



# Национальный Исследовательский Иркутский Государственный Технический Университет

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПНЕВМОТЕРМИЧЕСКОЙ ФОРМОВКИ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ MSC MARC

НИЛ ИрГТУ «Проектирования и виртуального моделирования изделий  
и технологических процессов в авиастроении»

НИЛ ИрГТУ «Прогрессивных методов формообразования в  
заготовительно-штамповочном производстве»

Руководитель  
Докладчик

доцент, к.т.н. Шмаков А.К.  
Аспирант, Колесников А.В.

# НИЛ ИрГТУ «Прогрессивных методов формообразования в заготовительно-штамповочном производстве»



Пресс сверхпластичного формования и диффузионной сварки «FSP 60T» с комплексом оснастки

# Задачи для выполнения исследований

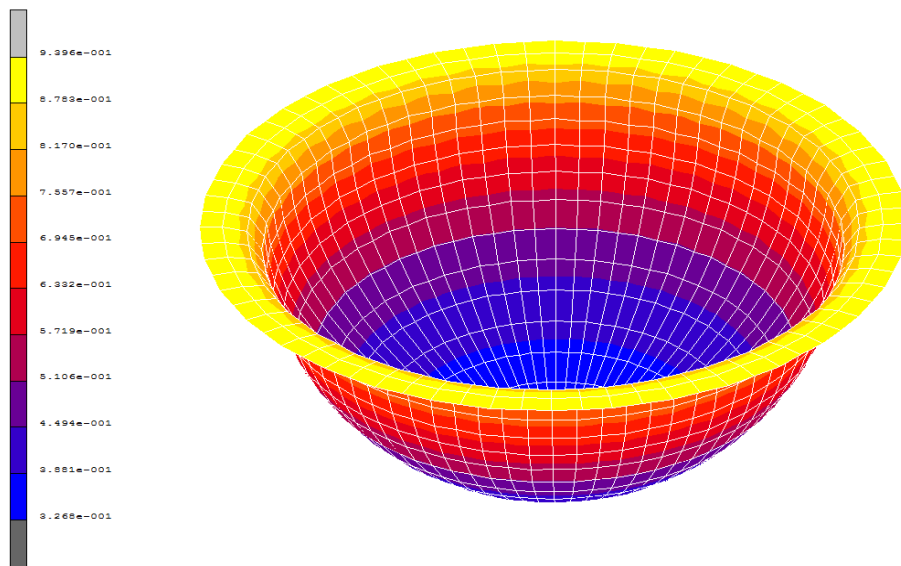


- Моделирование технологического процесса пневмотермической формовки (ПТФ) в режиме сверхпластичности;
- Определение параметров формообразования деталей методом пневмотермической формовки (давления и времени формовки);
- Определение условий качественного изготовления конструкций методом ПТФ;
- Расчёт на прочность конструкций, изготавливаемых методом пневмотермической формовки;
- Разработка рекомендаций по освоению процесса формовки конструкций из трудно-деформируемых сплавов.

# Виртуальное моделирование процесса ПТФ

Процесс пневмотермической формовкой (ПТФ) детали типа купол.  
Габаритные размеры  $\varnothing 100 \times 50$  мм.

Inc: 224  
Time: 7.000e+002



Raschet  
Thickness of Element

Моделирование процесса (ПТФ) детали типа  
купол

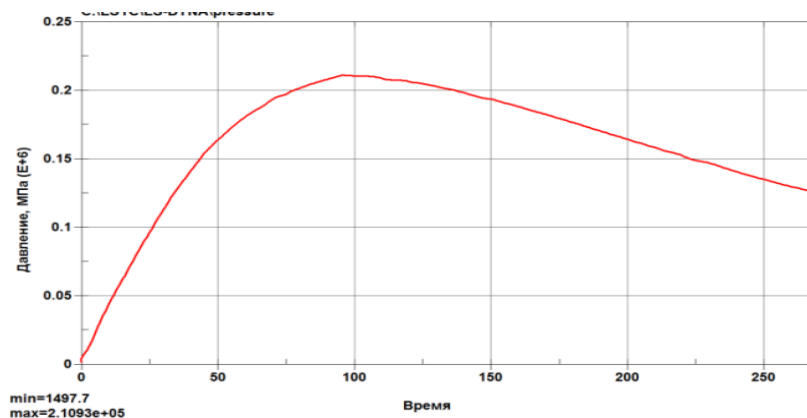


График изменения давления по времени



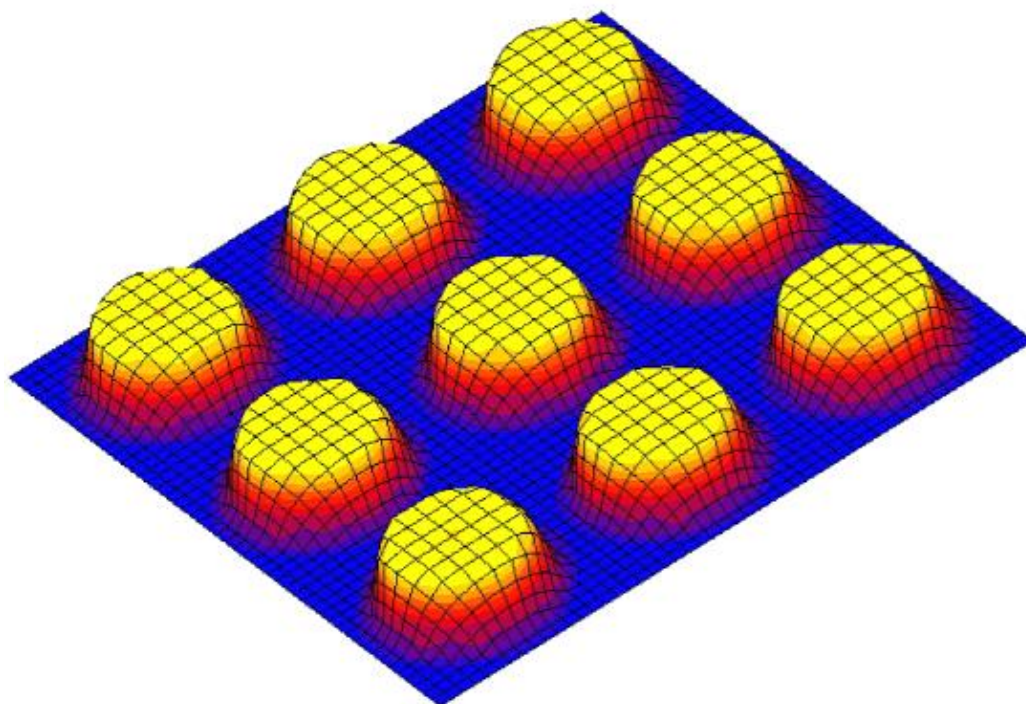
Натурный эксперимент





# Модельная деталь «Ячеистая панель»

Габаритные размеры 150x150 мм, Толщина листа - 1 мм,  
Материал – титановый сплав VT20



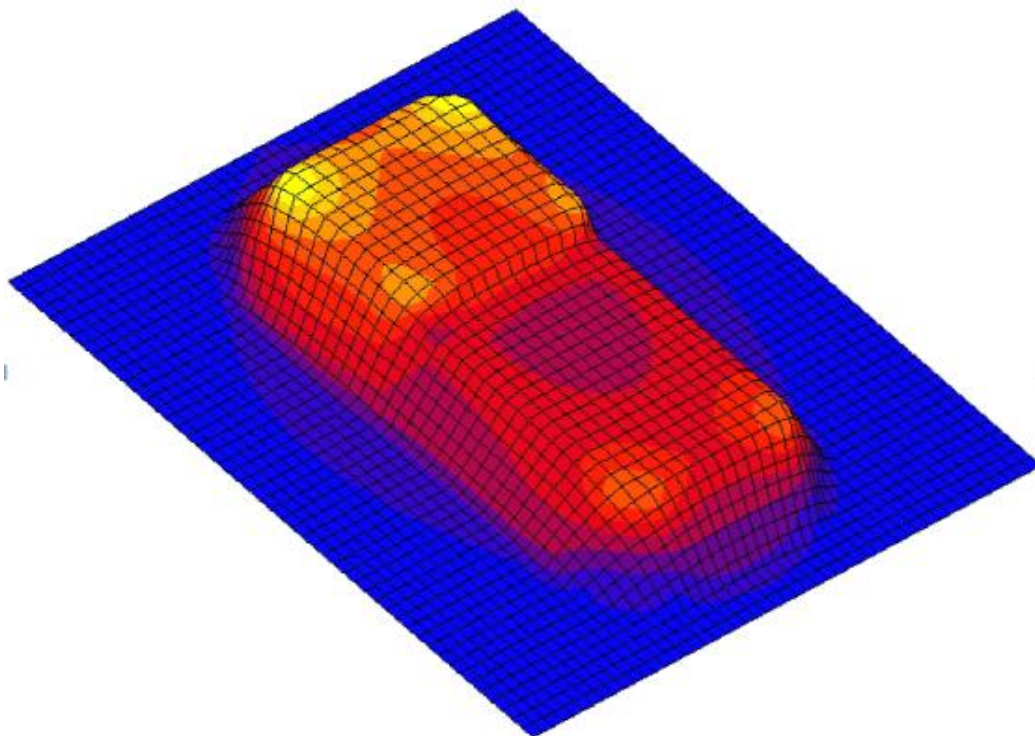
Моделирование процесса ПТФ



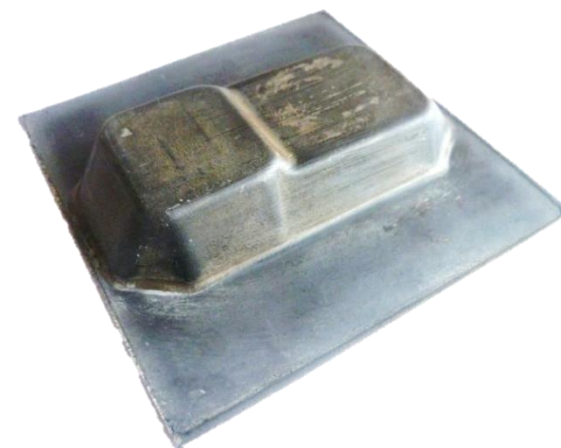
Изготовленная деталь

# Модельная деталь «Кожух»

Габаритные размеры 150x150 мм, Толщина листа - 1 мм  
Материал – АМг6, ВТ20



Моделирование процесса ПТФ



Изготовленная деталь

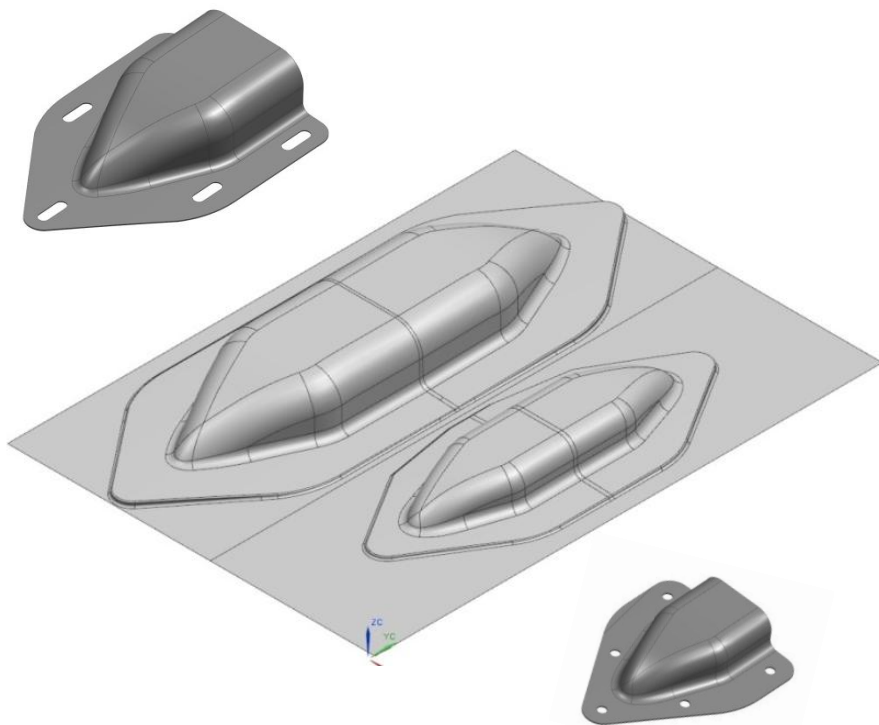
# Совместное изготовление 4 деталей «Обтекатели»



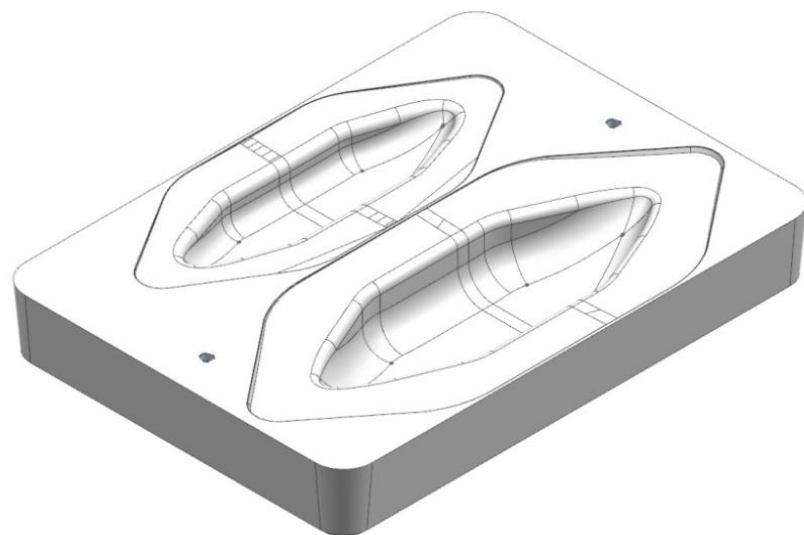
Материал – ОТ4-1

Габаритные размеры 260x190 мм, толщина листа – 0.5 мм

Электронные модели обтекателей



Оснастка для комплексного  
изготовления деталей обтекатели

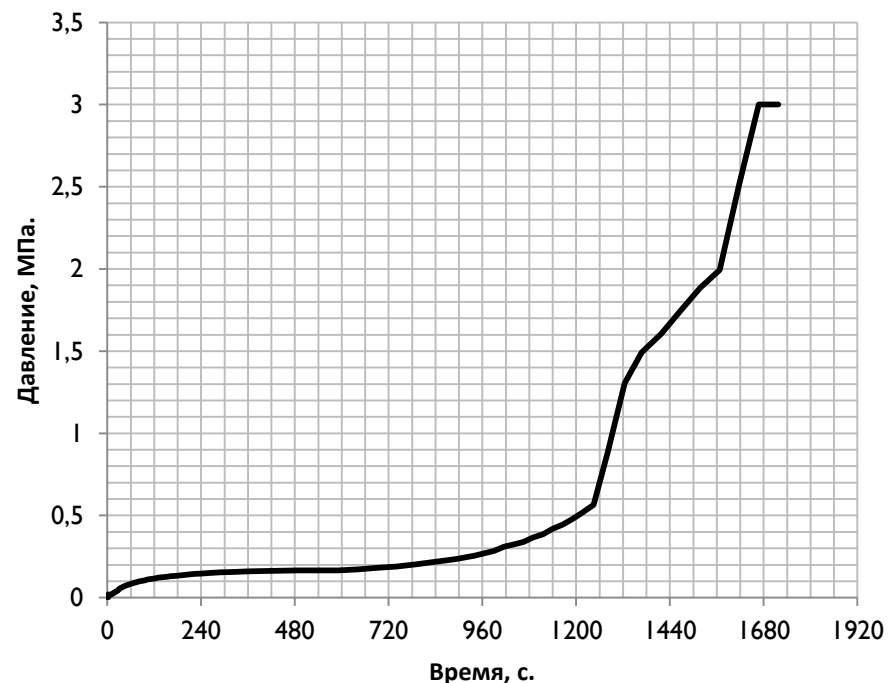
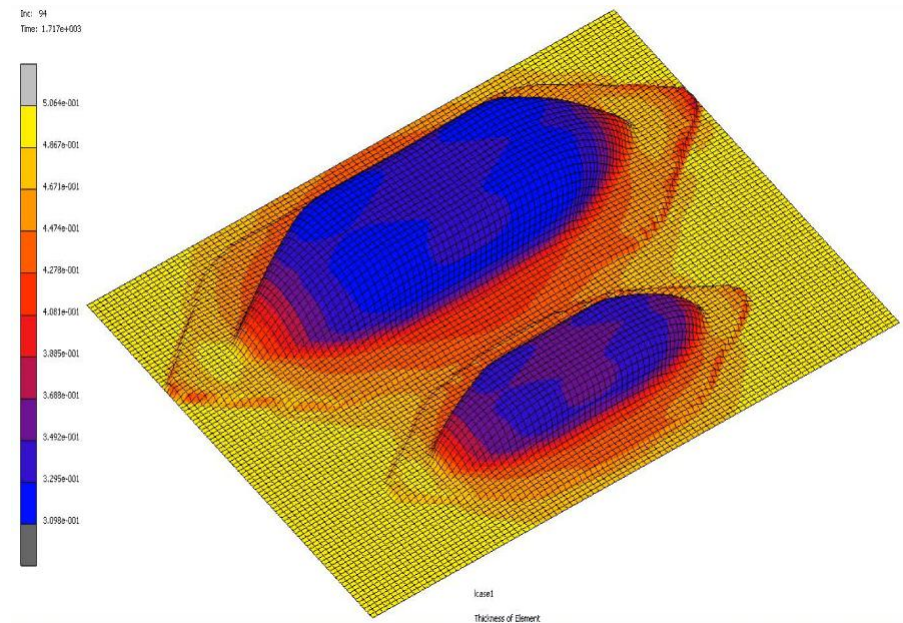


# Моделирование пневмотермической формовки деталей «Обтекатели» в программном комплексе «MSC Marc»



Моделирование процесса ПТФ

График изменения формирующего давления



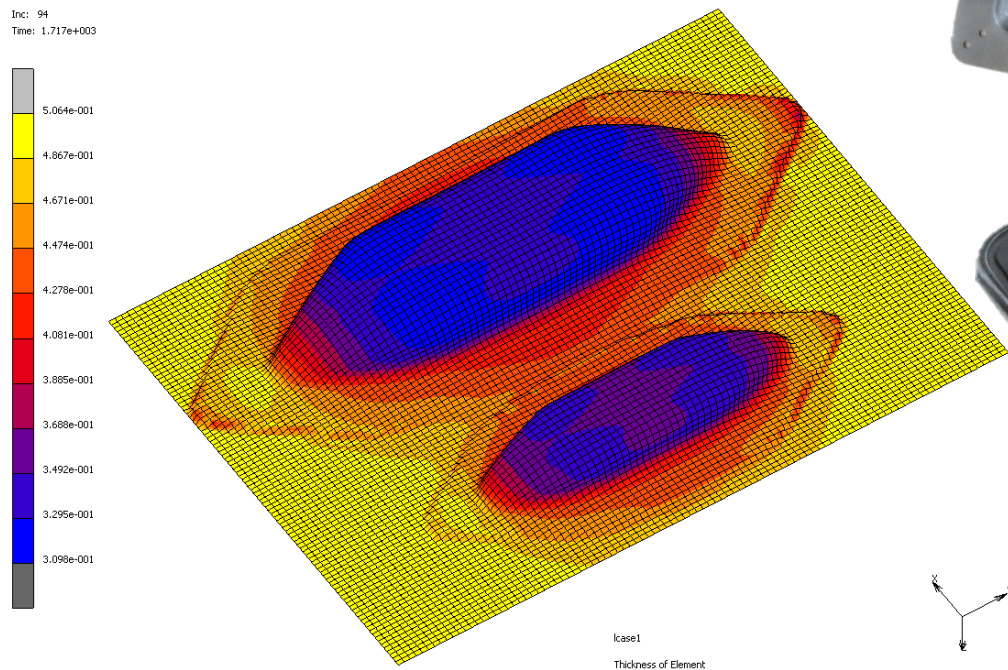


# Совместное изготовление 4 деталей «Обтекатели» в прессе «FSP 60T»

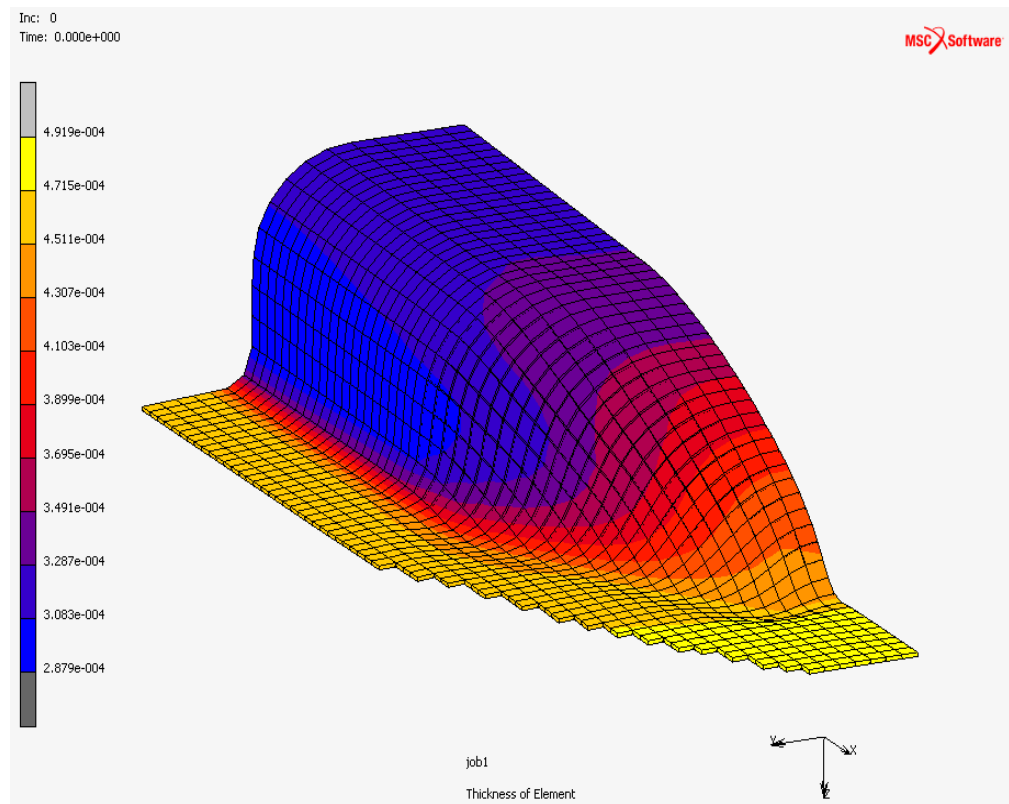


Моделирование процесса ПТФ

Изготовленные детали



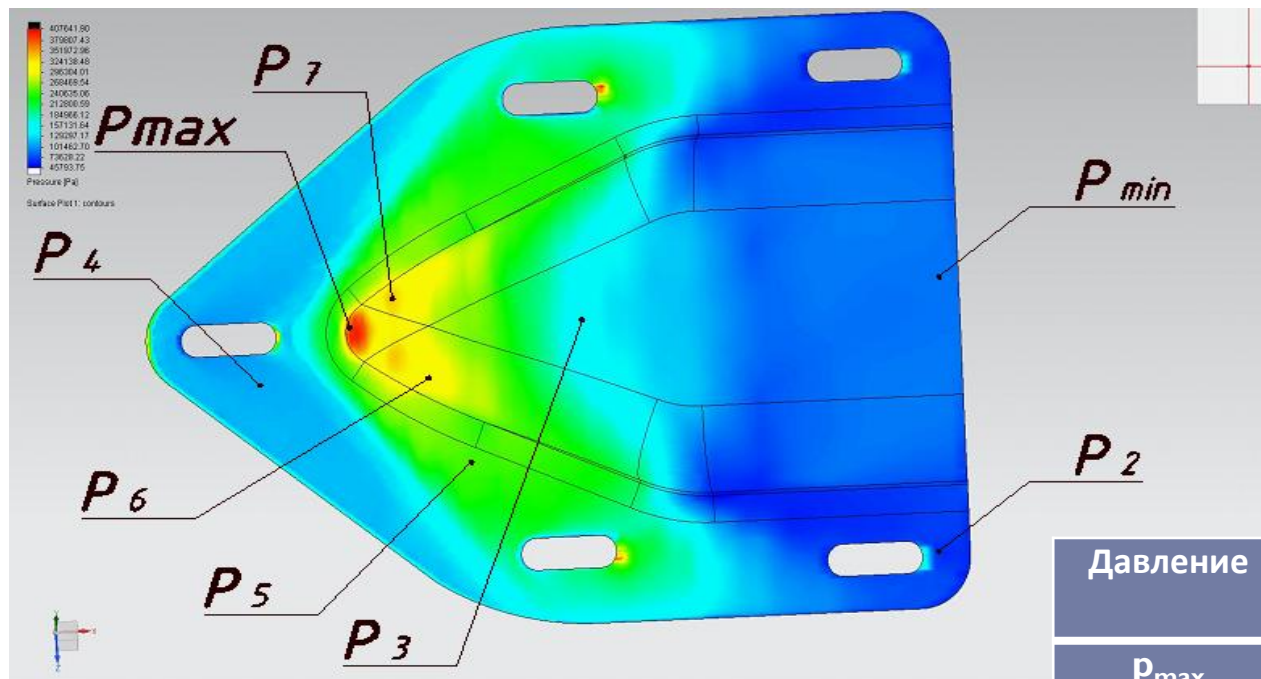
# Распределение толщины после ПТФ детали «Обтекатель»



Распределение толщины в детали после процесса ПТФ, полученная в результате моделирования.

Минимальная толщина составляет  $s_{\min} = 0,288$  мм.

# Распределение полей давлений



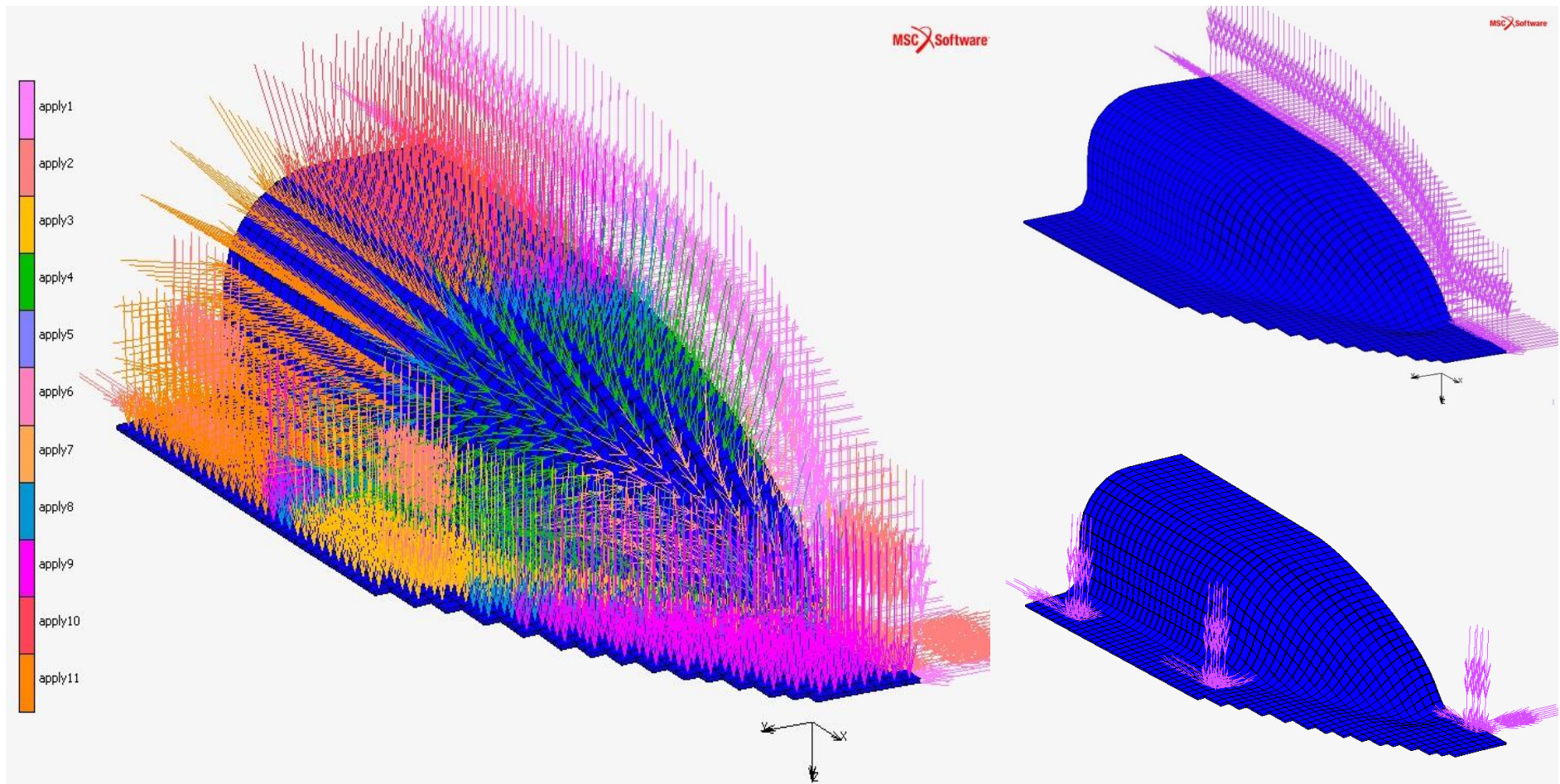
Зоны распределения давления

Таблица распределения давления

Давление	Значение, Па.
$P_{max}$	407642
$P_7$	379808
$P_6$	324138
$P_5$	240635
$P_4$	157132
$P_3$	101463
$P_2$	73628.2
$P_{min}$	45793.8



# Аэродинамические нагрузки на деталь «Обтекатель» в MSC Marc



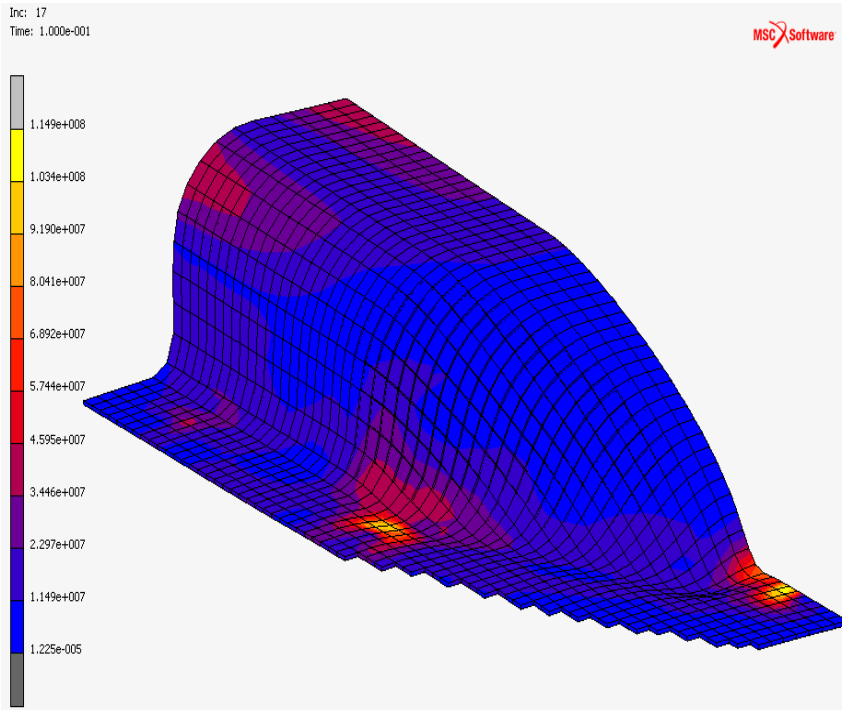
Задание распределения полей давления из «FlowVision» в программе MSC «Marc»



# Напряженно-деформированное состояние в MSC «Marc»

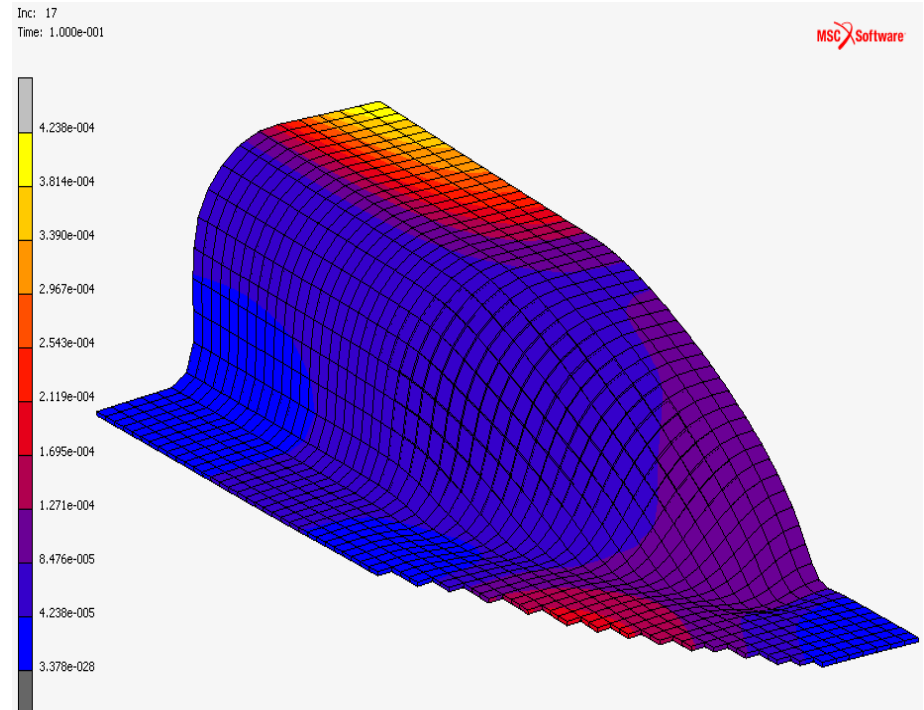


Результат распределения напряжений



Максимальные напряжения составили  $\sigma_{\text{экв}} = 114,9$  МПа, Коэффициент запаса прочности не ниже 4.

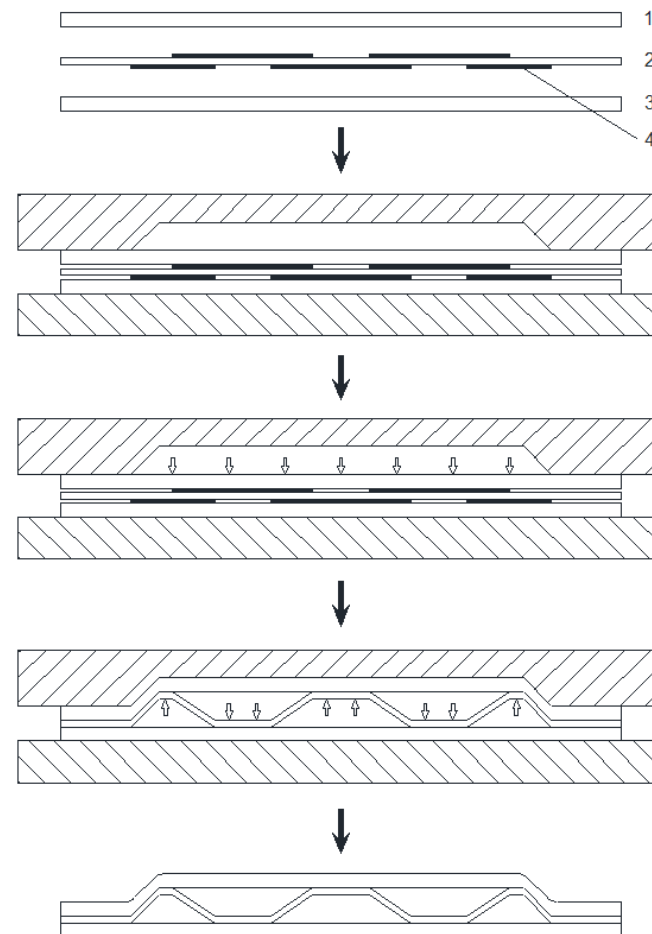
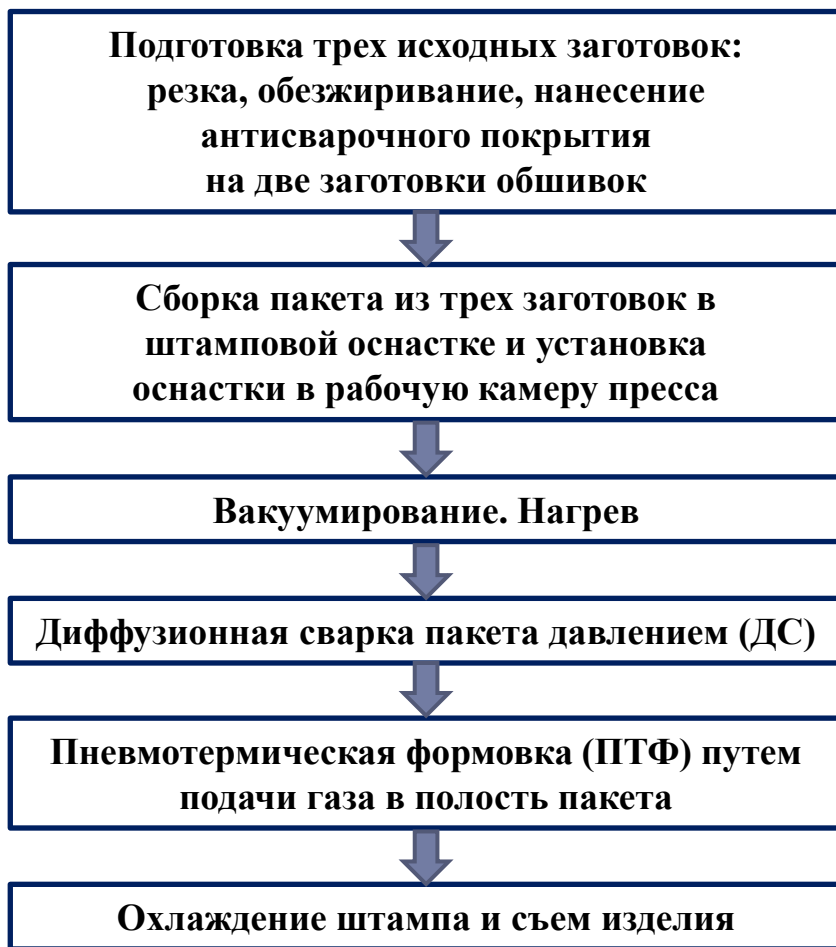
Распределение суммарных перемещений конструкции



Максимальные перемещения под действием нагрузки составили  $\sum \delta = 0,4238$  мм.

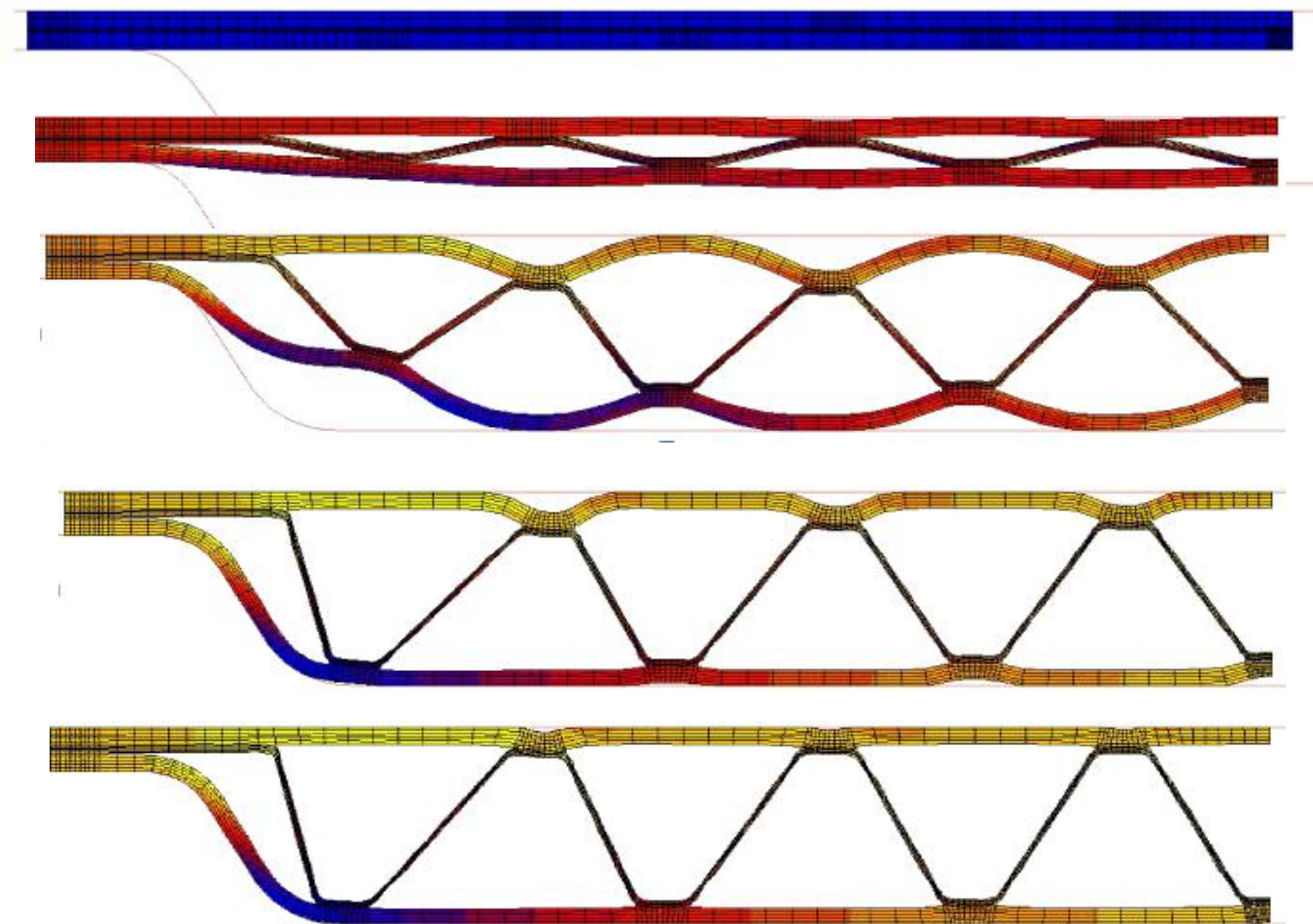


# Технология изготовления трёхслойной конструкции



1, 3 - заготовки обшивок; 2 – заготовка заполнителя; 4 – антисварочное покрытие

# Пневмотермическая формовка трёхслойных панелей в программном комплексе MSC «Марс»

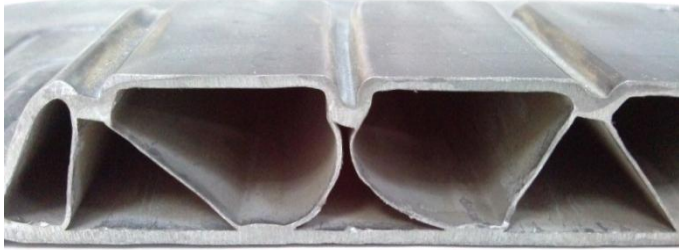


Моделирование ПТФ трехслойных панелей





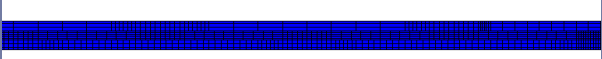
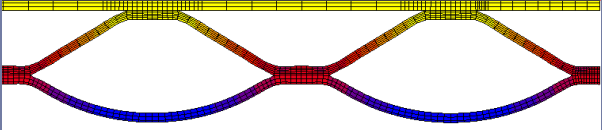
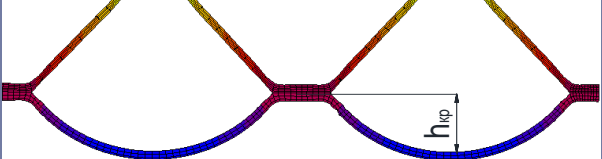
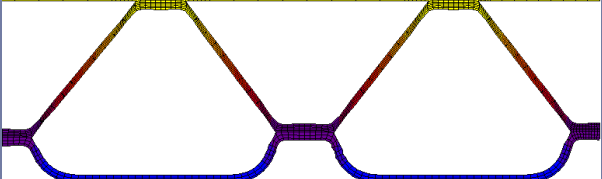
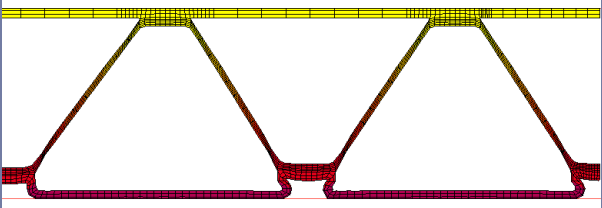
# Анализ причин возникновения утяжин в процессе формовки многослойных панелей



Утяжины после процесса ПТФ/ДС

Параметры, влияющие на возникновение утяжин:

- Ширина гофра;
- Величина прогиба обшивки;
- Соотношение исходных толщин обшивки и заполнителя.

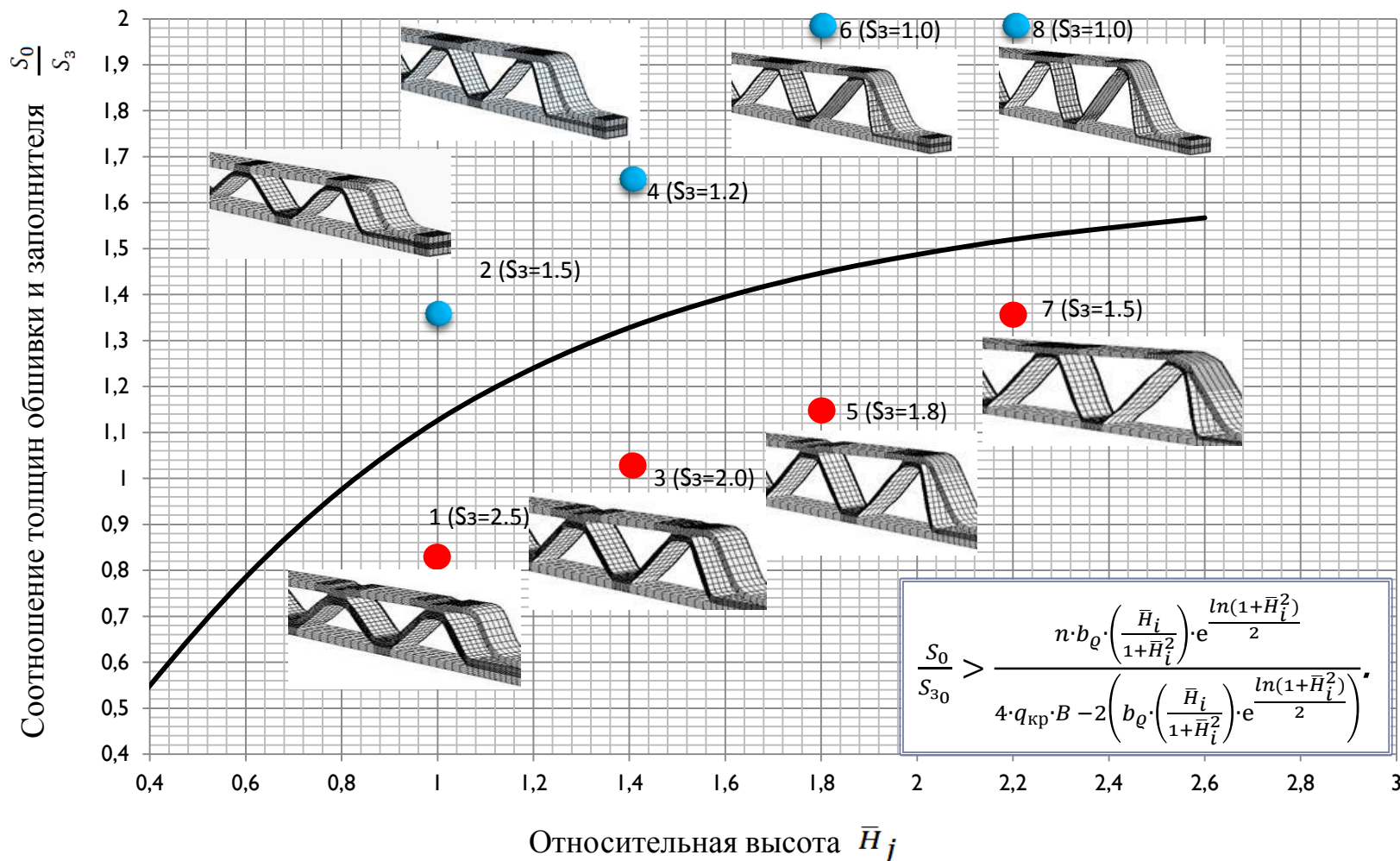
Процесс формообразования панели	Этапы
	Начало формовки
	Свободная формовка заполнителя
	Прогиб обшивки критической высоты
	Оформление нижней обшивки
	Окончание формовки, образование утяжин

# Формирование прогиба критического значения в MSC «Marc»

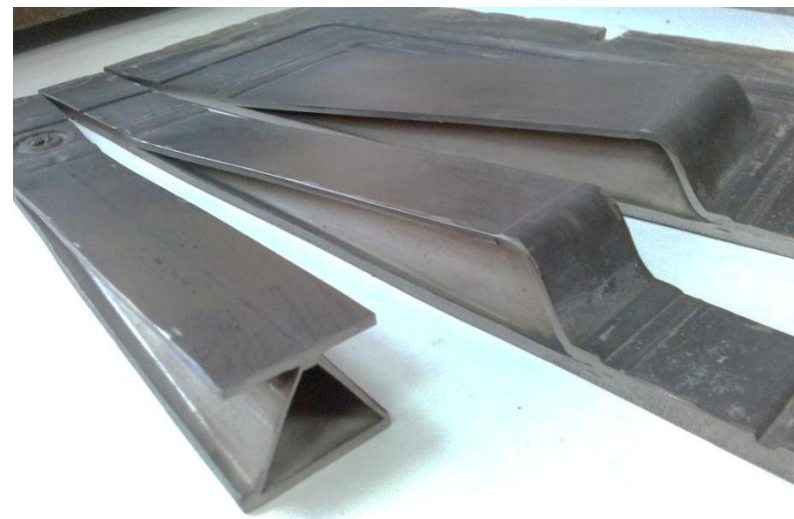
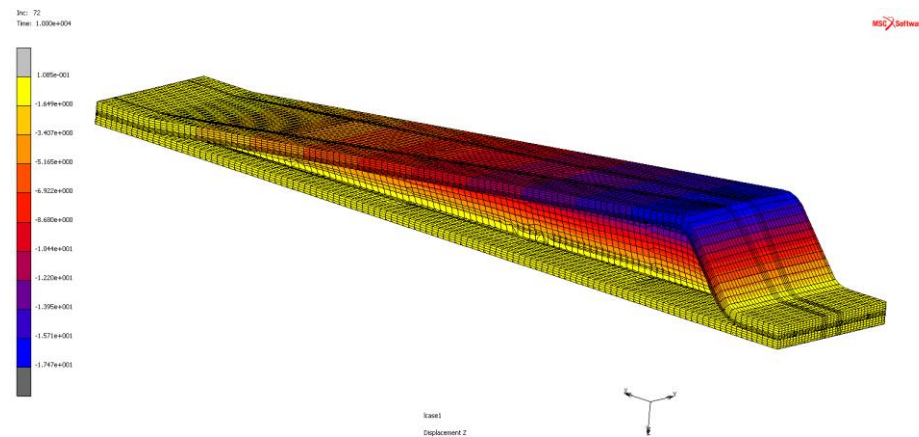
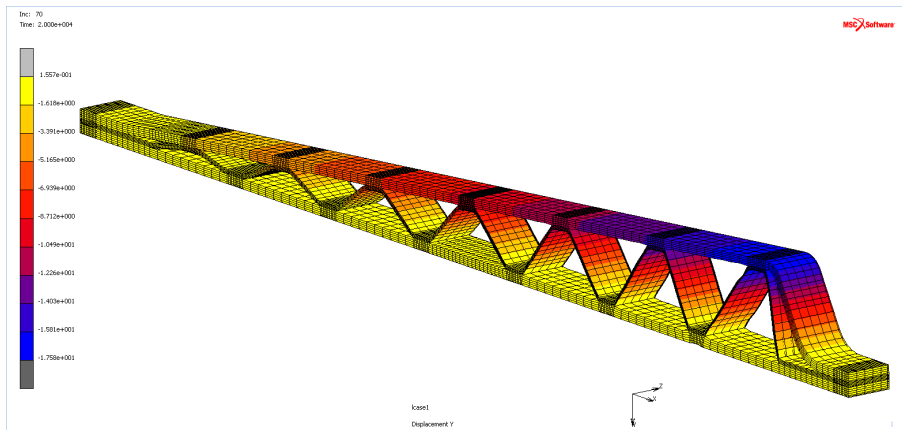


№		
1		Исходный лист
2		Начало формовки
3		Критический прогиб
4		Посадка прогиба, формирование складки
5		Образование утяжины

# Оценка значений соотношения толщин клиновидной панели из титанового сплава BT20



# Формовка клиновидных трёхслойных панелей из сплава ВТ20





# Выводы



- Программный комплекс «Mars» позволяет:
- ▶ Определять технологические параметры ПТФ
  - ▶ Формировать модель детали переменной толщины и выполнять анализ её напряженно-деформированного состояния
  - ▶ Вычислять геометрические параметры многослойных конструкций, обеспечивающие её бездефектное изготовление

---

сайт  
[www.technology.ru.com](http://www.technology.ru.com)

Спасибо за внимание!

