

Испарение лазером

предварительный отчет, 05 Января 2016г

Марков Сергей

Выводы

- Были проведены предварительные результаты теплового расчета для одиночного импульса энергий 1 и $10\text{J}/\text{cm}^2$ и шириной пучка 40мкм (осесимметричный случай)
- Анализ показывает что корректный тепловой расчет возможен при учете потерь энергии на испарение. Полностью корректный учет испарения требует решения связанной нестационарной газодинамической задачи, решение которой затруднительно провести за разумное время (в т.ч. время счета компьютера). Поэтому часть расчетов была проведена с простейшей моделью симулирующей испарение: теплопроводность испаряемого материала скачкообразно меняется от стандартного значения ($0.6069\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$) при $T < 100\text{C}$ до нуля при $T > 100\text{C}$. Таким образом перегретый материал считается "испарившимся" и теплообмен между ним и остальным материалом отсутствует. Такой подход не является абсолютно корректным физически и, кроме того, скачкообразное изменение свойств материала на сетке конечного размера вызывает численные артефакты. Тем не менее, при сравнении со случаем без учета испарения он позволяет оценить границы области испарения и границы области перегрева (выше 50C).
- Грубая оценка "глубины" испаренного материала за 1 импульс дает $\sim 10\text{мкм}$ для плотности энергии $1\text{J}/\text{cm}^2$ и $\sim 30\text{мкм}$ для $10\text{J}/\text{cm}^2$. Радиус максимальной области "перегрева" (более 50C) для плотности энергии $1\text{J}/\text{cm}^2$ $\sim 30\text{мкм}$ (слайд 35); для плотности энергии $10\text{J}/\text{cm}^2$ ~ 60 мкм (слайд 28).

Направления дальнейшей работы

1. Провести более корректный учет потерь энергии на испарение, учет изменения геометрии вследствие испарения
2. Выполнить расчет с разными ширинами пучка (20-100мкм)
3. Выполнить расчеты с промежуточной плотностью энергии ($3\text{J}/\text{cm}^2$)
4. Расширить границы расчетной области для более корректного расчета, оптимизация сетки.
5. Проведение расчетов с более чем 1 импульсом с разными частотами следования (от 100 до 1000Гц).

Начальные условия

Интенсивность излучения лазера E_{imp}	1J/cm ² ; 3J/cm² ; 10J/cm ² на импульс
Длина волны*	6um
Длительность импульса T_{imp}	10ns
Период следования импульсов T_{per}	0.3ms; 1ms ; 10ms
Ширина пучка (D)	40um в диаметре
Теплоемкость испаряемого материала (C)	4200 J/kg*K
Коэффициент теплопроводности материала (λ_{body})	0.60 W/m*K
Коэффициент поглощения материала α	1000; 2000 ; 4000 cm ⁻¹
Начальная температура материала T_0	36.6C
Условная «пороговая температура абляции» T_{thres}^{**}	100C; 300C ; 637C

* Непосредственно в расчетах не учитывается, косвенно влияет на коэффициент поглощения

** T_{thres} связана с энергией абляции на единицу объема: $E_{abl} = (T_{thres} - T_0) * C$. Значение $T_{thres} = 637C$ соответствует т.н. "Steady state" модели абляции (где предполагается что происходит полное испарение объема, $E_{abl} = 2.52E6$ J/kg), $T_{thres} = 100C$ – "blow-off" модели.

Описание рассчитанных случаев (исходные данные и

№ случая	E_{imp} (J/cm ²)	T_{per} (ms)	результаты)		Скорость абляции*, um/s	Максимальная ширина зоны термоповрежде ний**, um
			α (cm ⁻¹)	T_{thres} (C)		
1	1	1	2000	300		
2	3	1	2000	100		
3	3	0.3	2000	300		
4	3	1	1000	300		
5	3	1	2000	300		
6	3	1	4000	300		
7	3	10	2000	300		
8	3	1	2000	637		
9	10	1	2000	300		

* "Глубина" испарения за 1 импульс, начиная с 2-го импульса

** Расстояние в поперечном направлении от зоны абляции до точки где максимальная температура хотя бы в какой то момент времени достигла 50C

Геометрия (вид в плоскости симметрии)

Область "тела" не подвергается излучению

Адиабатическая внешняя граница

внешние границы расчетной области
($T=36.6\text{C}$)

Область "тела" подвергается излучению

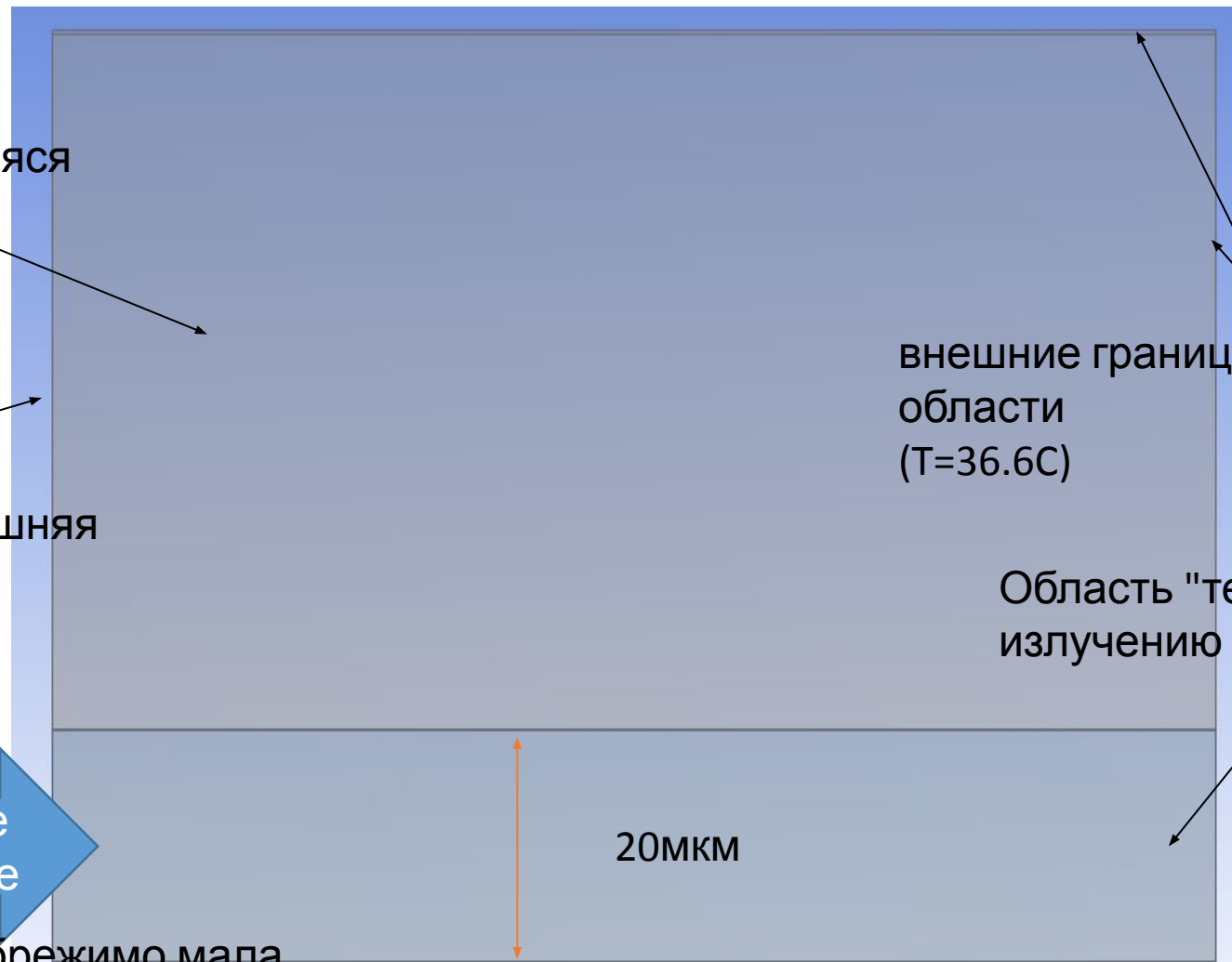
лазерное излучение

20мкм

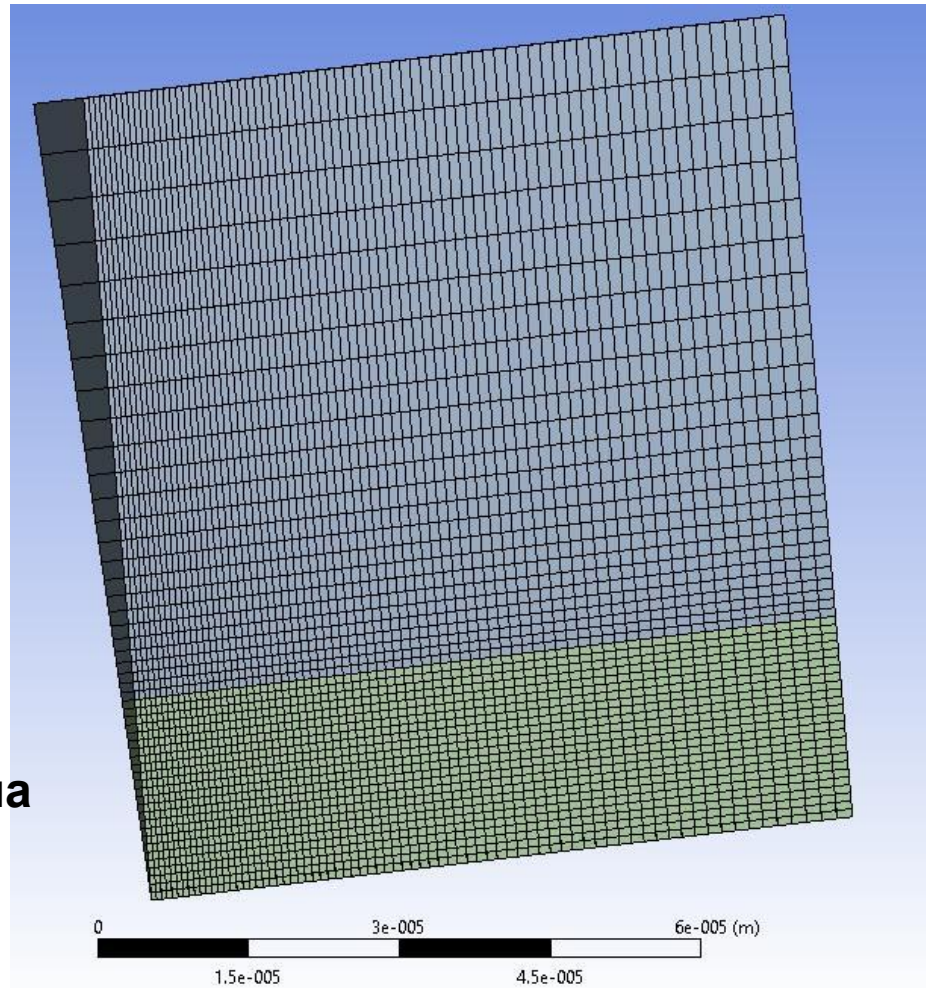
(расходимость преднебрежимо мала, ослабление за счет поглощения, по экспоненциальному закону)



Ось симметрии



Конечно-элементная сетка

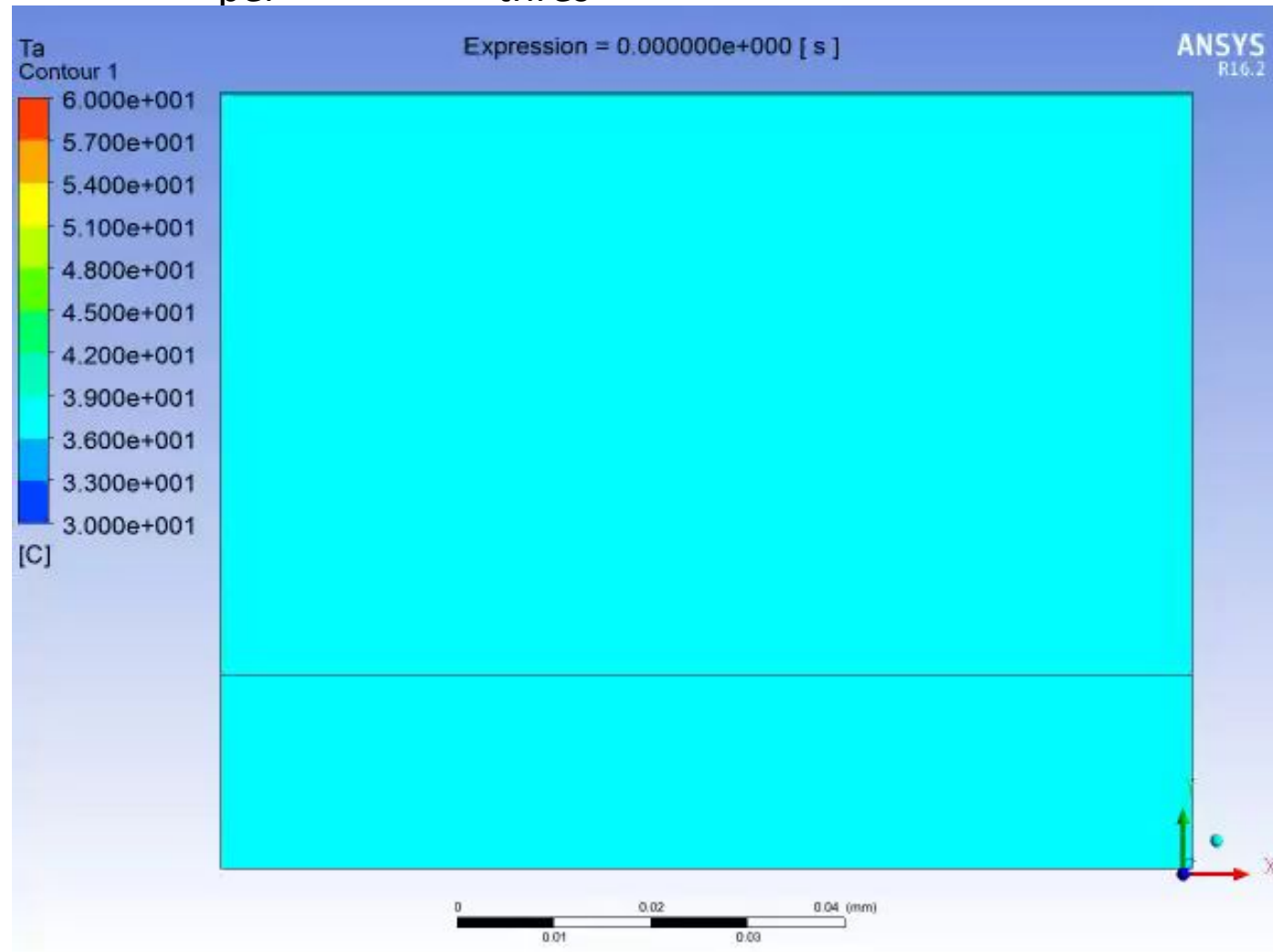


Общее число элементов в текущей сетке – ~5000

По ширине "расчетного клина" – 1 элемент, т.к. задача двумерная

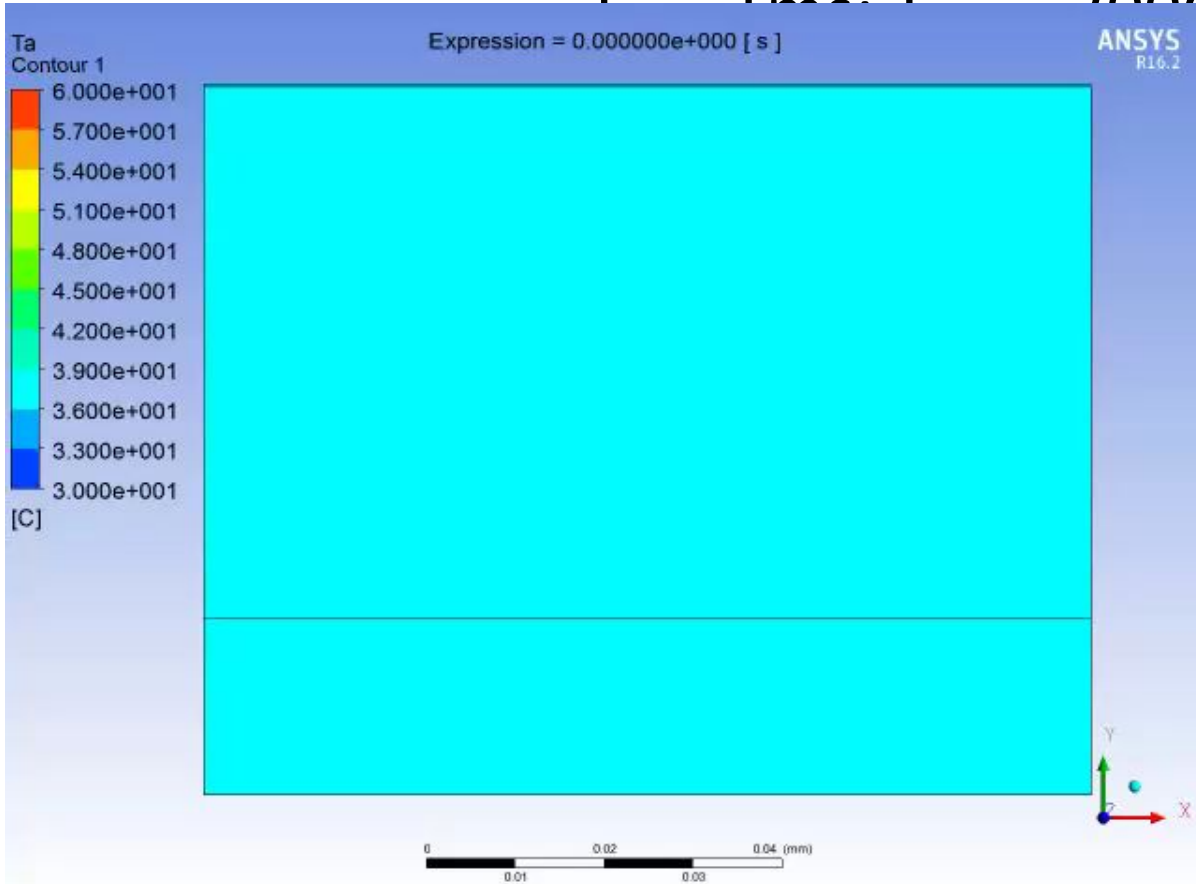
Результаты расчета "в динамике", базовый случай (№5)

$$E_{\text{imp}} = 1 \text{ J/cm}^2; T_{\text{per}} = 1 \text{ ms}; T_{\text{thres}} = 300 \text{ C}; \alpha = 2000 \text{ cm}^{-1}$$

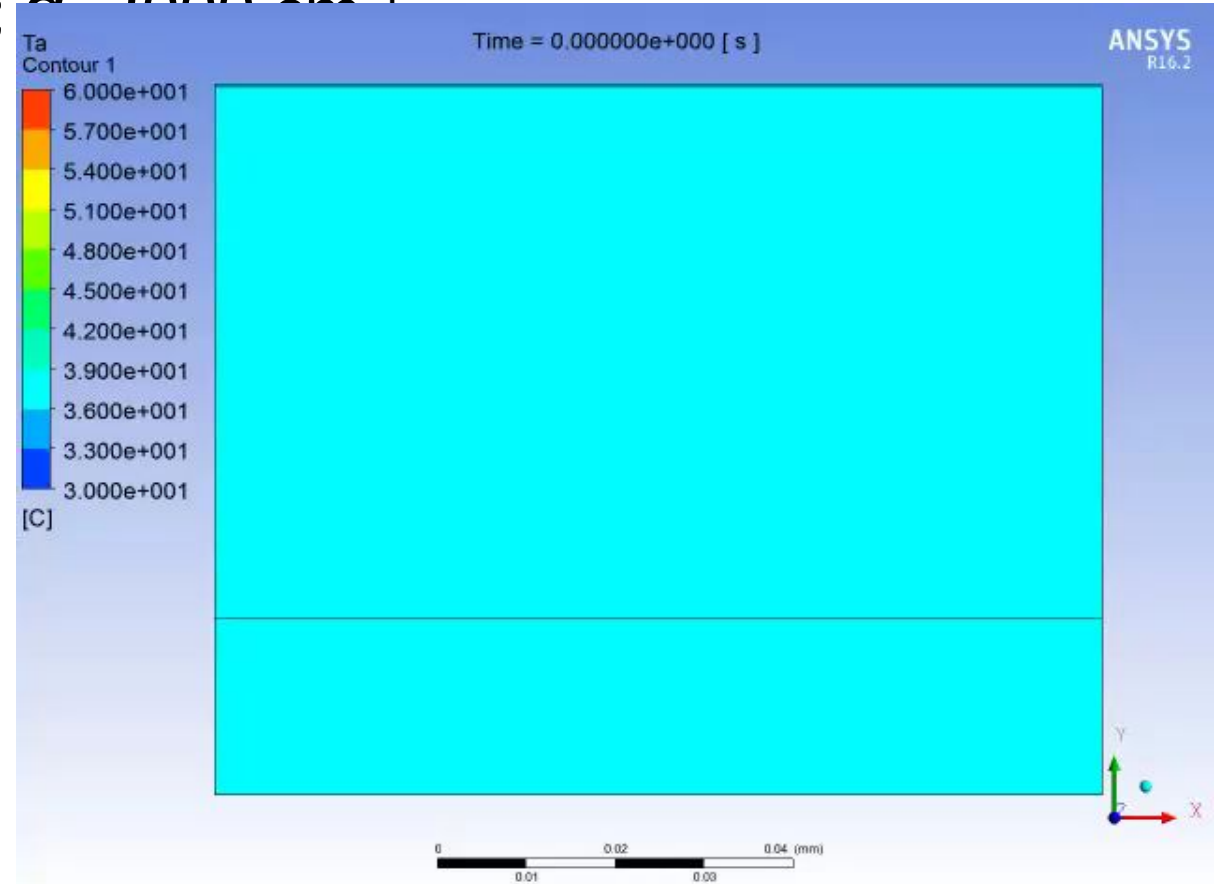


Результаты расчета "в динамике", влияние энергии импульса

$T = 1 \mu s; T = 2000; \alpha = 2000 \text{ cm}^{-1}$

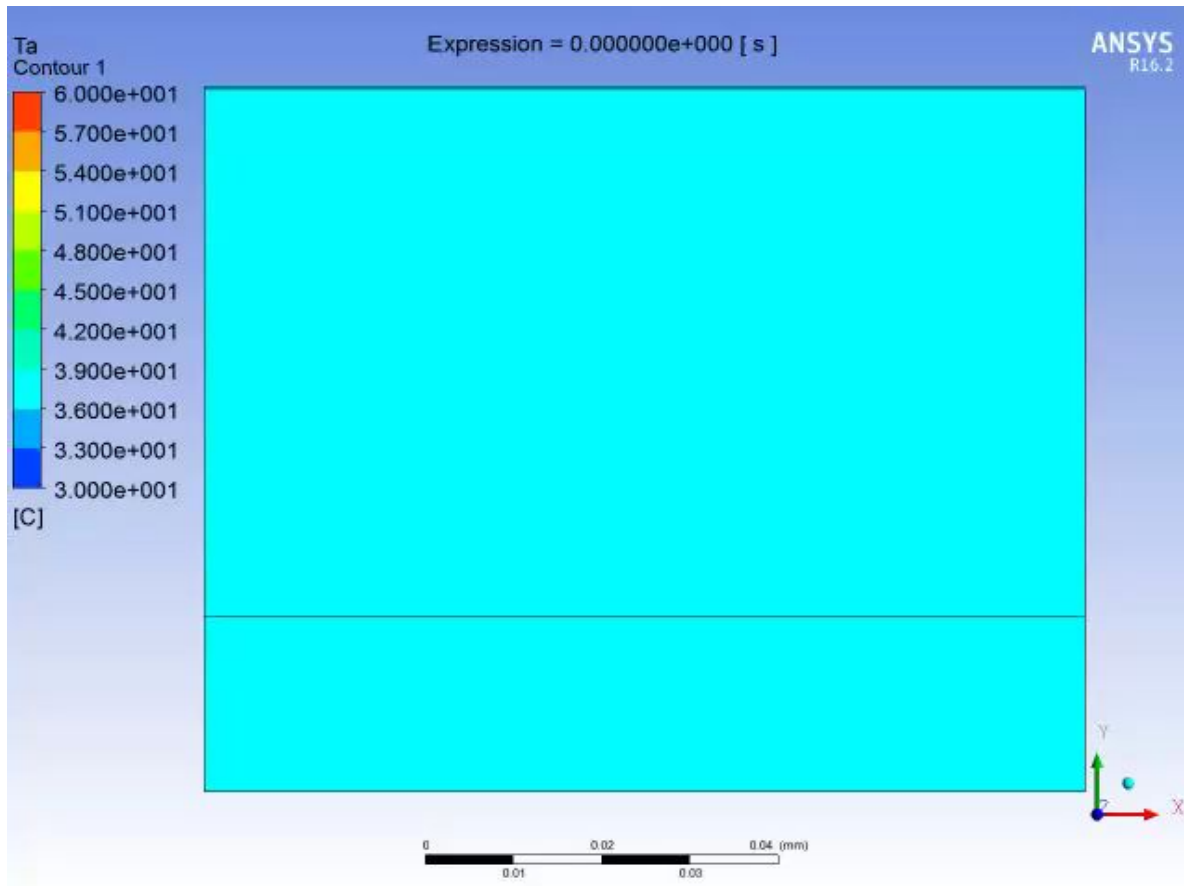


Случай 1:
 $E = 1 \text{ J/cm}^2$

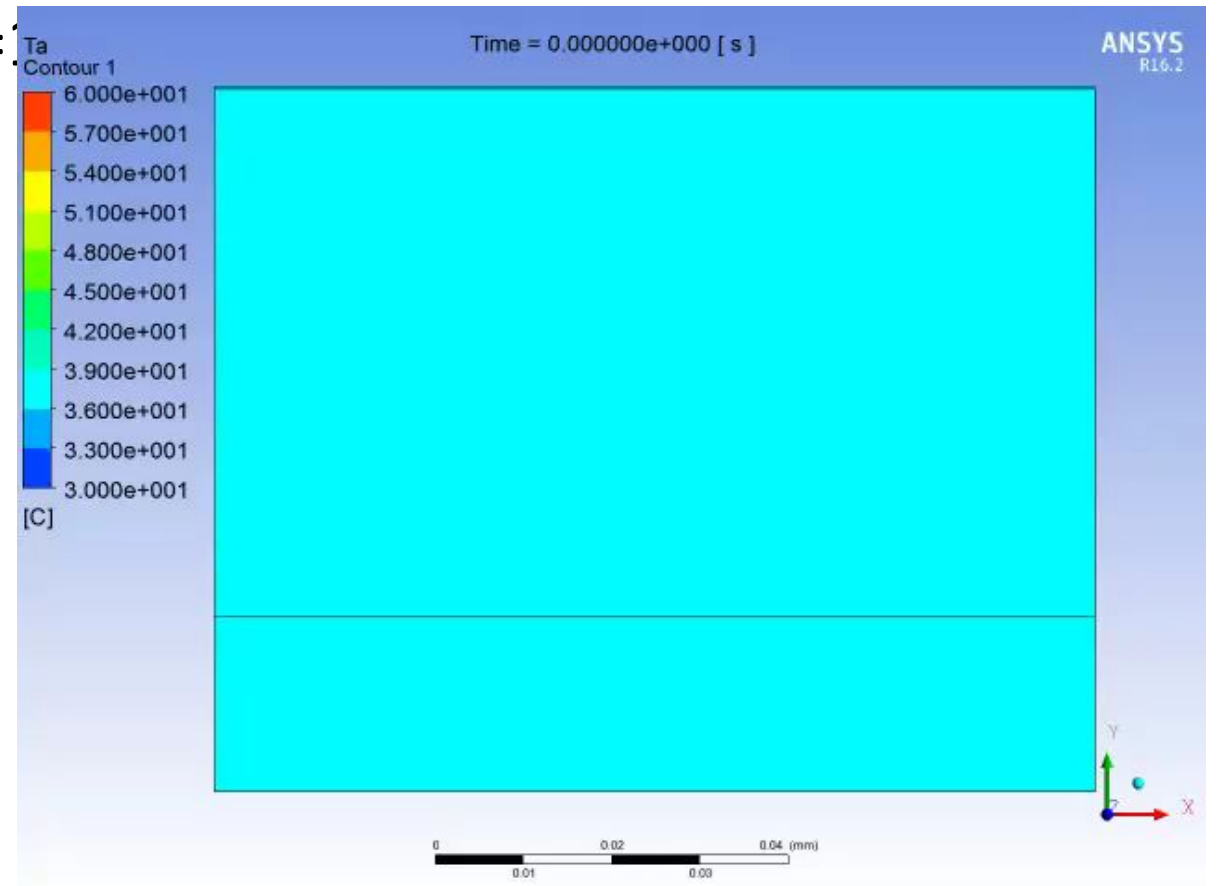


Случай 9:
 $E = 10 \text{ J/cm}^2$

Результаты расчета "в динамике", влияние поглощения материала

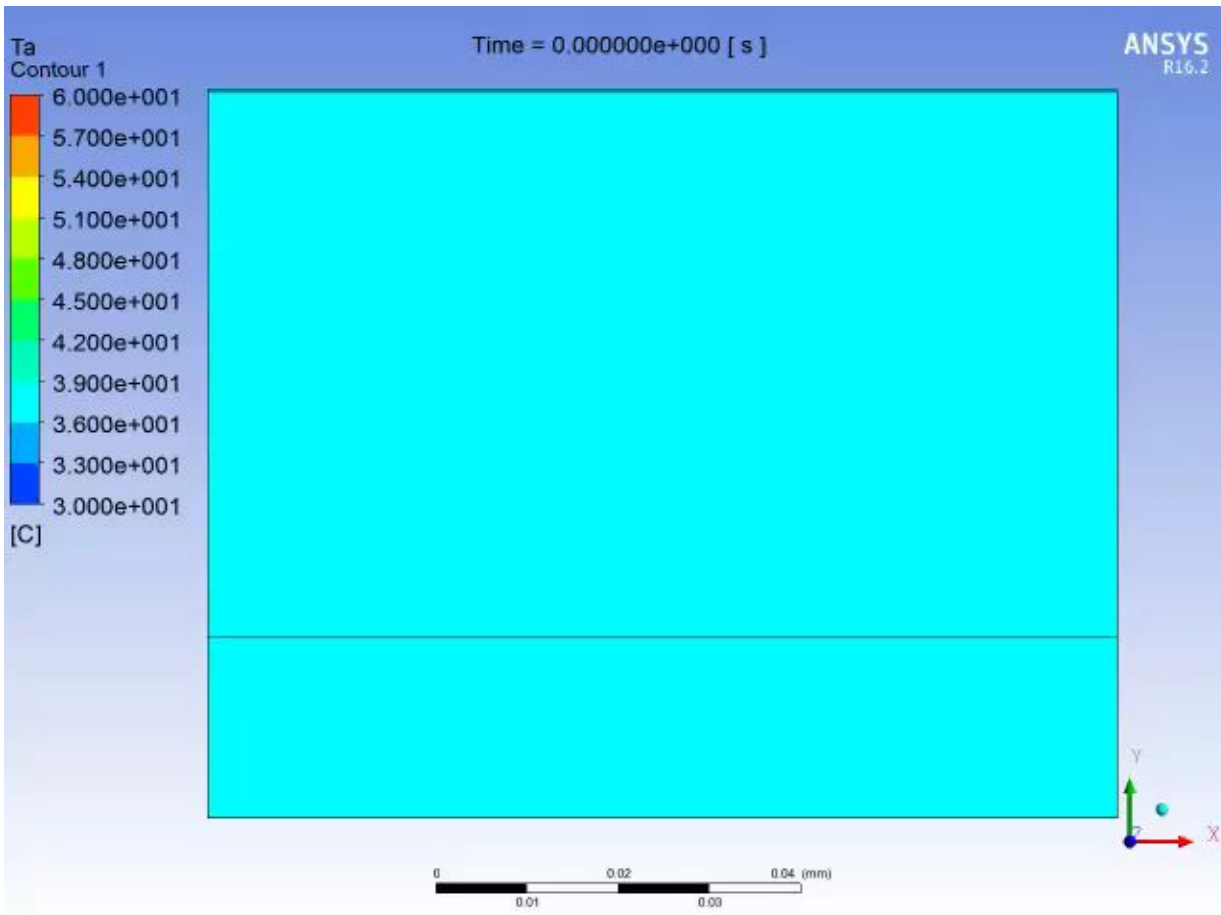


Случай 4: $\alpha=1000$
 cm^{-1}

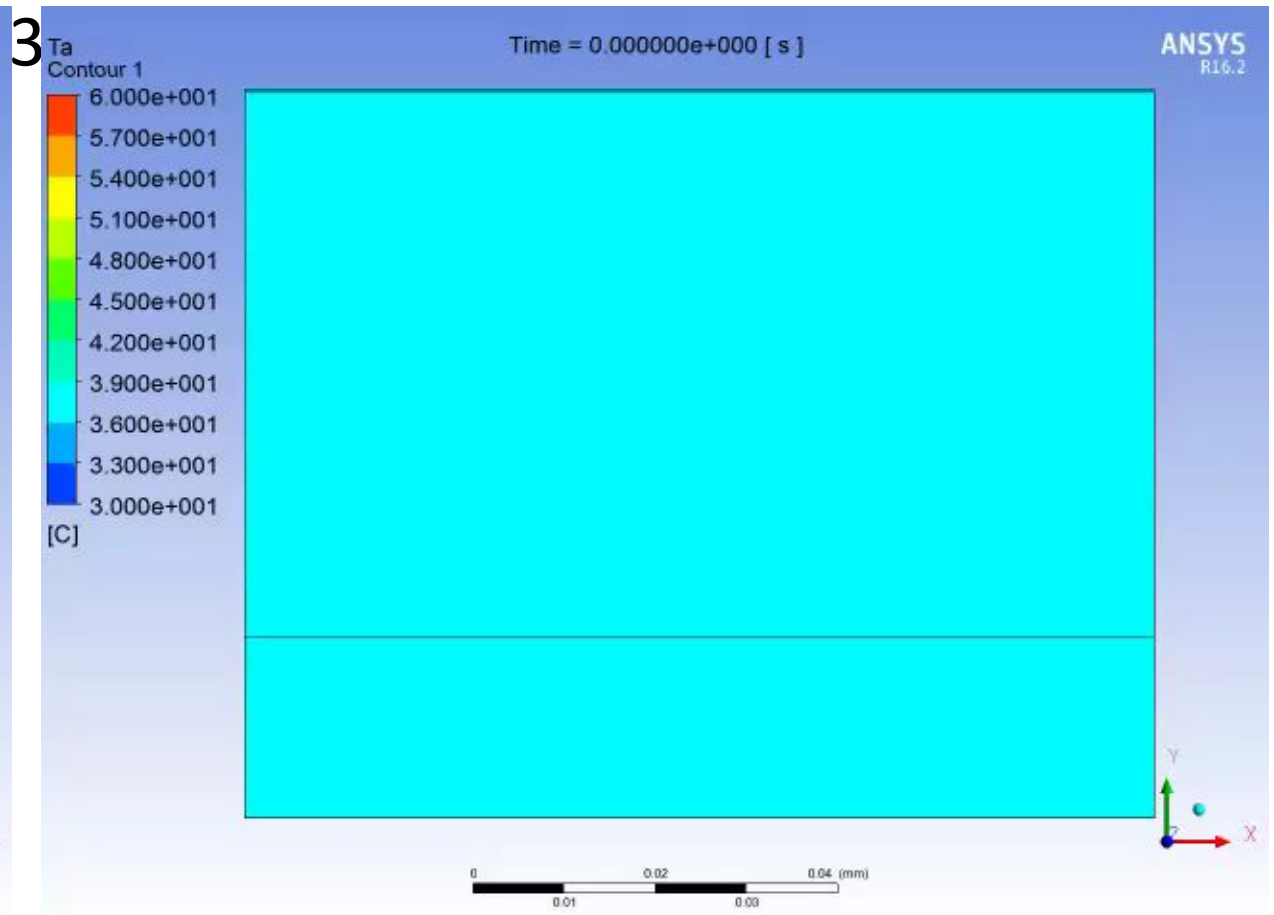


Случай 6: $\alpha=4000$
 cm^{-1}

Результаты расчета "в динамике", влияние длительности периода



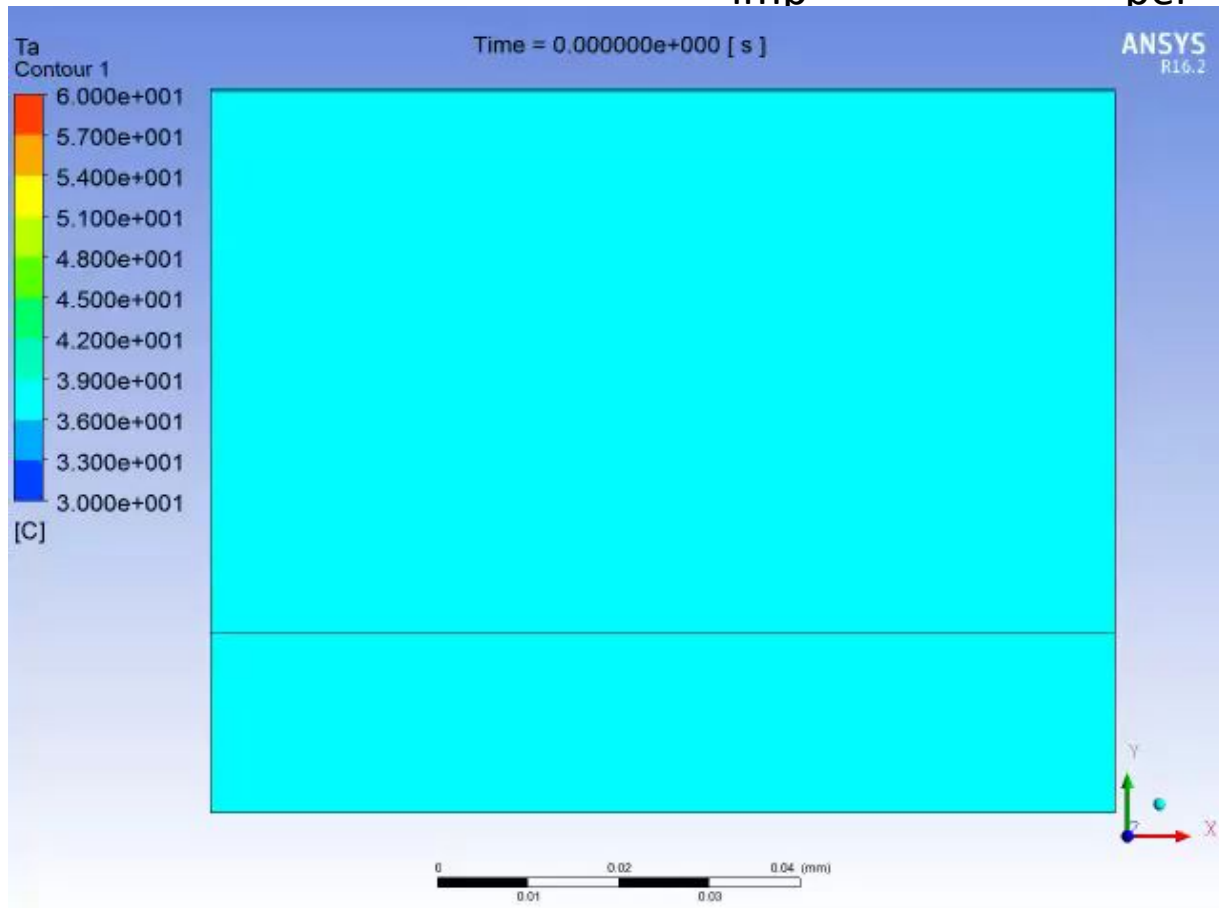
Случай 3:
 $T_{\text{п}} = 0.3 \text{ ms}$



Случай 7:
 $T_{\text{п}} = 10 \text{ ms}$

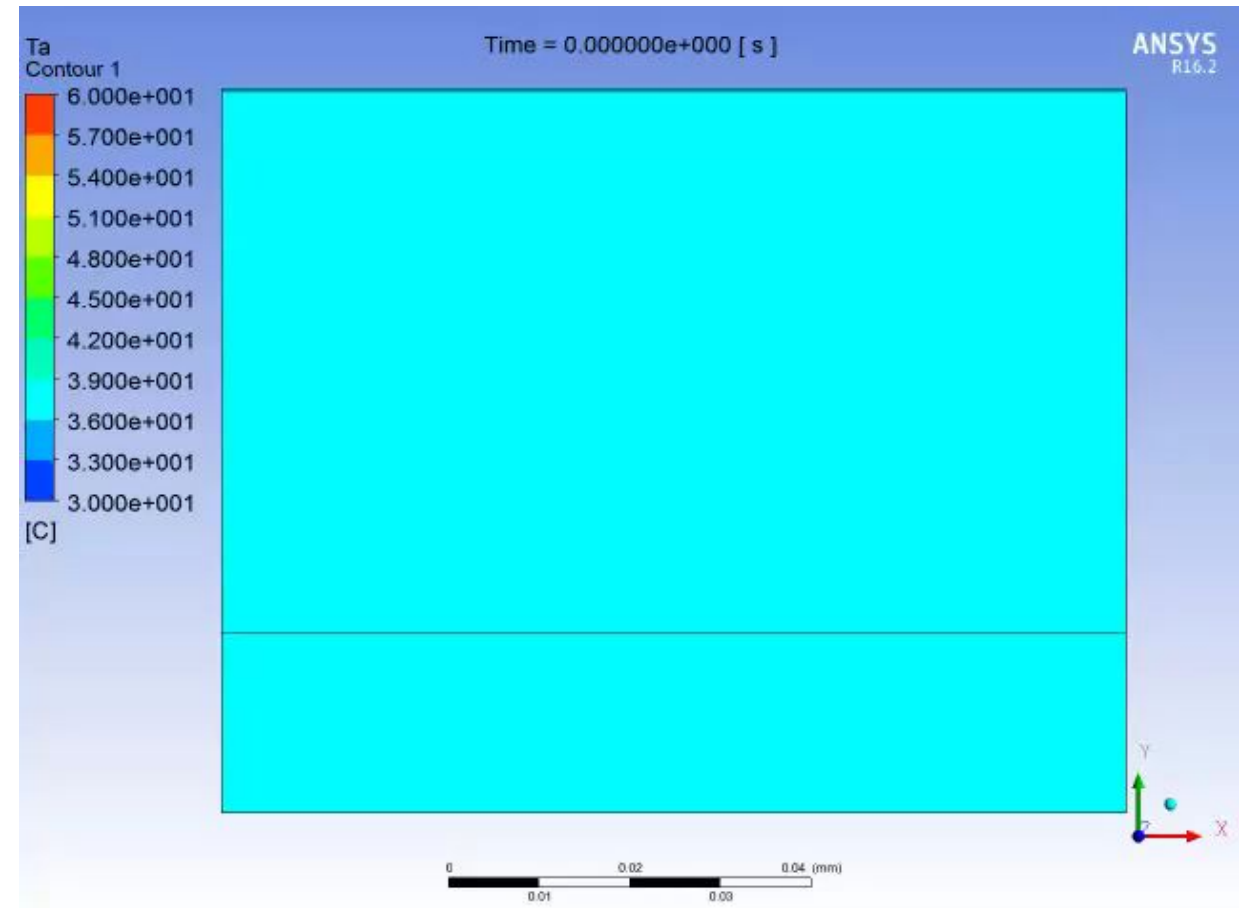
Результаты расчета "в динамике", влияние порога абляции

$$E_{\text{imp}} = 3 \text{ J/cm}^2; T_{\text{per}} = 1 \text{ ms}; \alpha = 2000 \text{ cm}^{-1}$$



Случай 2:

$T_{\text{ab}} = 100\text{C}$



Случай 8:

$T_{\text{ab}} = 637\text{C}$