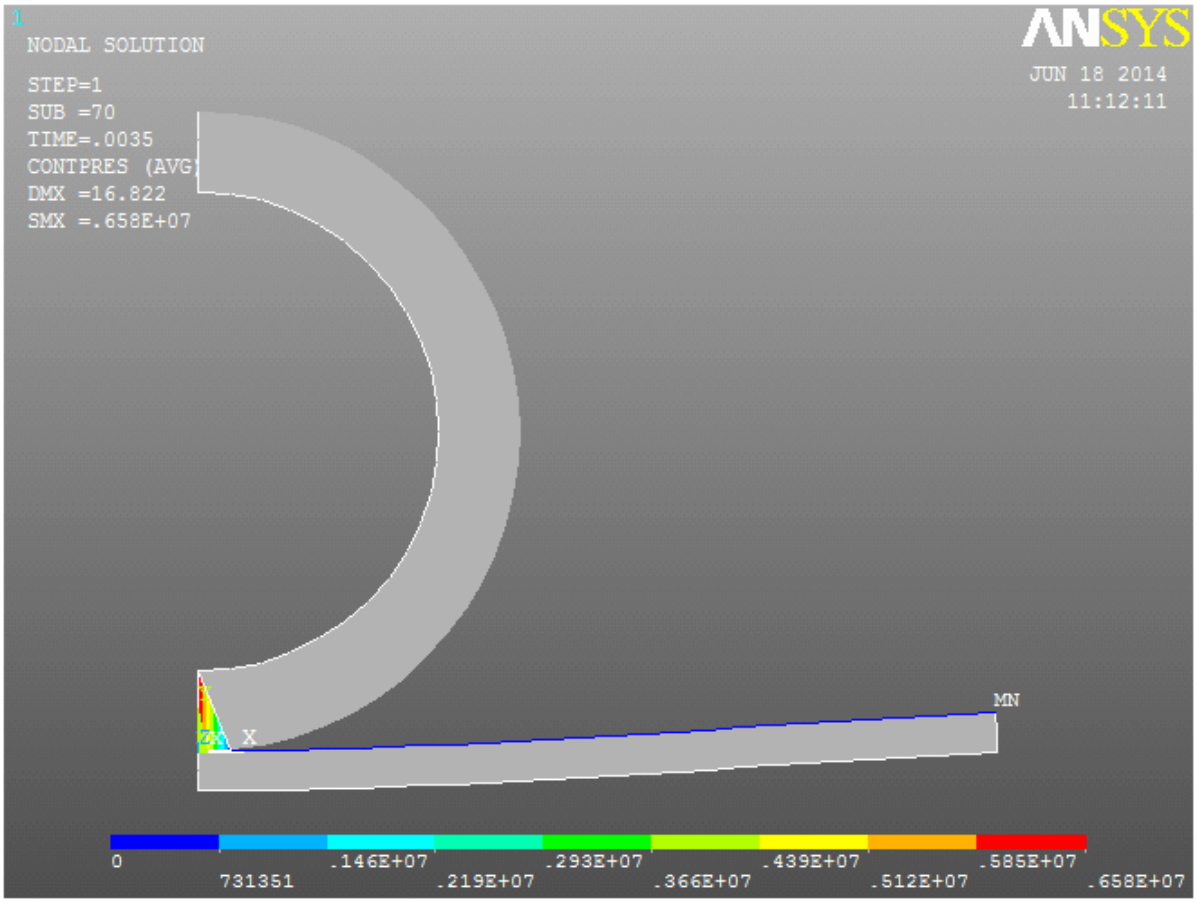


Рис. 21. Картина контактного давления.

23. Анализ контактного давления (рис. 21):

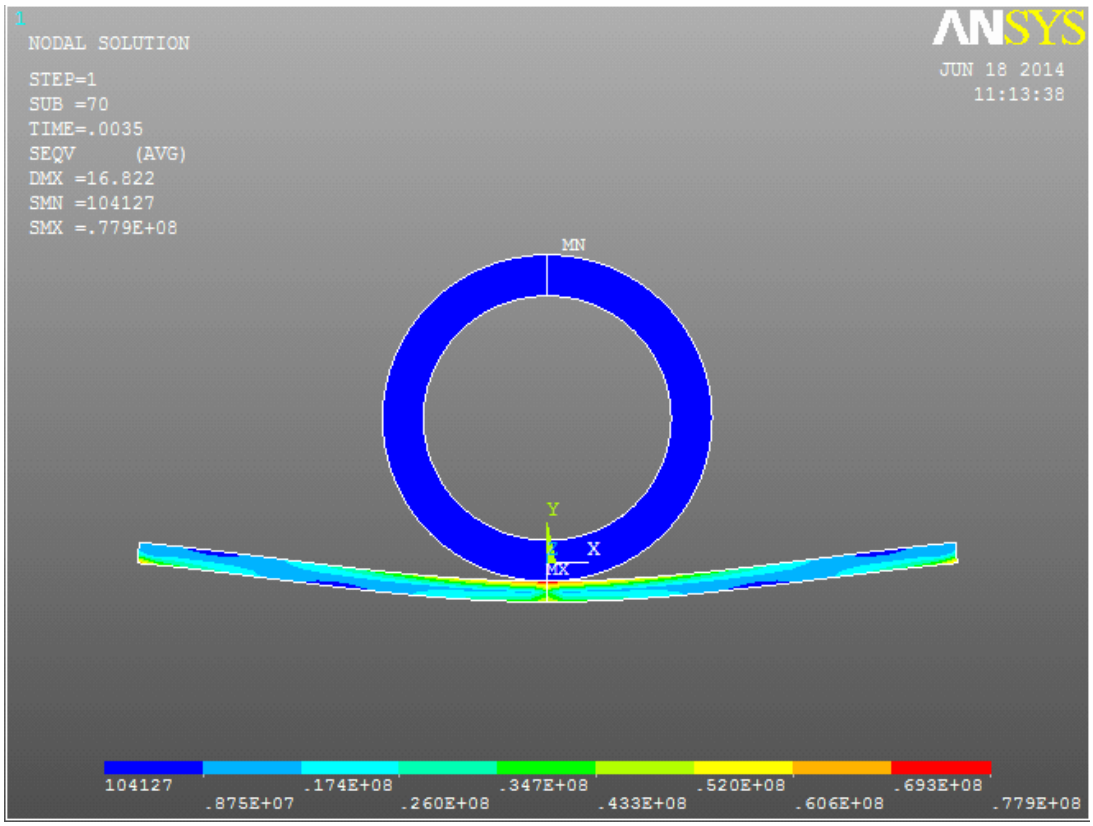
a. Main Menu > General Postproc > Plot Results > Nodal Solu > Item to be contoured > Contact > Contact pressure > OK

b. PLNSOL, CONT,PRES, 0,1.0

24. Настройка опций полного изображения результатов решения симметричной задачи (рис. 23). Это может быть ¼, ½, ¾ части или целая пространственная модель:

a. Utility Menu > PlotCtrls > Style > Symmetry Expansion > 2D Axi-Symmetric > EXPAND > ½ expansion > OK

b. /EXPAND,2,RECT,HALF,0.00001



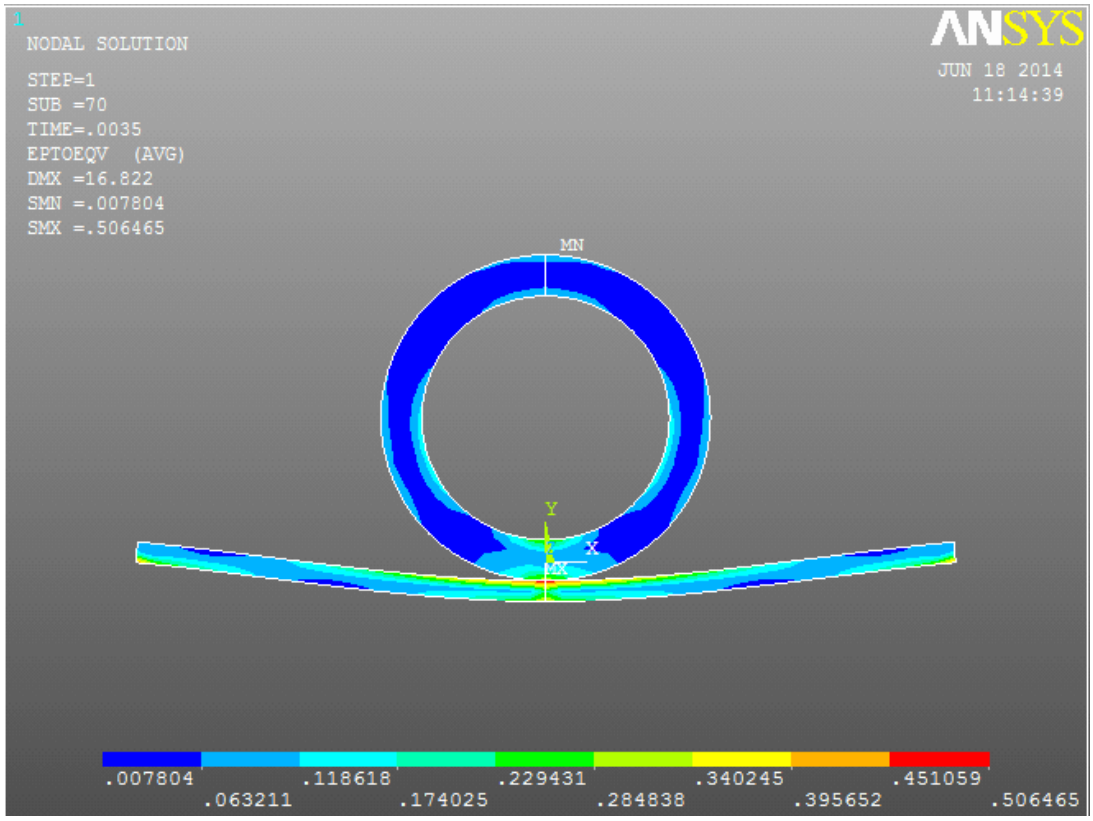


Рис. 22. Полное двумерное изображение результатов решения симметричной задачи

25. Далее повторить п. 21 и 22.

26. Создание анимации (рис. 24):

a. Utility Menu > PlotCtrls > Animate > Deformed Resalts > PLNSOL > Stress > von Mises SEQV > OK

b. PLNSOL,S,EQV

ANCNTR,10,0.5

Рис. 23. Диалоговые панели настройки полного двумерного изображения результатов решения симметричной задачи.

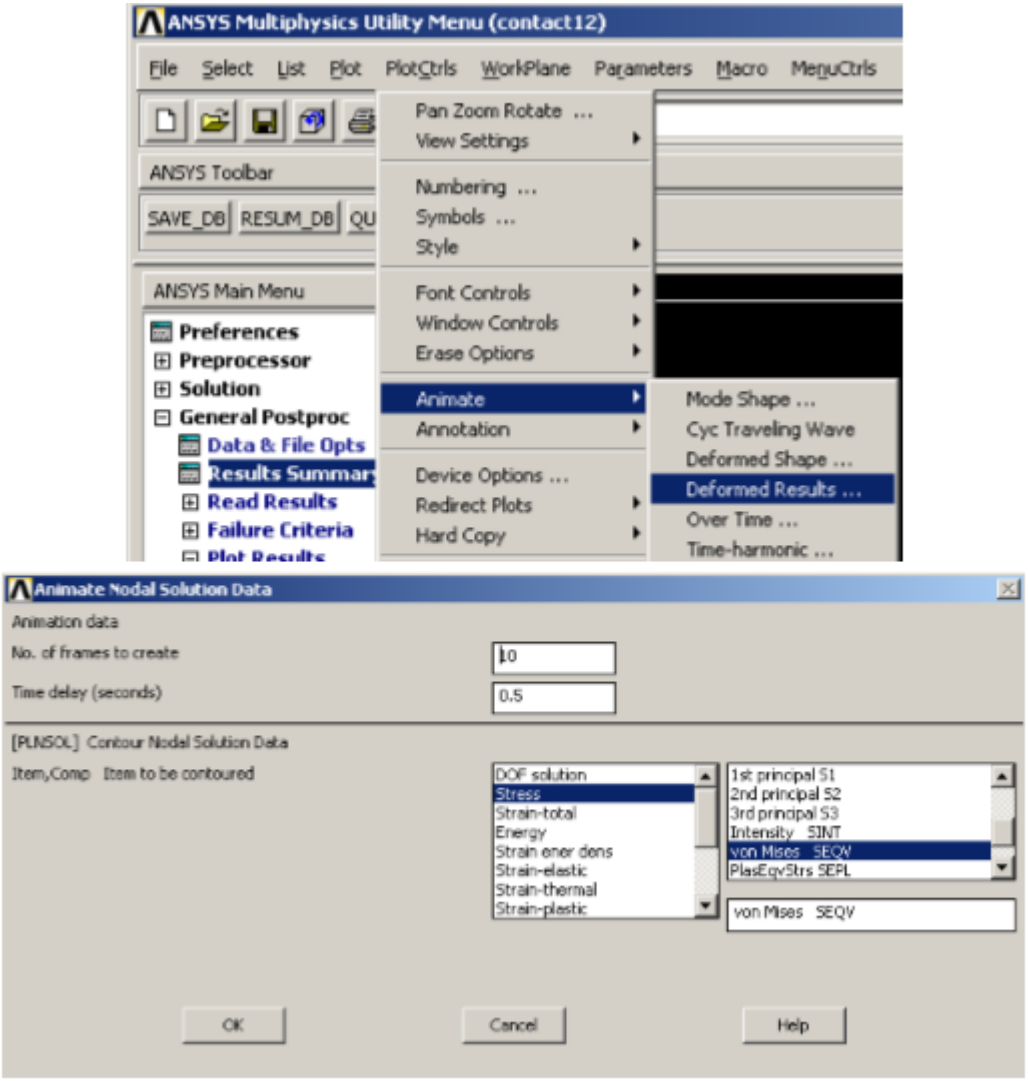


Рис. 24. Диалоговые панели создания анимации результатов.

27. Сохранение результатов и выход из программы:

a. Utility Menu > File > Exit > Save Everything > OK

b. FINISH /EXIT,ALL

28. Далее рассмотрим картины контактного давления для различных материалов цилиндрической оболочки (рис.25, рис.26,рис.27) и сравним результаты в таблице.

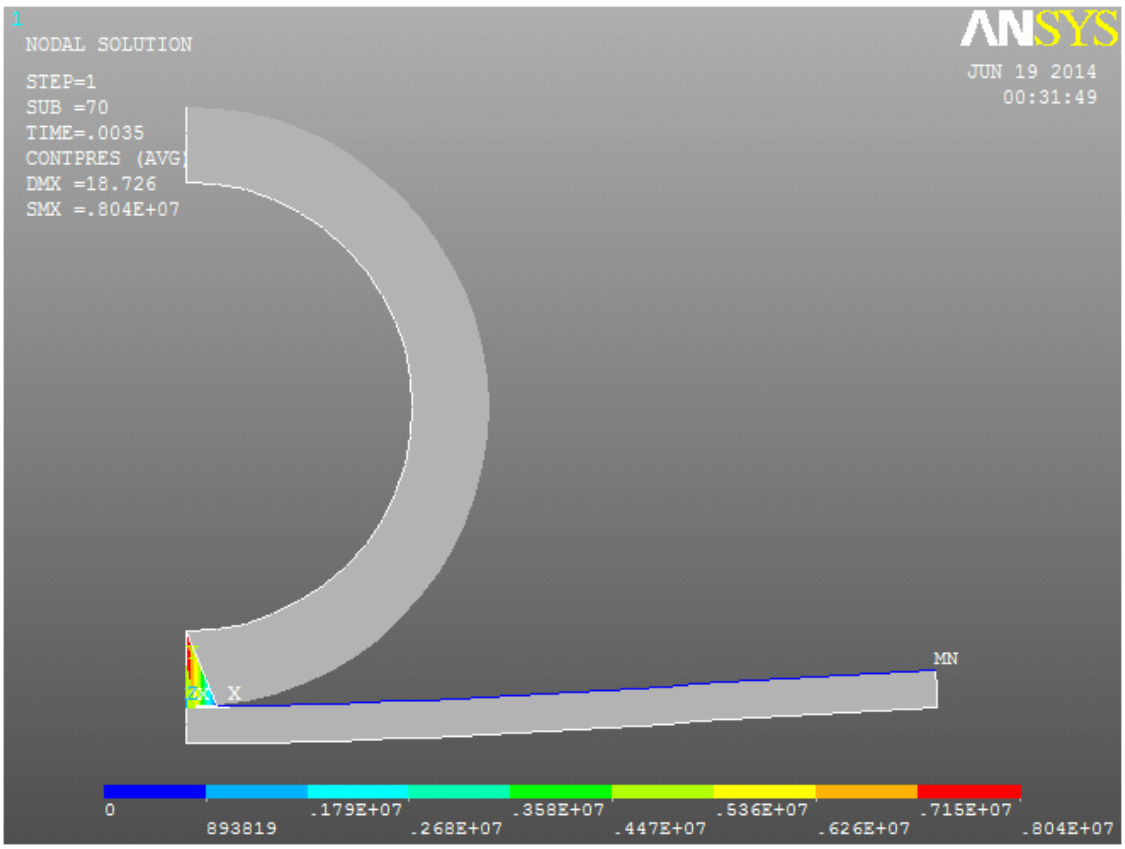


Рис. 25. Картина контактного давления для медной цилиндрической оболочки.

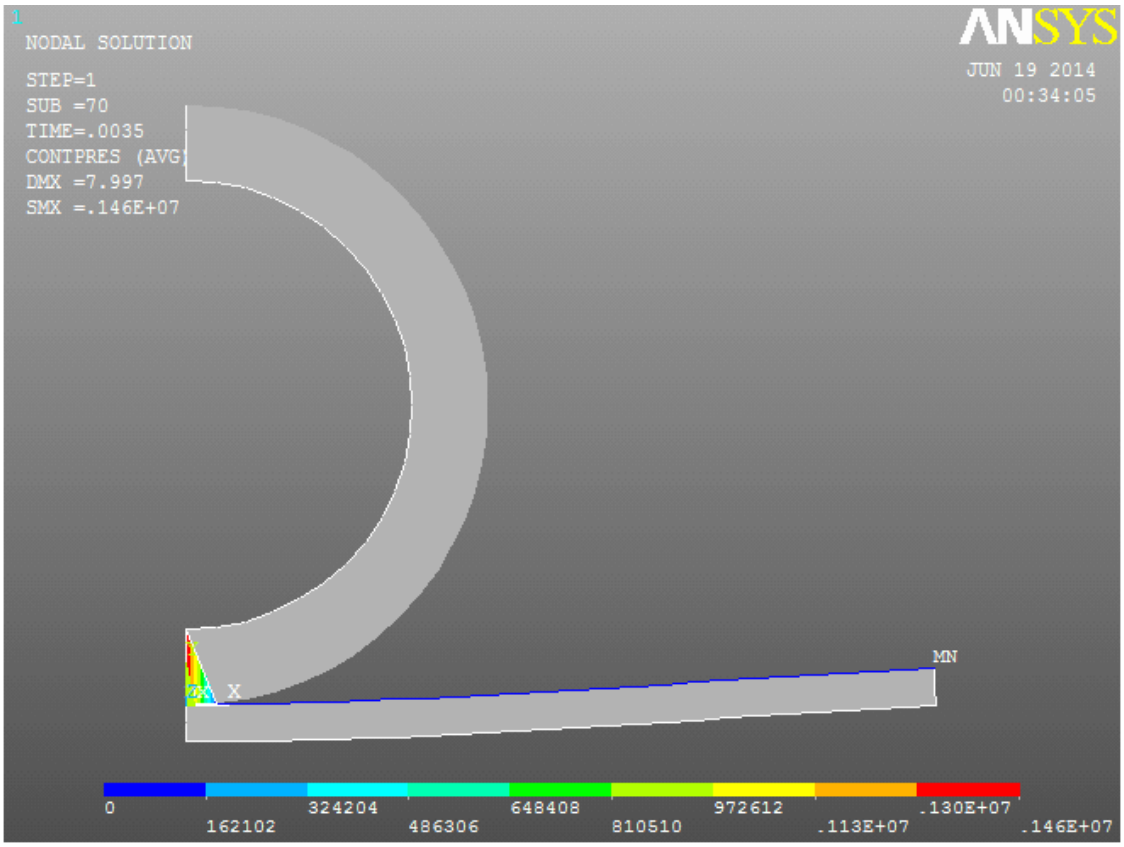


Рис. 26. Картина контактного давления для алюминиевой цилиндрической оболочки.

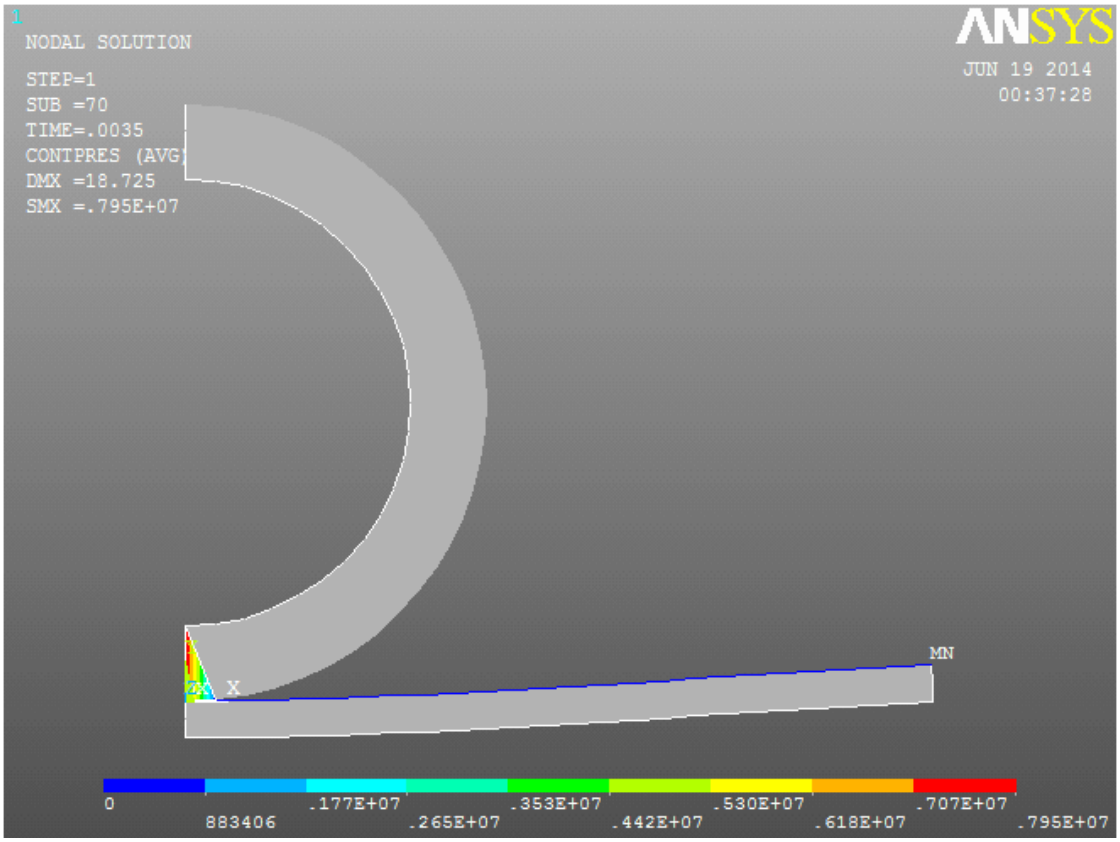


Рис. 27. Картина контактного давления для никелевой цилиндрической оболочки.

Материал цилиндра	σ_{max} **(Мпа)**	**Область контакта (м)**	**Свойства материала**	**Максимальное контактное давление (Мпа)**
Сталь 3	12.4	0.031628	E=2*10^5 МПа, nu=0.3, ro=7850 кг/куб.м.	6.58
Медь	11.9	0.031702	E=1.2*10^5 МПа, nu=0.35, ro=8900 кг/куб.м.	8.04
Алюминий	4.72	0.084866	E=0.7*10^5 МПа, nu=0.34, ro=2700 кг/куб.м.	1.46
Никель	11.6	0.031716	E=2*10^5 МПа, nu=0.28, ro=8900 кг/куб.м.	7.95

Таблица сравнения результатов для различных материалов цилиндрической оболочки.

Заключение

Исходя из проделанной работы, можно осуществить следующие выводы:

Проведено исследование контактного взаимодействия пластины и оболочки, решена статическая симметричная линейно упругая геометрически нелинейная задача, произведен расчет напряженно-деформированного состояния и контактного давления.

В результате проведения анализа результатов решения и сравнения их с результатами, полученными для различных материалов цилиндрической оболочки, выявлена нелинейная зависимость между свойствами материалов цилиндрической оболочки и максимальным контактным давлением, а также областью контакта.

Список литературы

1. Hertz H. Gesammelte Werke. Bd. 1. Leipzig, 1895.

2. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. М.: Мир, 1989. - 510 с. – ISBN 5-03-000994-9.

3. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1975. - 576 с.

4. Филин А.П. Прикладная механика твердого деформируемого тела. Том 1. М.: Наука, 1975. - 832 с.

5. ANSYS Basic Analysis Procedures Guide. ANSYS Release 11. ANSYS Inc., 2008.

6. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах / Д.Г. Красковский. - М.: КомпьютерПресс, 2002. - 224 с. – ISBN 5-89959-092-0.

7. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. М.: Едиториал УРСС, 2003. - 272 с. - ISBN 5-354-00238-9.

8. Клебанов Я.М., Фокин В.Г., Давыдов А.Н. Современные методы компьютерного моделирования процессов деформирования конструкций: учеб. пособие. - Самара: СамГТУ, 2004. - 100 с. - ISBN 5-7964-0553-5.

9. Давыдов А.Н. Решение статических задач с использованием пакета программ ANSYS. Самара: СамГТУ; 1999.

Приложение

(Текст программы в ППП Ansys)

```
FINISH
/CLEAR,NOSTART
/COM,ANSYS RELEASE  5.7
/COM,  Structural
/UNITS, SI
/PREP7
*SET,a,10
*SET,c,2
*SET,h,0.25
*SET,r1,c
*SET,r2,c-0.5
*SET,e,2e5
*SET,e1,2e5
*SET,nu,0.3
*SET,nu1,0.3
*SET,ro,7800
*SET,ro1,7800
RECTNG,0,a/2,0,h,
PCIRC,r1,r2,270,450,
FLST,3,1,5,ORDE,1
FITEM,3,2
AGEN, ,P51X, , , ,c+h, , , ,1
NUMCMP,ALL
/REPLOT
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,e
MPDATA,PRXY,1,,nu
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,DENS,1,,ro
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,2,,e1
MPDATA,PRXY,2,,nu1
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,DENS,2,,ro1
ET,1,PLANE182
ET,2,PLANE42
CM,_Y,AREA
ASEL, , , ,      1
CM,_Y1,AREA
CMSEL,S,_Y
CMSEL,S,_Y1
AATT,      1, ,   1,      0
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CM,_Y,AREA
ASEL, , , ,      2
CM,_Y1,AREA
CMSEL,S,_Y
CMSEL,S,_Y1
AATT,      2, ,   2,      0
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
ESIZE,0.2,0,
MSHAPE,0,2D
MSHKEY,0
FLST,5,2,5,ORDE,2
FITEM,5,1
FITEM,5,-2
CM,_Y,AREA
ASEL, , , ,P51X
CM,_Y1,AREA
CHKMSH,'AREA'
CMSEL,S,_Y
AMESH,_Y1
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
/UI,MESH,OFF
/COM, CONTACT PAIR CREATION - START
CM,_NODECM,NODE
DL,P51X, ,UX,
CM,_ELEMCM,ELEM
CM,_LINECM,LINE
CM,_AREACM,AREA
/GSAV,cwz,gsav,,temp
MP,MU,1,
MAT,1
R,3
REAL,3
ET,3,169
ET,4,172
RMODIF,3,1,,,1.0,0.1,,
RMODIF,3,7,,,1.0e20,0.0,1.0
KEYOPT,4,2,0
KEYOPT,4,3,1
KEYOPT,4,6,0
KEYOPT,4,7,0
KEYOPT,4,8,
KEYOPT,4,9,1
KEYOPT,4,11,
KEYOPT,4,12,6
! Generate the target surface
LSEL,S,,,5
CM,_TARGET,LINE
TYPE,3
NSLL,S,1
ESLN,S,0
ESURF,ALL
CMSEL,S,_ELEMCM
! Generate the contact surface
LSEL,S,,,3
CM,_CONTACT,LINE
TYPE,4
NSLL,S,1
ESLN,S,0
ESURF,ALL
ALLSEL
ESEL,ALL
ESEL,S,TYPE,,3
```

ESEL,A,TYPE,,4	ACEL,0,-9.8,0,
ESEL,R,REAL,,3	ANTYPE,0
/PSYMB,ESYS,1	!TRNOPT,FULL
/PNUM,TYPE,1	LUMPM,OFF
/NUM,1	NLGEOM,OFF
EPLOT	NROPT,FULL,,OFF
ESEL,ALL	NROPT,UNSYM,,OFF
ESEL,S,TYPE,,3	NSUBST,20,0,0
ESEL,A,TYPE,,4	OUTRES,ALL,ALL,
ESEL,R,REAL,,3	LNSRCH,ON
CMSEL,A,_NODECM	NEQIT,26
CMDEL,_NODECM	TIME,0.0035
CMSEL,A,_ELEMCM	AUTOTS,ON
CMDEL,_ELEMCM	PRED,ON,,ON
CMSEL,S,_LINECM	DELTIM,0.00005,0.000001,0.00005,0
CMDEL,_LINECM	KBC,0
CMSEL,S,_AREACM	FINISH
CMDEL,_AREACM	/SOLU
/GRES,cwz,gsav	/STATUS,SOLU
CMDEL,_TARGET	SOLVE
CMDEL,_CONTACT	/REPLOT,RESIZE
/COM, CONTACT PAIR CREATION - END	FINISH
!*	/POST1
FLST,2,1,1,ORDE,1	SET,LAST
FITEM,2,2	PLDISP,0
/GO	/EFACE,1
D,P51X, , , , , ,ALL, , , , ,	AVPRIN,0,0,
FLST,2,3,4,ORDE,3	!*
FITEM,2,4	PLNSOL,CONT,STAT,0,1
FITEM,2,6	!*
FITEM,2,8	/EXPAND,2,RECT,HALF,0.00001
/GO	/REPLOT