

Отчёт №5

Виктория Вяльцева

Март 2023

Постановка задачи

Рассматривается сечение с круглыми включениями радиуса $r = 10$ нм в центральной части, расстояние между включениями a . Все материалы, из которых изготовлена конструкция, однородные и изотропные. Необходимо проанализировать максимальное значение σ_{xx} в условиях плоско-деформированного состояния.

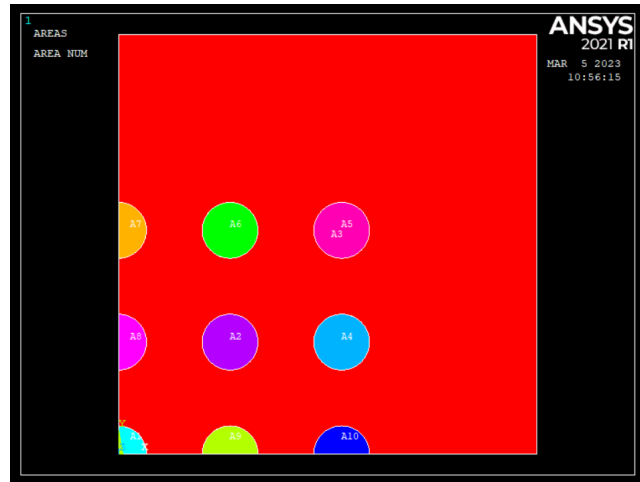


Рис. 1: Вид конструкции

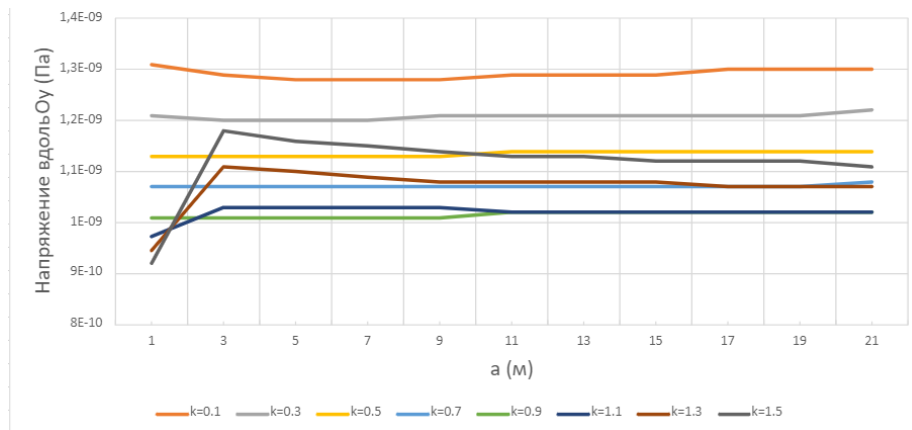


Рис. 2: Зависимость напряжений по оси Oy от значения расстояния между включениями при разных значениях k , $h = 2$ нм

Решение задачи и конечно-элементная модель

Учитывая симметрию, будем работать с четвертью конструкции. Матрица

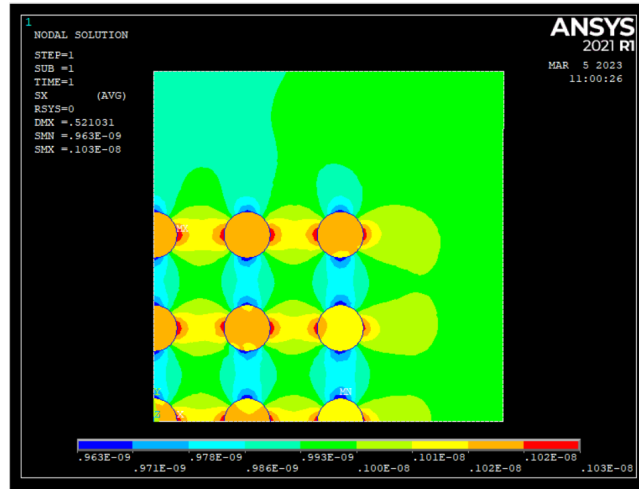


Рис. 3: σ_{xx} при $h = 2$, $a = 2$, $k = 0.9$

имеет тип элемента plane182, модуль Юнга – $E_1 = 210 \cdot 10^9$ Па, коэффициент Пуассона – $\nu_1 = 0.3$, включения - plane182, $E_2 = k \cdot E_1$ Па, $\nu_2 = 0.3$, межфазовый интерфейс - link180, модуль Юнга – $E_s = 60.91 \cdot 10^{-9}$ Па, площадь поперечного сечения $A_s = 1 \text{ нм}^2$. К верхней и нижней граням матрицы приложено усилие $p = 1$ Н перпендикулярное им. Нижняя грань ограничена в перемещениях вдоль оси Oy, правая - по Ox (свойства симметрии). Для исследования внутренней сходимости проанализируем решения с разной длиной элемента $h = 1$ нм и 2 нм. Сравним решения на этих сетках с $a = 10$ нм, $k = 0.4$.

$$\left(1 - \frac{\sigma_{xx}^2}{\sigma_{xx}^1}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{0.122 \cdot 10^{-8}}{0.122 \cdot 10^{-8}}\right) \cdot 100\% \approx 0\% < 1\% \quad (1)$$

Для остальных рассмотренных случаев отклонение решений на разных сетках так же не превышает 1%, что позволяет сделать вывод о внутренней сходимости всех решений. Далее приведены результаты для $h = 2$ нм.

Вывод

Таким образом, при всех рассматриваемых значениях k и $a > r$ расстояние между включениями перестаёт влиять на σ_{xx} .

Листинг

```
finish
/clear
/prep7
*Create,savetofile
```

```

*CFOPEN, 'results',CSV,,APPEND
*VWRITE,a,sigmax,kof
(E10.3,',',E10.3,',',E10.3)
*CFCLOSE
*END
*do,g,1,15,2
r=10
l=11*r+2*a
pi=4*atan(1)
E1=210e-9
nu1=0.3
kof = 0.1*g
E2=E1/kof
nu2=0.3
As=1
Es=60.91e-9
p=-1e-9 !усилие (Н/мм^2)
h=1
et,1,plane182,,,2,
mp,ex,1,E1
mp,prxy,1,nu1
mp,ex,2,E2
mp,prxy,2,nu2
et,2,link180
sectype,1,link
secdta,As
mp,ex,3,Es
*do,a,1,21,2
l=11*r+2*a
k,1
k,2,1,0
k,3,1,1
k,4,0,1
a,1,2,3,4
CYL4,0,0,r,0,0,90
asba,1,2
CYL4,(2*r+a),0,r,0,0,180
asba,3,1
CYL4,(2*r+a)*2,,r,0,0,180
asba,2,1
CYL4,0,(2*r+a),r,-90,0,90
asba,3,1
CYL4,(2*r+a),(2*r+a),r
asba,2,1
CYL4,(2*r+a)*2,(2*r+a),r
asba,3,1

```

```

CYL4,0,2*(2*r+a),r,-90,,90
asba,2,1
CYL4,(2*r+a),2*(2*r+a),r
asba,3,1
CYL4,(2*r+a)*2,2*(2*r+a),r
asba,2,1
k,
a,30,5,6
a,14,15,12,13
a,19,16,17,18
a,29,26,27,28
a,25,22,23,24
k,,0,(2*r+a)
k,,0,2*(2*r+a)
k,,(2*r+a),0
k,,2*(2*r+a),0
a,21,32,20
a,11,31,10
a,7,33,1
a,9,34,8
lesize,all,h
type,1
mat,1
amesh,3
type,1
mat,2
amesh,all
type,2
mat,3
lmesh,1
lmesh,4
lmesh,5
lmesh,6
lmesh,20
lmesh,21
lmesh,22
lmesh,13
lmesh,25
lmesh,27
lmesh,26
lmesh,28
lmesh,29
lmesh,8
lmesh,7
lmesh,9
lmesh,15

```

```

lmesh,17
lmesh,16
lmesh,18
lmesh,19
lsel,s,loc,x,0
dl,all,,ux,
lsel,all
lsel,s,loc,y,0
dl,all,,uy,
lsel,all
lsel,s,loc,x,1
sfl,all,pres,p
lsel,all
lsel,s,loc,y,1
sfl,all,pres,p
lsel,all
/solu
solve
/post1
path,path1,2,30,100,
ppath,1,
ppath,2,0,r+a,
set,last
PDEF,SY_down,S,Y,AVG
plnsol,s,x
*GET,sigmax,PATH,,MAX,SY_DOWN
*use,savetofile
/prep7
aclear,all
LCLEAR,all
adele,all
ldele,all
kdele,all
*enddo
*enddo

```