

Отчёт №6

Виктория Вяльцева

Март 2023

Постановка задачи

Рассматриваем трёхслойную пластину. Толщина верхних слоёв h_1 и h_2 . Поверхность верхнего слоя имеет форму синусоиды с амплитудой $Amp = 0.05$ мм. Все материалы, из которых изготовлена пластина, линейно-упругие и изотропные. Необходимо проанализировать максимальное значение σ_{xx} в условиях плоско-деформированного состояния.

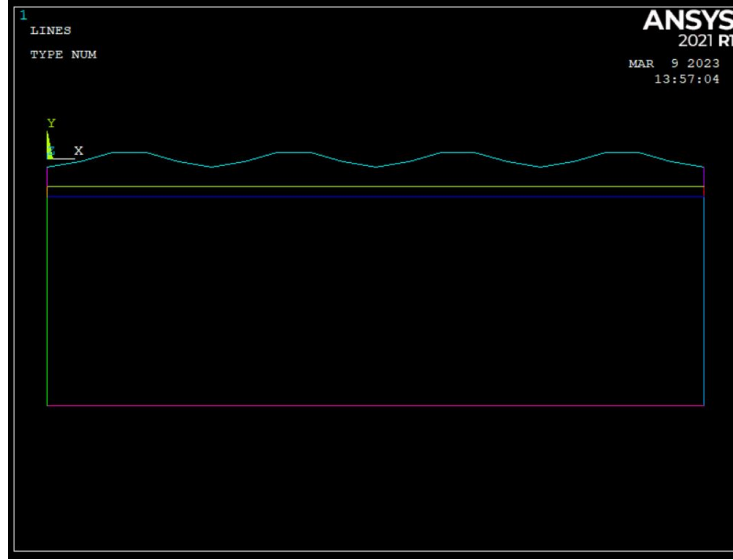


Рис. 1: Вид пластины

Решение задачи и конечно-элементная модель

Тип элемента plane182. Жесткости слоёв: $E_1/E_2 = r_1$, $E_2/E_3 = r_2$, $E_1 = 210 \cdot 10^9$ Па. К правой стороне пластины приложены усилия $T_1/T_2 = r_1$, $T_2/T_3 = r_2$, $T_1 = 1$ Па. Для проверки внутренней сходимости рассмотрим случай $r_1 = r_2 = 10$, $h_1 = h_2 = 0.06$ мм, решим задачу на двух сетках: с длинами элементов $l_1 = 0.003$ мм и $l_2 = 0.006$ мм.

$$\left(1 - \frac{\sigma_{xx}^2}{\sigma_{xx}^1}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{1.72258}{1.73721}\right) \cdot 100\% \approx 0.8\% < 1\% \quad (1)$$

Для остальных рассмотренных случаев отклонение решений на разных сетках так же не превышает 1%, что позволяет сделать вывод о внутренней сходимости всех решений. Далее будут рассматриваться решения с $l = 0.006$ мм. Полученные результаты (Па):

r_1		10	10	1	1	1/10	1/10
r_2		10	1/10	10	1/10	10	1/10
h_1	h_2						
0.06 MM	0.06 MM	1.7226	1.6638	1.6275	1.4618	1.4392	1.3438
0.06 MM	0.12 MM	1.6384	1.7042	1.6028	1.4940	1.4244	1.3505
0.12 MM	0.06 MM	1.6973	1.6141	1.5996	1.4922	1.5209	1.4467

Разница первого приближения аналитического решения и найденных численных решений:

r_1		10	10	1
r_2		10	1/10	10
h_1	h_2			
0.06 MM	0.06 MM	1.924	0.426	0.496
0.06 MM	0.12 MM	1.531	0.465	0.400
0.12 MM	0.06 MM	1.193	0.386	0.729

r_1		1	1/10	1/10
r_2		1/10	10	1/10
h_1	h_2			
0.06 MM	0.06 MM	0.027	-0.078	-0.128
0.06 MM	0.12 MM	0.032	-0.090	0.128
0.12 MM	0.06 MM	0.036	0.015	-0.057

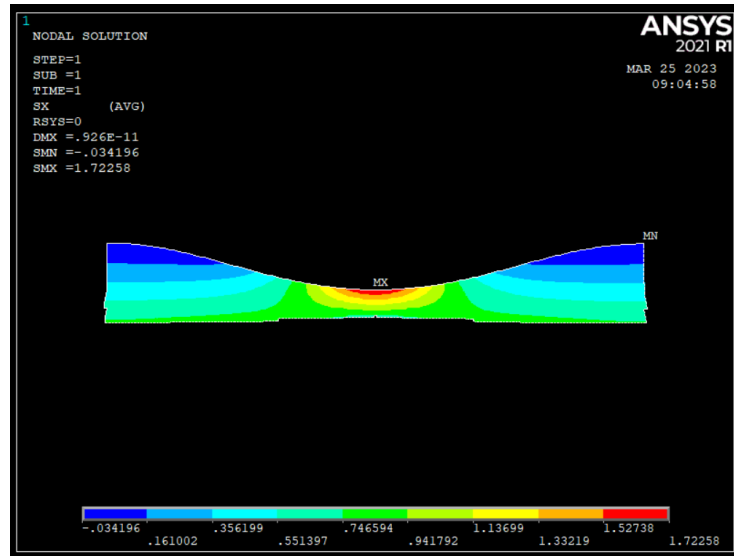


Рис. 2: σ_{xx} при $r_1 = 10$, $r_2 = 10$, $h_1 = 0.06$ мм, $h_2 = 0.06$ мм

Вывод

Таким образом, видно, что изменение толщины слоёв не сильно влияет на результат (максимальное разниця между значениями одного столбца таблицы результатов $\approx 8\%$). Чем верхние слои жестче относительно нижних, тем, в большинстве случаев, значение максимального напряжения по оси Ox больше.

Листинг

```
finish
/clear
/prep7

pi=4*atan(1)
e=0.05
a=1
amp=e*a
h01=0.06
h02=0.06
h1=h01*a
h2=h02*a
inf=30*amp
r1=1/10
r2=1/10
s=0.001
l=0.006*a

E1=210e9
nu1=0.3
nu2=nu1
nu3=nu1
E2=E1/r1
E3=E2/r2
T1=1
T2=T1/r1
T3=T2/r2

j=0
*do,i,0,4*a,0.1*a
j=j+1
k,j,i,-Amp*cos(2*Pi*i/a)
*enddo

spline,all
lcomb,all
```

```

k,j+1,i,-amp-h1
k,j+2,i,-amp-h1-h2
k,j+3,i,-inf
k,j+4,, -inf
k,j+5,, -amp-h1-h2
k,j+6,, -amp-h1

```

```

l,j,j+1
l,j+1,j+2
l,j+2,j+3
l,j+3,j+4
l,j+4,j+5
l,j+5,j+6
l,j+6,1

```

```

l,j+1,j+6
l,j+2,j+5

```

```

al,1,2,9,8
al,7,9,3,10
al,6,10,4,5

```

```

et,1,plane182,,2,

```

```

mp,ex,1,E1
mp,prxy,1,nu1
mp,ex,2,E2
mp,prxy,2,nu2
mp,ex,3,E3
mp,prxy,3,nu3

```

```

esize,1

```

```

type,1
mat,1
amesh,1

```

```

type,1
mat,2
amesh,2

```

```

type,1
mat,3
amesh,3

```

```

dl,8,,ux,

```

```

dl,7,,ux,
dl,6,,ux,
dl,5,,uy,

sfl,2,pres,-T1
sfl,3,pres,-T2
sfl,4,pres,-T3

/solu
solve

/post1
set,last

asel,s,area,,1,
nsla,s,
nsel,r,loc,y,-2*Amp,2*Amp,
nsel,r,loc,y,H-2*Amp,H+Amp,
nsel,r,loc,x,a+a/2,3*a-a/2
esln,s,,all
plnsol,s,x

```