



Конечно-элементное моделирование процесса литья бампера автомобиля BMW в программной системе Moldex3D

Выполнила студентка группы 6055/1

Научный руководитель, к.т.н.

Соруководитель

М.С. Тихонова

проф. А.И. Боровков

А.С. Алексашкин

Санкт-Петербург

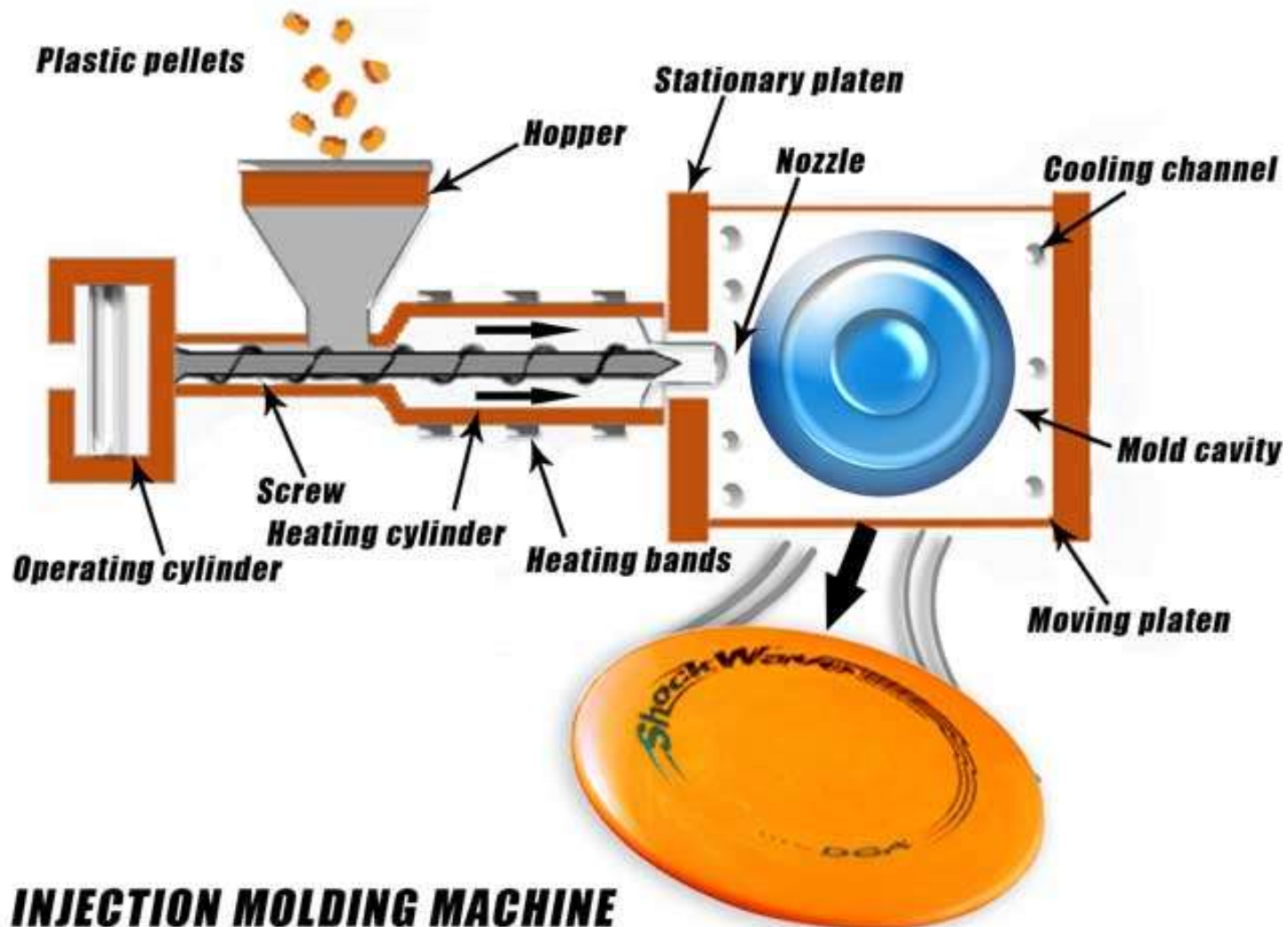
2012 г.



Содержание

- Моделирование литья под давлением переднего бампера автомобиля BMW X5
- Определение необходимой точности сетки
- Анализ полученных результатов
- Упрощение модели путем локализации зоны эффекта коробления фронтальной поверхности бампера
- Модификация систем литниковых каналов и охлаждения
- Армирование детали короткими волокнами
- Модификация системы охлаждения
- Анализ локальных перемещений
- Заключение

Технологический процесс





Математические модели

Обобщённая ньютоновская жидкость, неизотермические 3D потоки

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad \text{— неразрывность (1)}$$

$$\frac{\partial \rho \mathbf{v}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v} \mathbf{v} - \boldsymbol{\sigma}) = \rho \mathbf{g} \quad \text{— сохранение импульса (2)}$$

$$\boldsymbol{\sigma} = -p \mathbf{E} + \eta (\nabla \mathbf{v} + \mathbf{v} \nabla) \quad \text{— тензор напряжений}$$

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla T \right) = \nabla \cdot (k \nabla T) + \eta \dot{\gamma}^2 \quad \text{— сохранение энергии (3)}$$

k — коэффициент теплопроводности

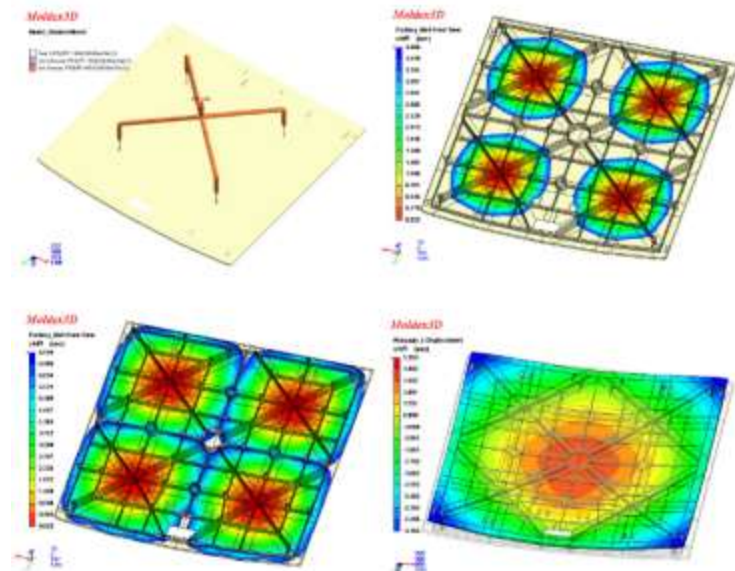
C_p — удельная теплоёмкость

η — вязкость

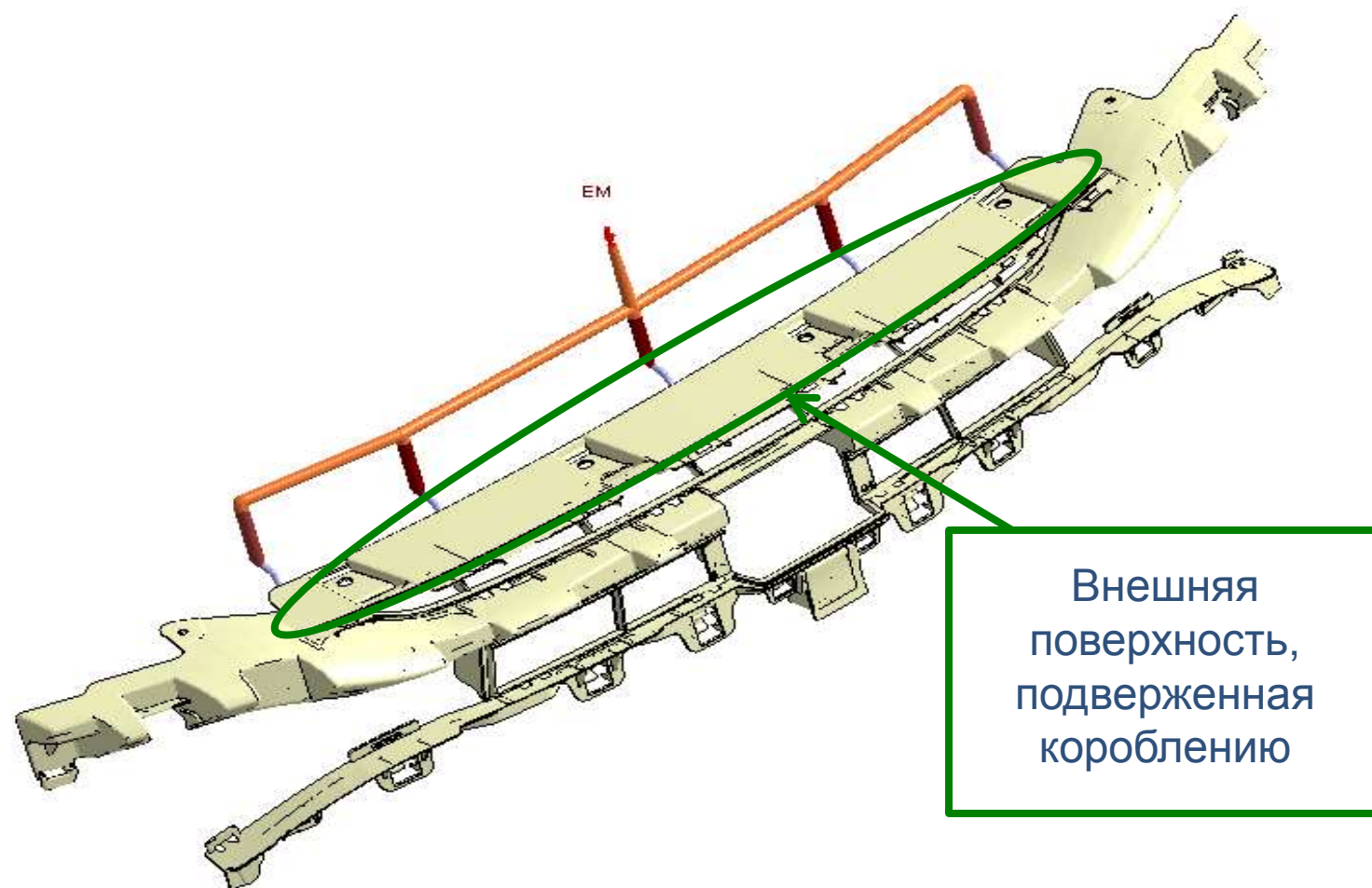
Программное обеспечение MOLDEX 3D

Преимущества:

- Высокопроизводительные параллельные вычисления
 - Объёмное течение расплава;
 - Трёхмерные литниковые каналы, с учетом изменения распределений давления и температуры по сечению;
 - Трёхмерное распределение температуры в литейной форме;
 - Струйные эффекты течения;
- Пространственное моделирование
 - заполнение формы (Flow);
 - выдержка под давлением (Pack);
 - охлаждение (Cool);
 - усадка/коробление (Warp)
- Автоматическая генерация трехмерной сетки



Модель переднего бампера автомобиля BMW X5 с системой литниковых каналов в Moldex3D

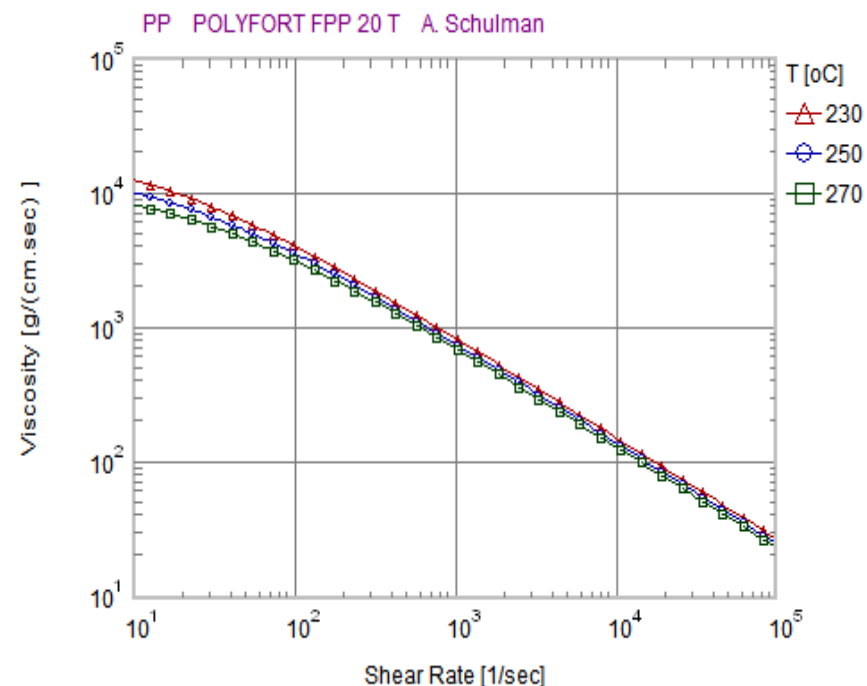


Основные характеристики материала PP Polyfort FPP 20 T

Свойства материала

Е, модуль Юнга, Па	$2.4 \cdot 10^{10}$
ν , коэффициент Пуассона	0.38
G, коэффициент вязкости, Па	10^6
K, коэффициент теплопроводности, Вт/(м*К)	$3 \cdot 10^4$
C, коэффициент теплоемкости, Дж/К	$1.5 \cdot 10^7$

Вязкость

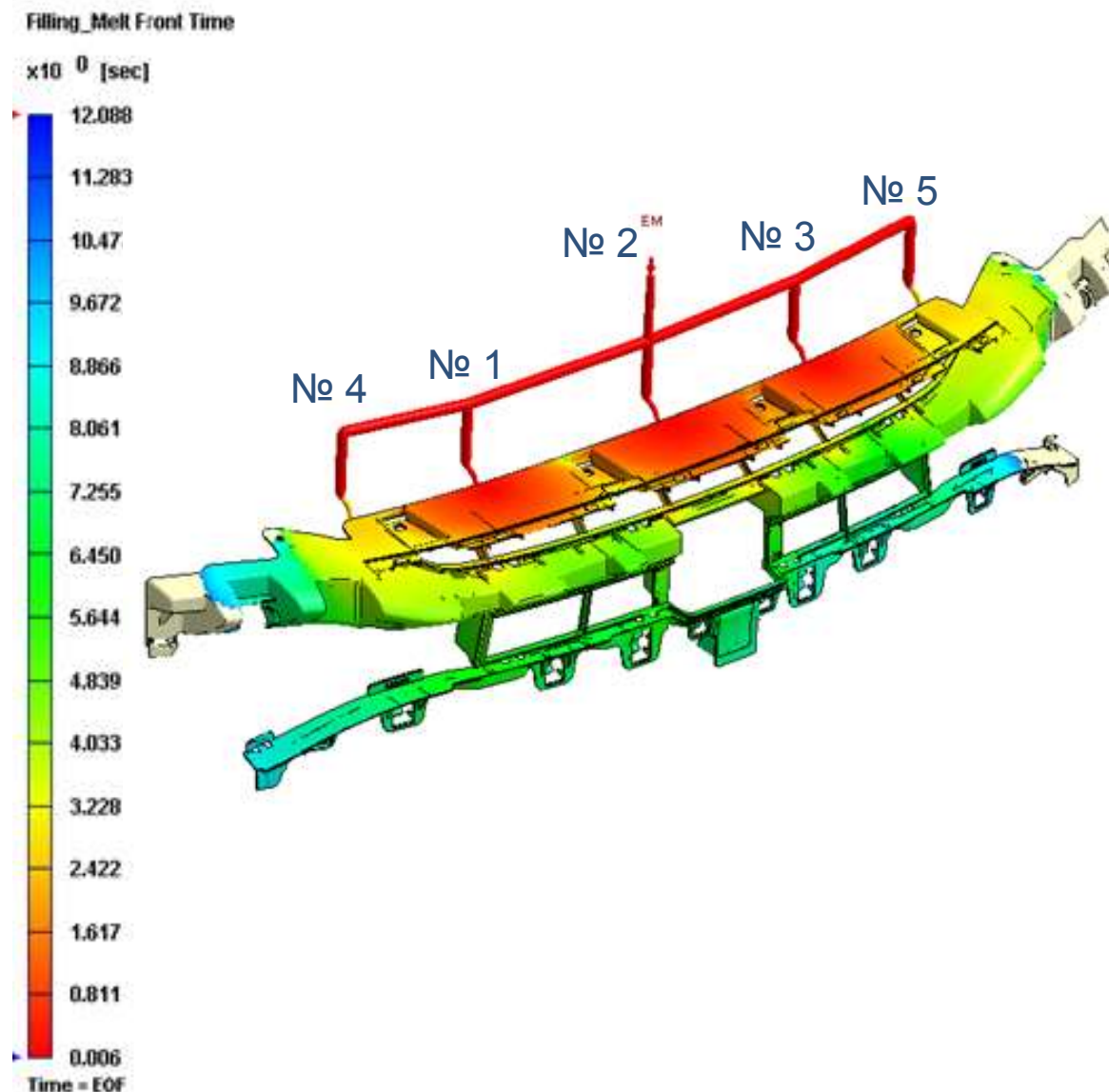


Условия процесса в Moldex3D

Технологические условия литья под давлением

Время впрыска, с	9.00
Температура расплава, °C	260.0
Температура литейной формы, °C	55.0
Максимально допустимое давление впрыска, МПа	250
Объём впрыскиваемого материала, см ³	1037.44
Время выдержки под давлением, с	5.00
Давление выдержки, МПа	250
Время раскрытия литейной формы после охлаждения, с	5.00
Температура детали при выемке, °C	146.85
Температура окружающей среды, °C	20.0

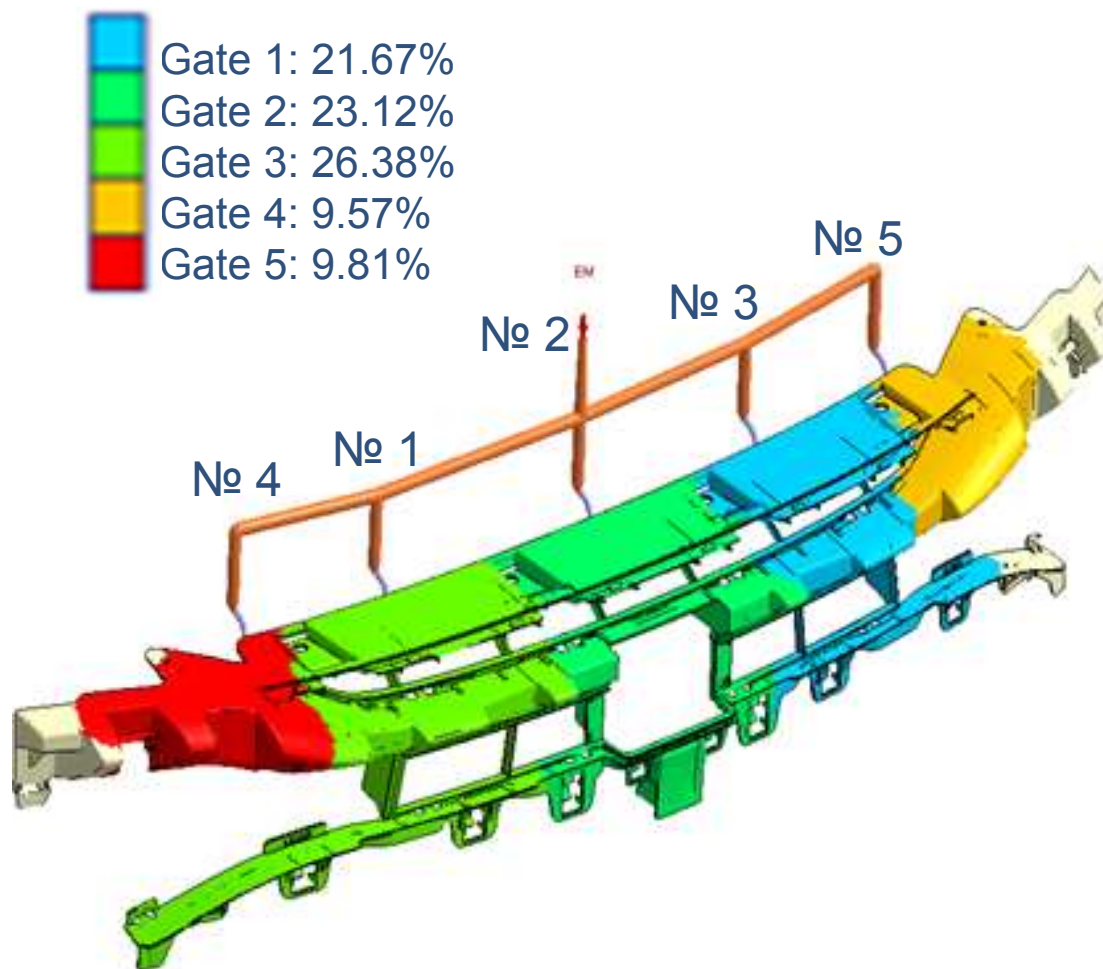
Заполнение формы в Moldex3D



- Уровень сетки: 2
- Количество элементов: 1 050 038
- Кол-во узлов: 641 561
- Неполный впрыск: 8.4056%
- Количество клапанов литника, открывающихся с задержкой: 2 (№4, №5)
- Время открытия клапанов: 2.4 с

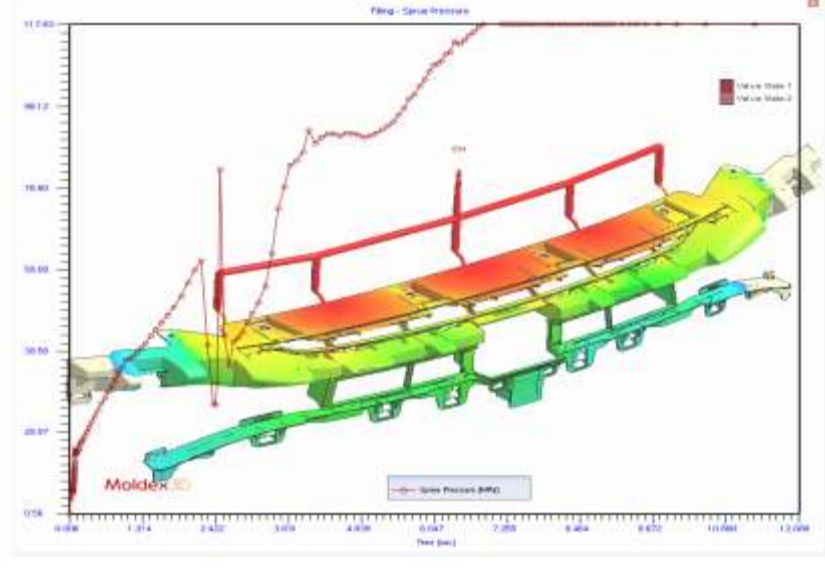
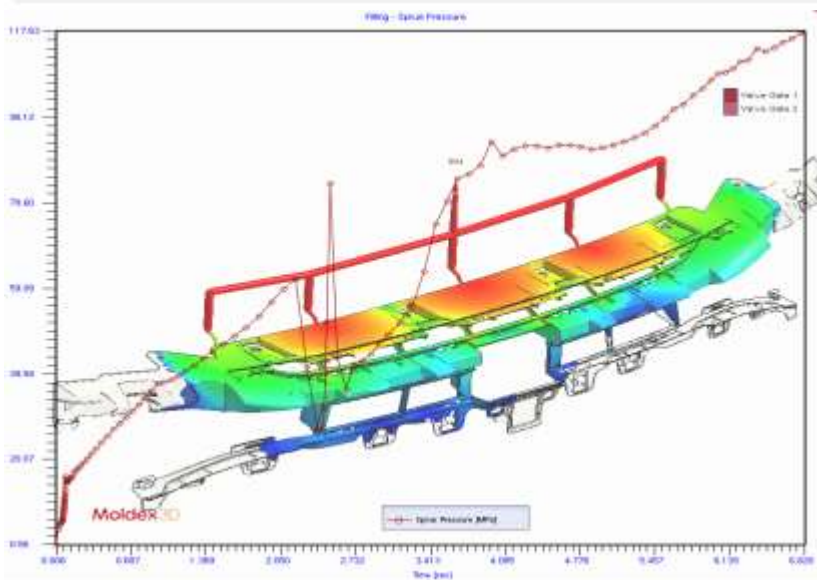
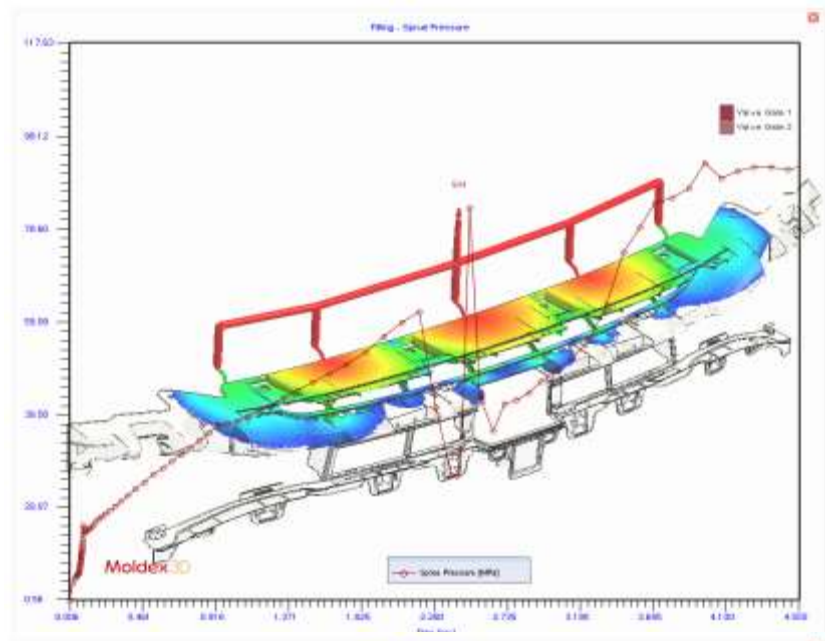
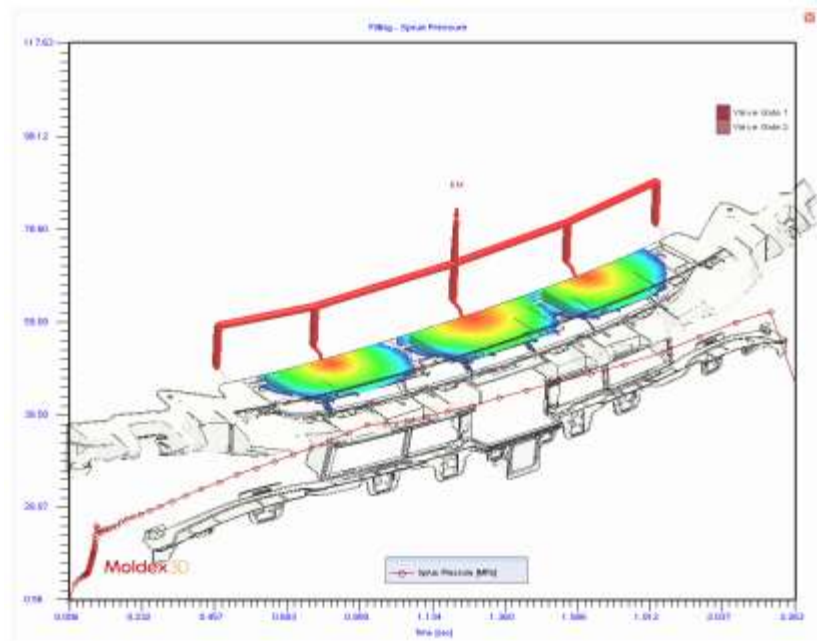
Использовалась возможность Moldex3D моделировать несинхронное открытие клапанов впускных литников

Распределение вклада литниковых каналов

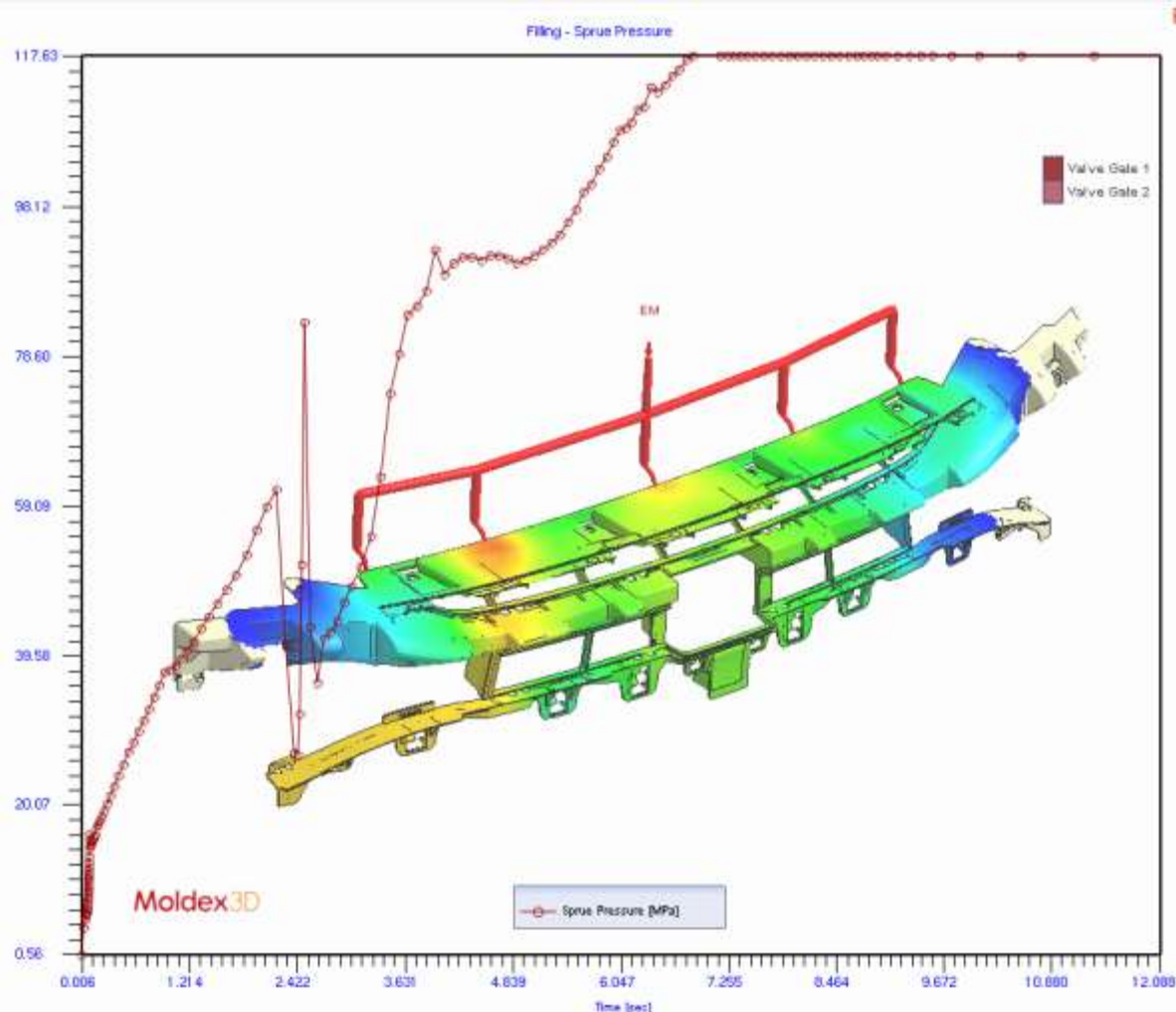


- Равномерное распределение материала по 1-3 литникам
- Порядка 19% материала на литники № 4 и 5
- Выводы
 - Необходимо увеличить уровень сетки
 - Рекомендуется исследовать увеличение давления впрыска и температуры расплава

Заполнение полости фронтом потока расплава во времени

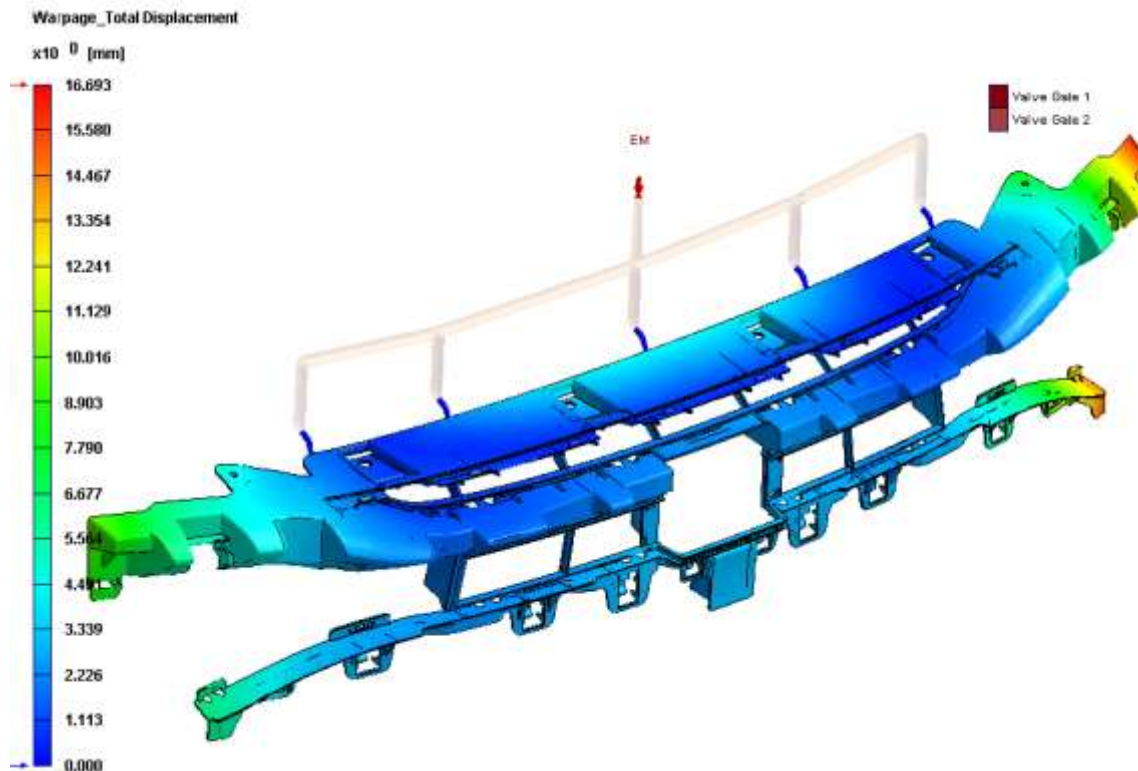


Зависимость давления впрыска от времени



- Максимальное давление впрыска 117.63 МПа
- При открытии клапанов литника в 2.4 с давление уменьшается, затем – снова увеличивается

Полное коробление

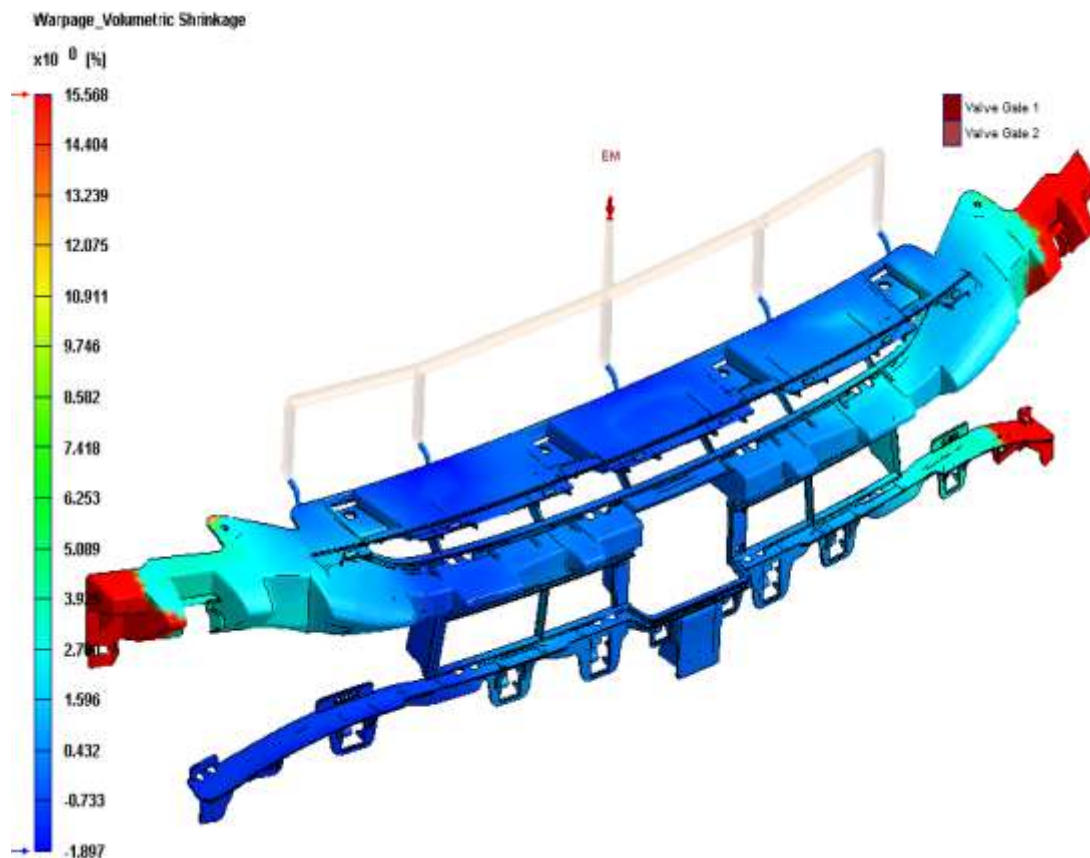


- Коробление: 16.693 мм
- Коробление заполненной части: 6.7 мм
- По оси x: 5.299 мм
- По оси y: 7.321 мм
- По оси z: 12.307 мм

Данные результаты являются неточными и не пригодны для анализа, вследствие неполного пролития формы.

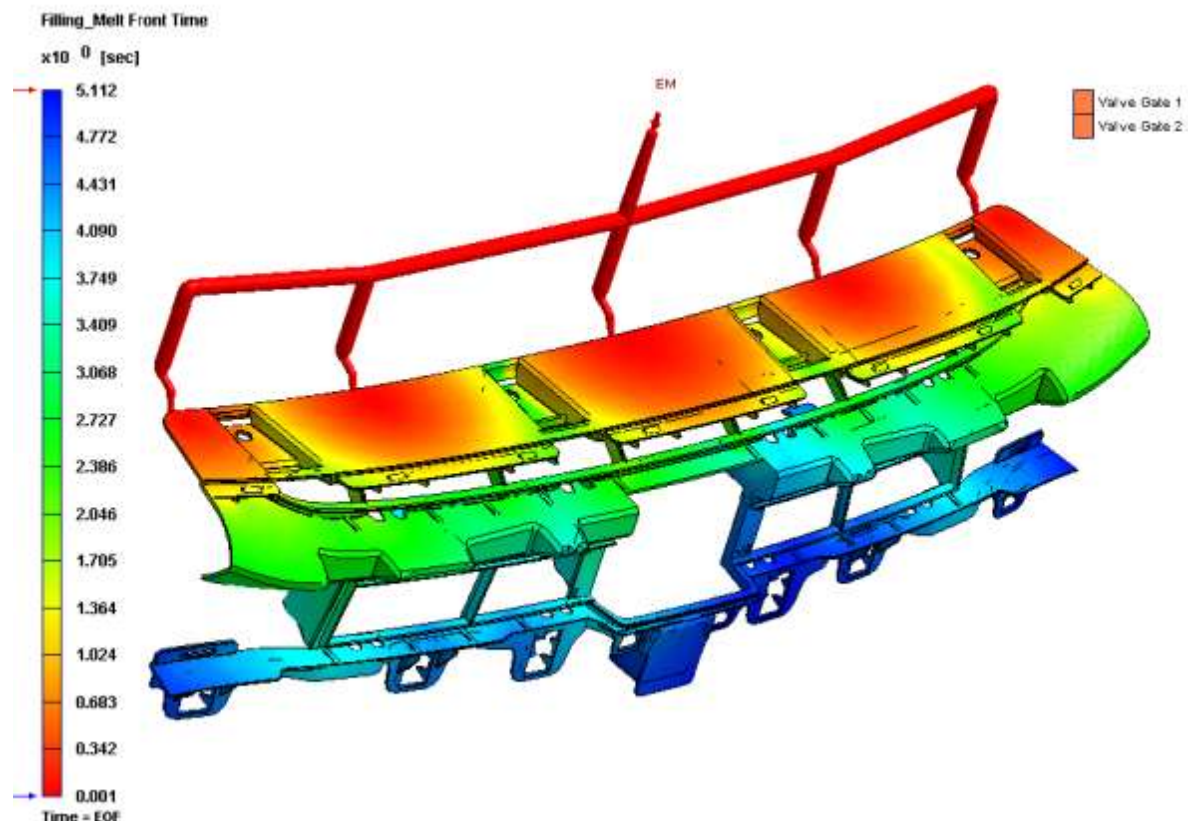
- Рекомендуется:
модифицировать модель
- Увеличить уровень сетки

Объемная усадка



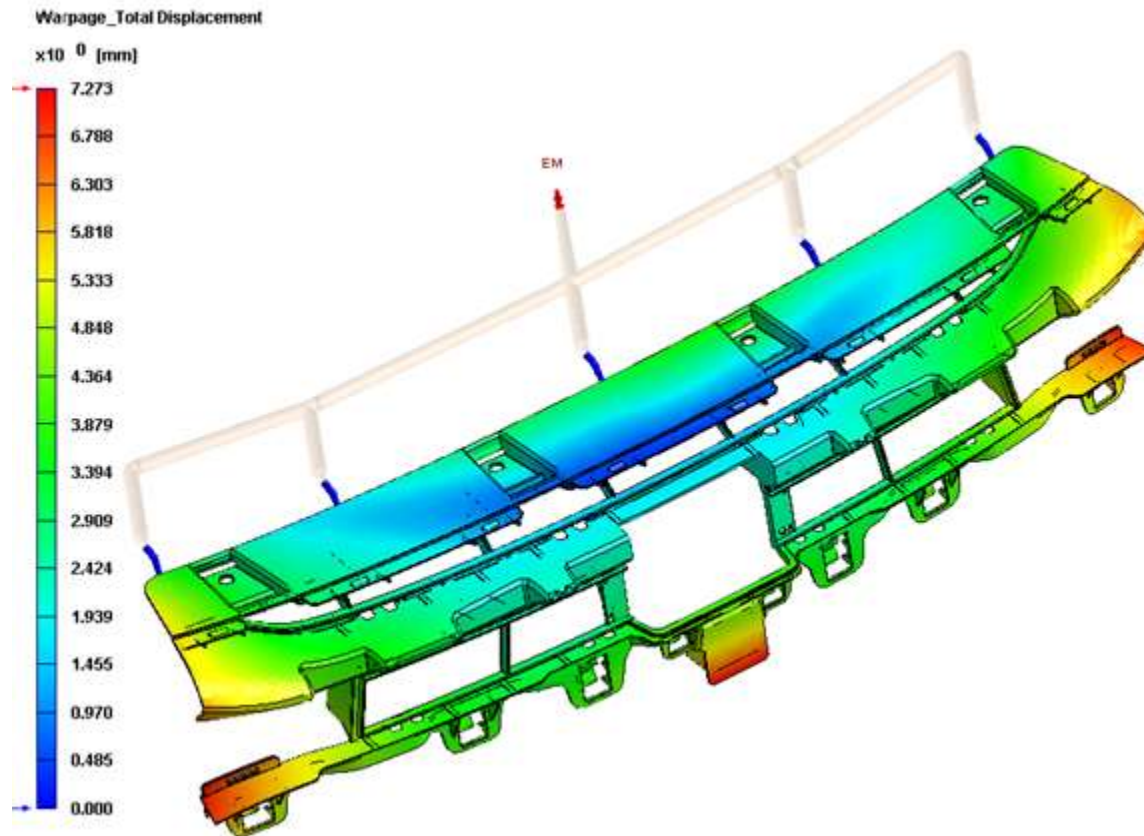
- Допустимая усадка: 0,1%
- Максимальная объемная усадка заполненной части детали: 3.9 мм (0.004%)

Заполнение формы для усеченной части бампера



- Уровень сетки: 3
- Количество элементов: 1 271 129
- Количество узлов: 857 861
- Преимущества:
 - Полное заполнение
 - Нет необходимости в клапанах литника

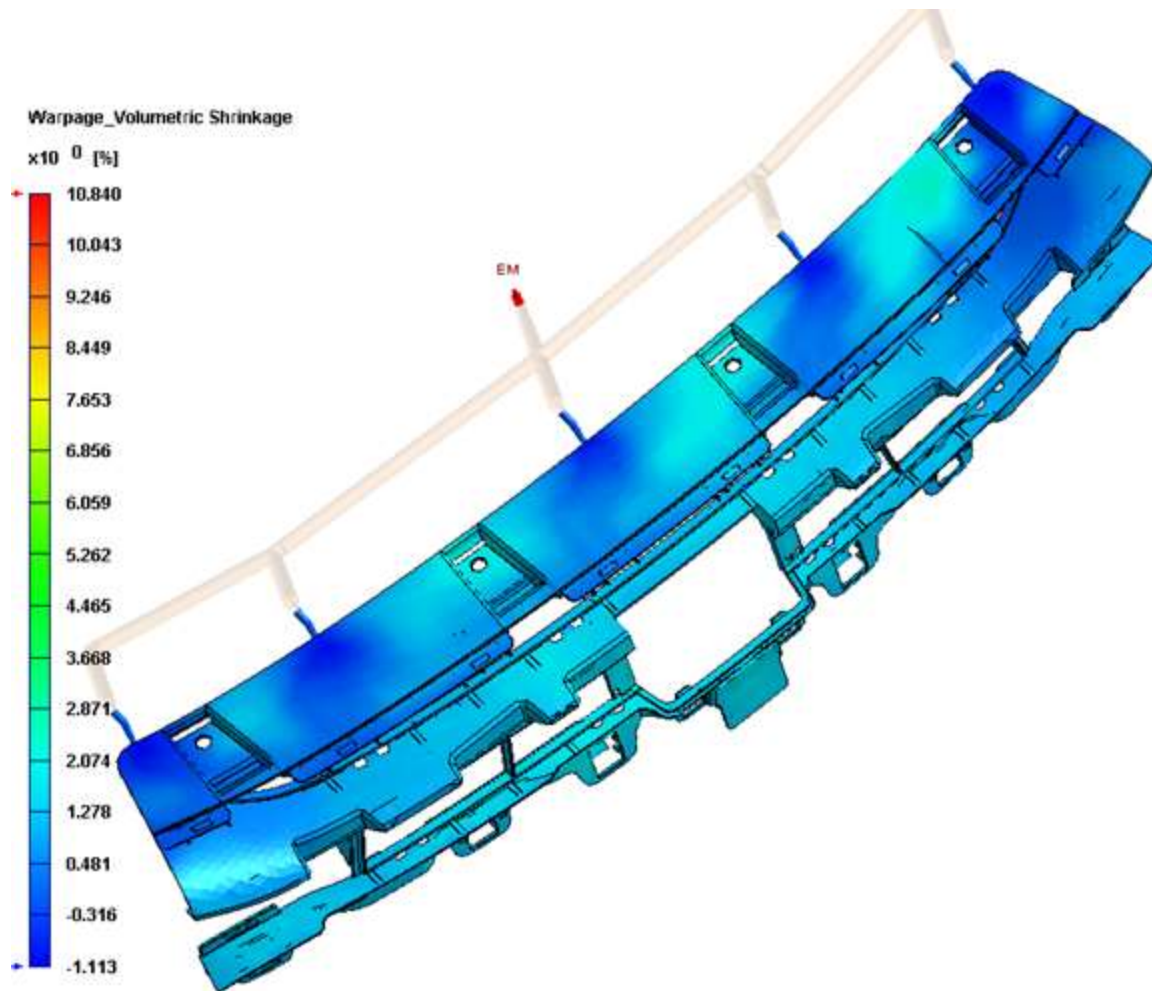
Распределение коробления по модели



- Полное коробление: 7.273 мм
- По оси x: 2.634 мм
- По оси y: 6.855 мм
- По оси z: 5.301 мм

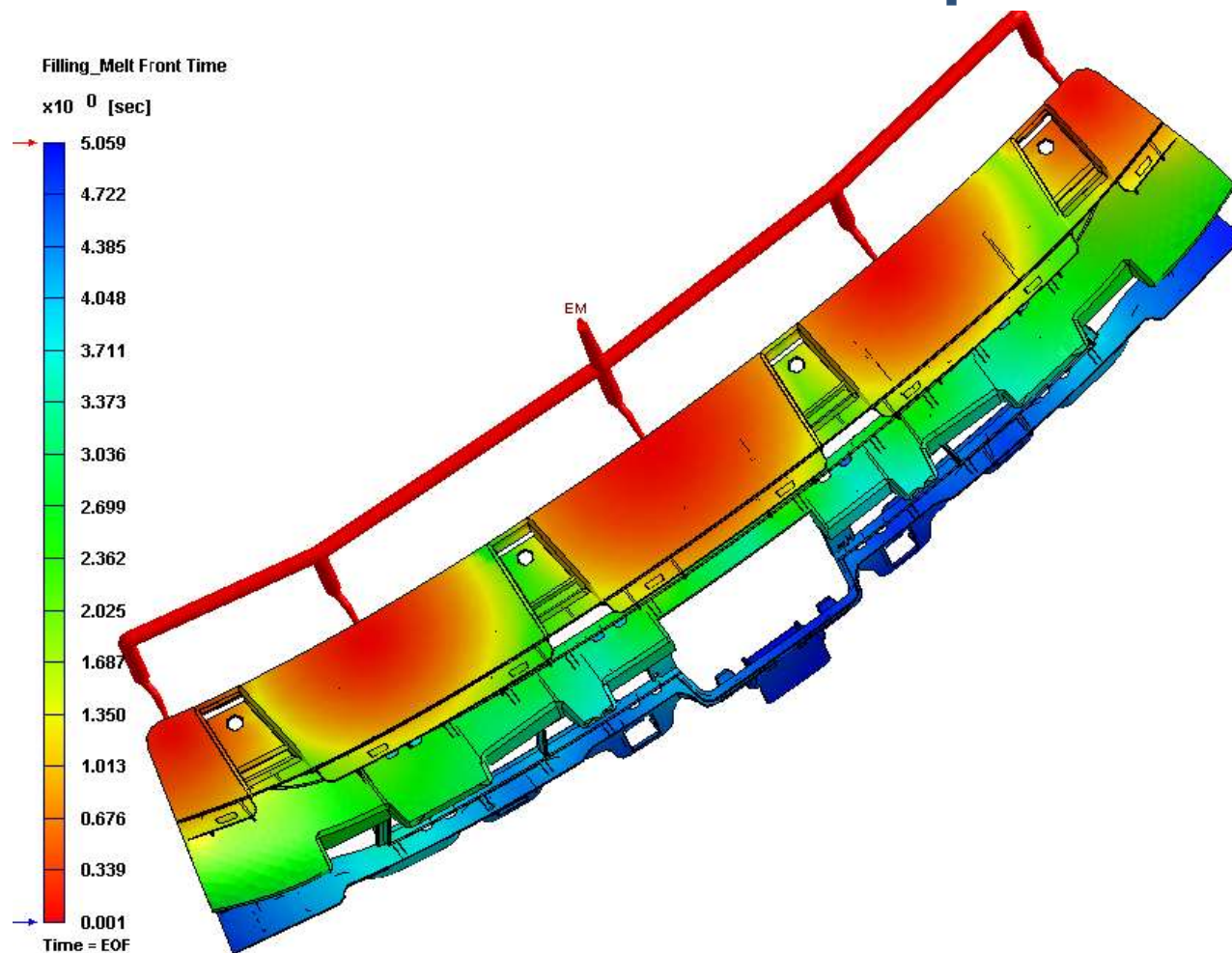
Полное коробление

Объемная усадка



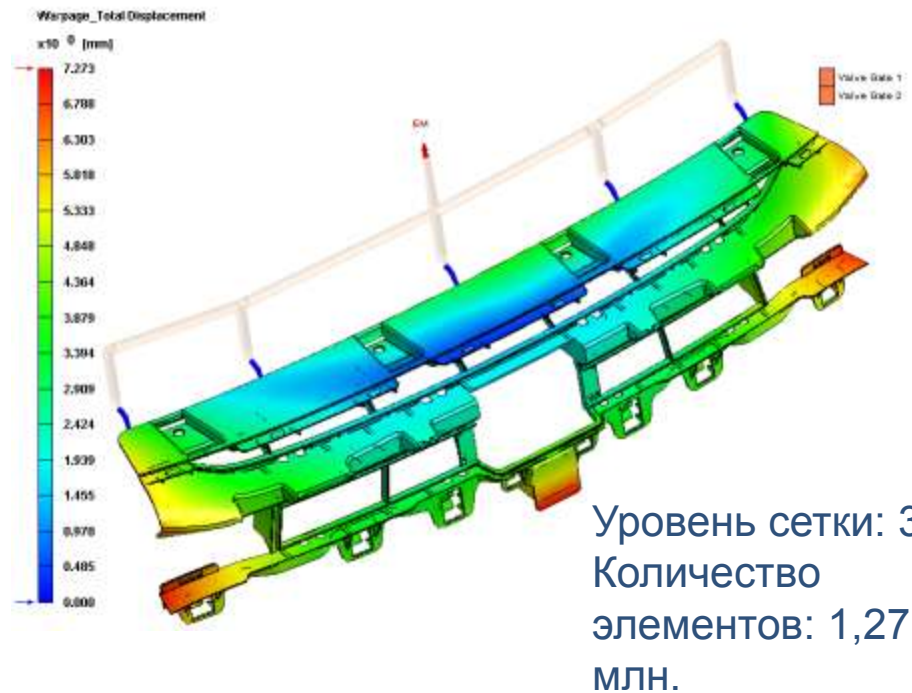
- Максимальная объемная усадка : 10.84 мм
- Объем полости: 789.74 мм³
- Максимальная относительная усадка не превышает 0.014 %

Заполнение формы для усеченной части бампера

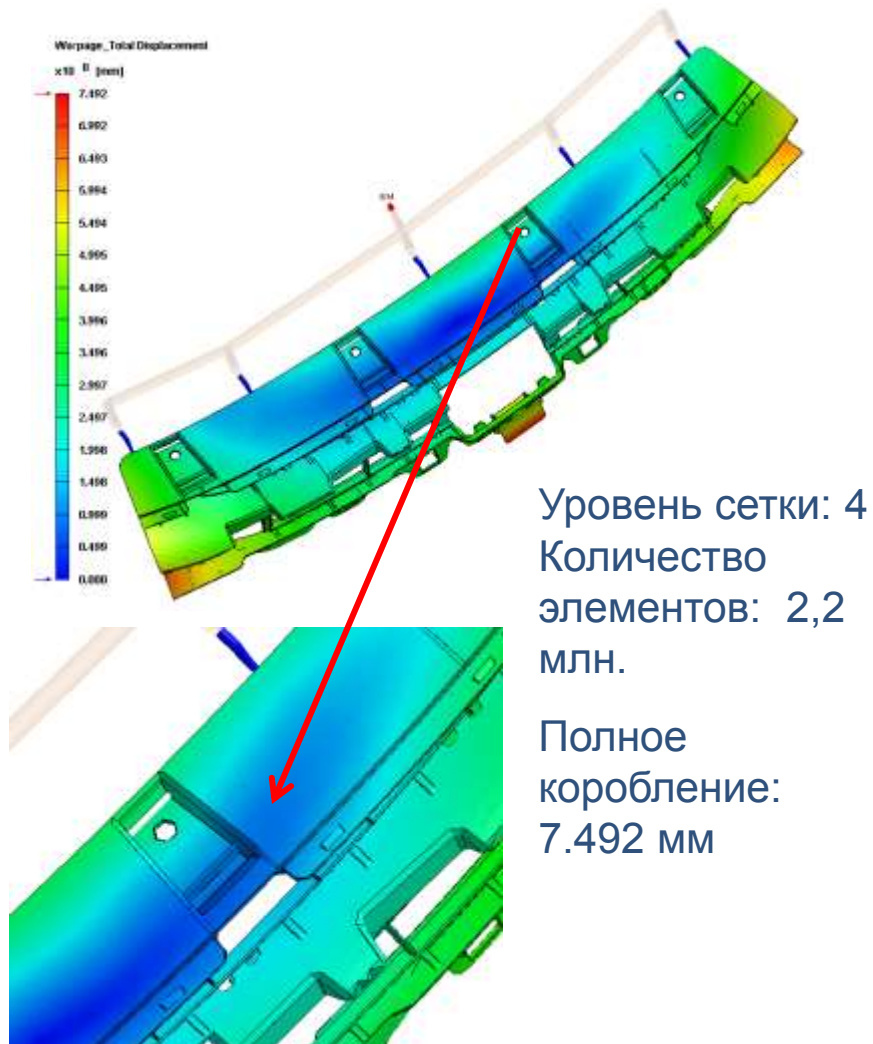


- Уровень сетки: 4
- Количество элементов: 2 201 287
- Количество узлов: 1 624 043
- Преимущества:
 - Увеличена точность сетки, а следовательно – и результаты коробления модели

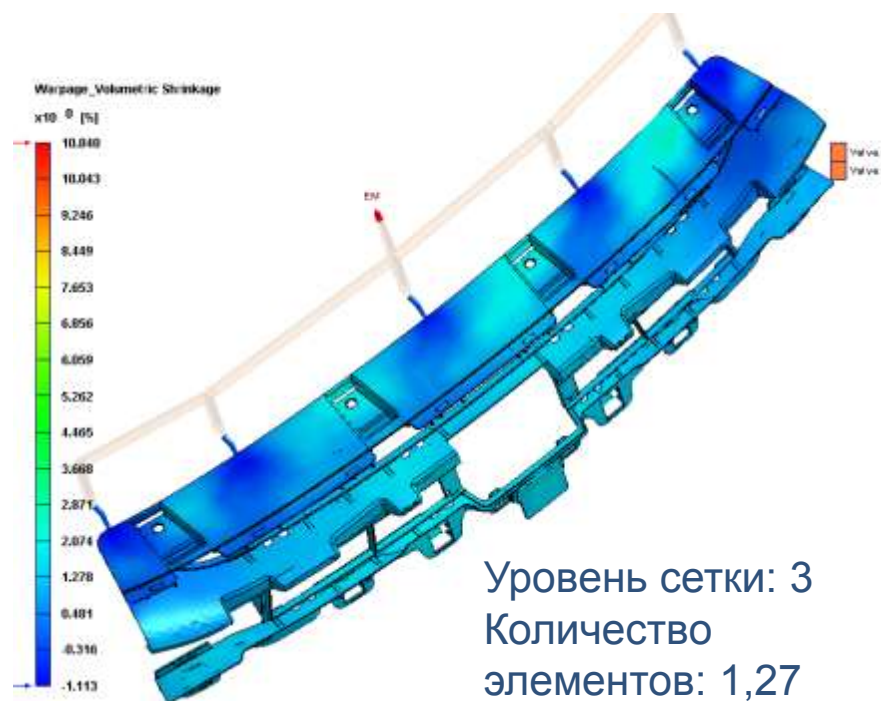
Сравнение коробления с уточнением уровня сетки



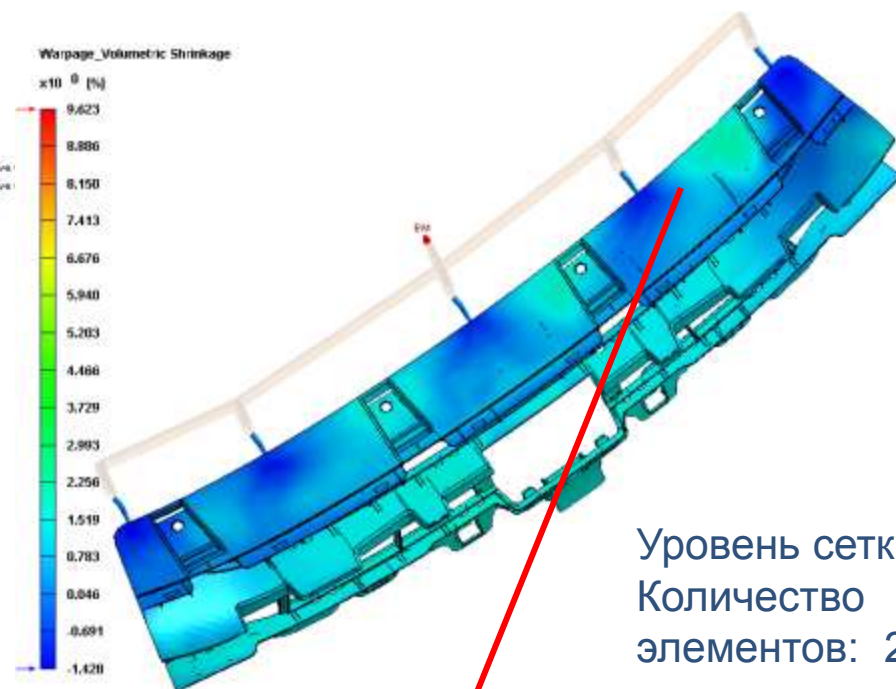
Полное коробление: 7.273 мм



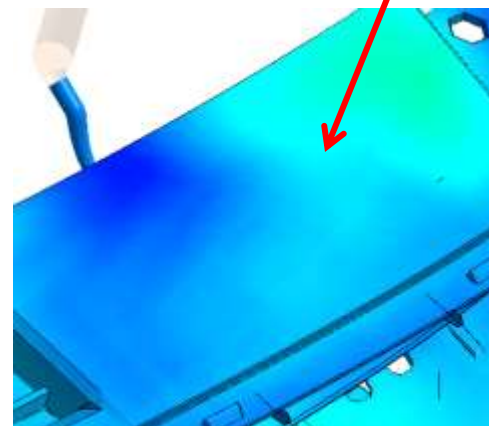
Сравнение объемной усадки с уточнением уровня сетки



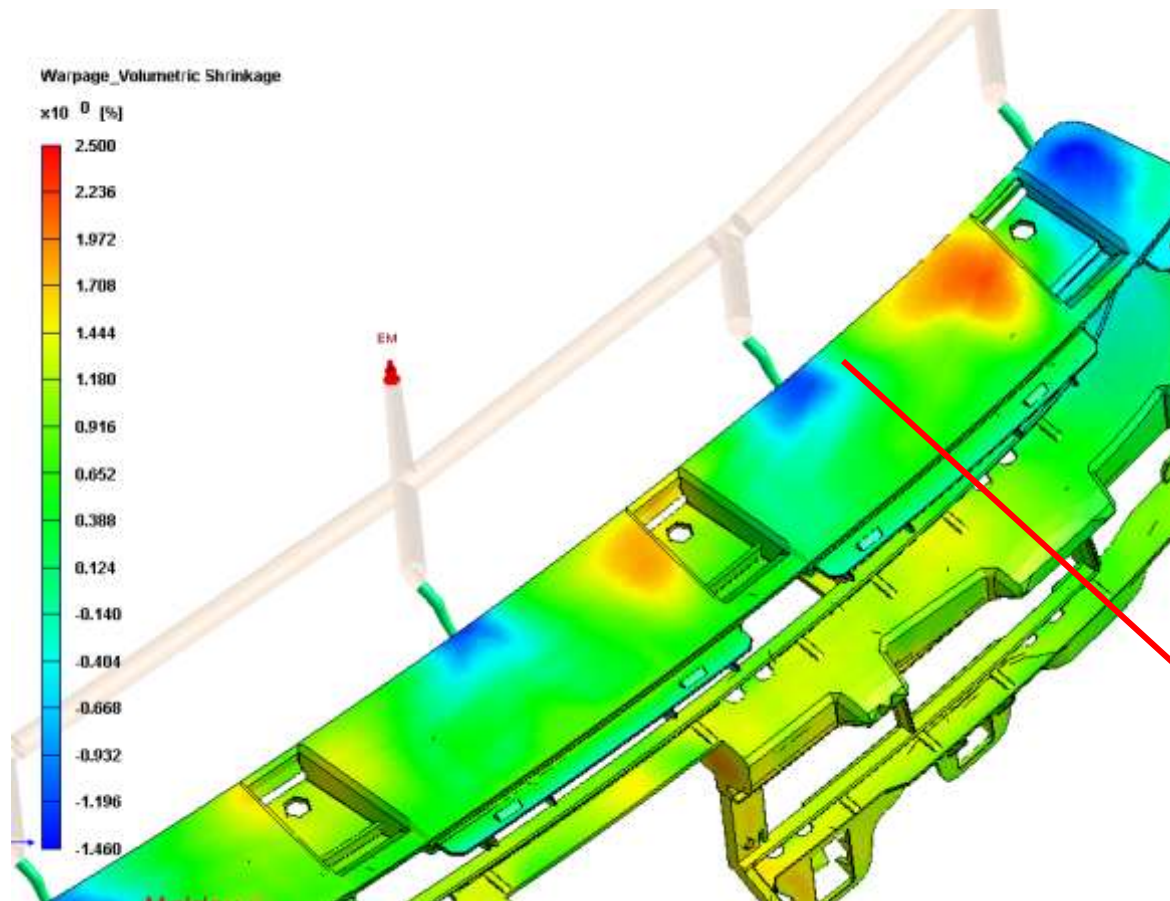
Уровень сетки: 3
Количество
элементов: 1,27
млн.
Относительная
усадка: 0.014%



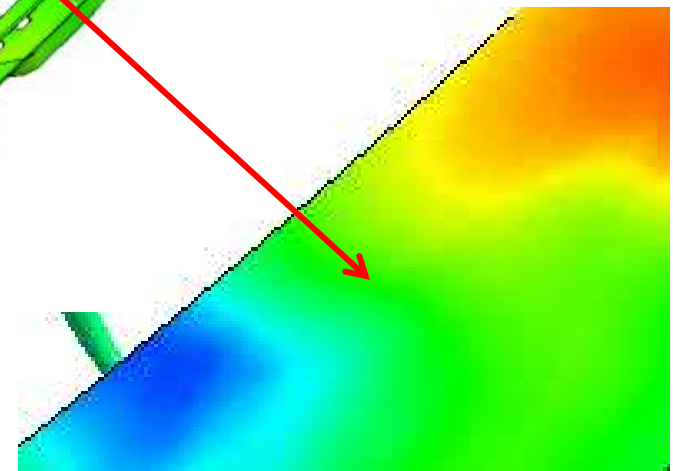
Уровень сетки: 4
Количество
элементов: 2,2
млн.
Относительная
усадка: 0.009%



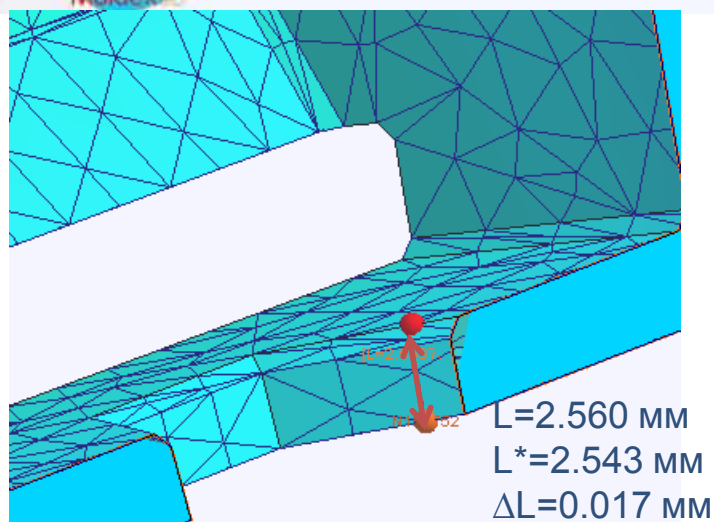
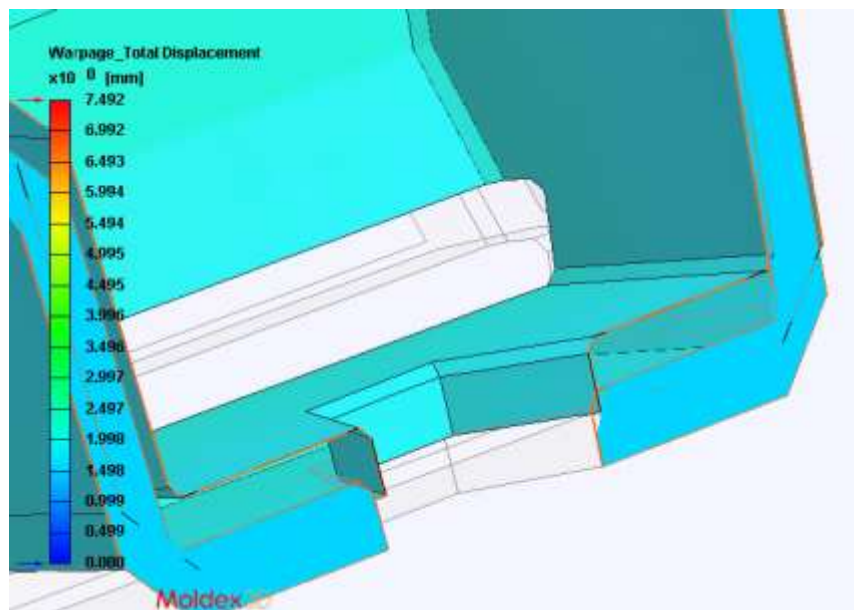
Детальное рассмотрение объемной усадки



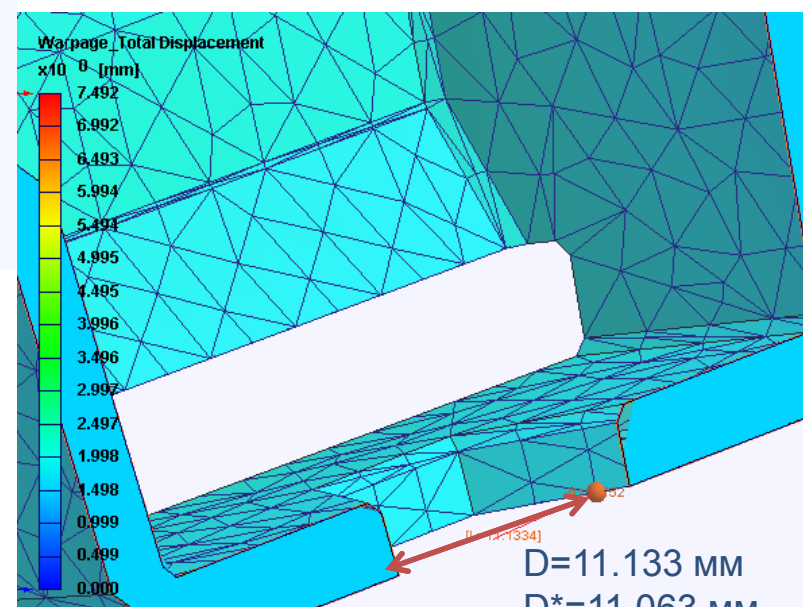
- Объемная усадка на фронтальной поверхности бампера меняется от -1.46 мм до 2.23 мм



Изменение геометрии модели в результате процесса изготовления в области отверстия



D, L – диаметр и глубина отверстия формирующей полости
 D*, L* – диаметр и глубина отверстия после в результате коробления

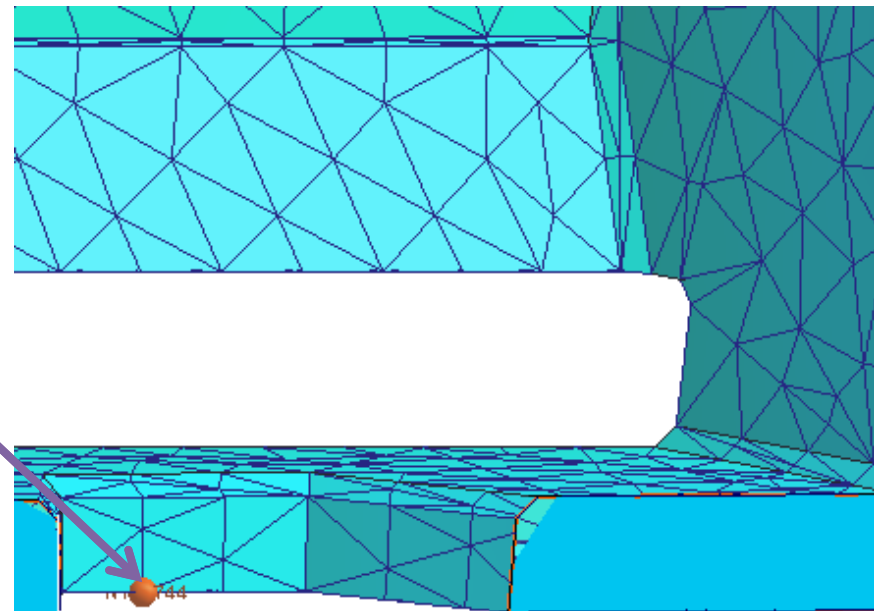
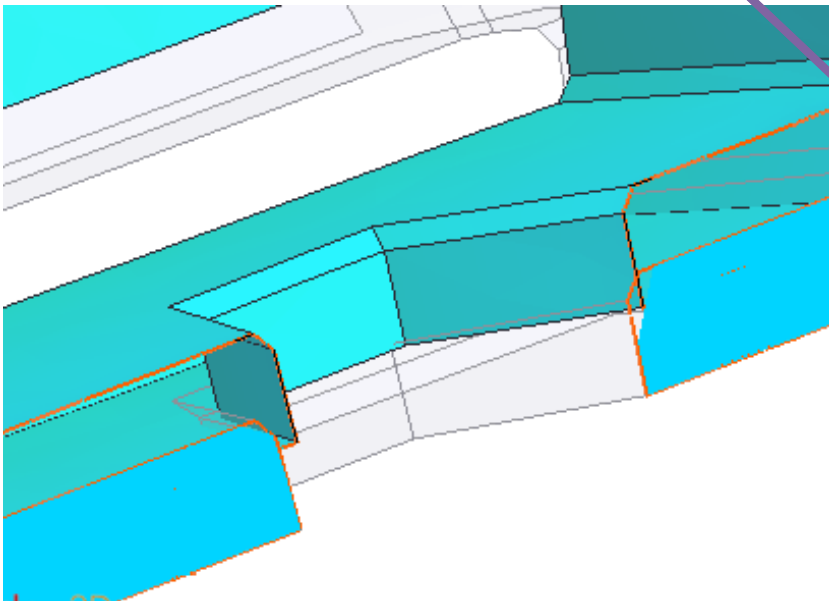


$D = 11.133 \text{ mm}$
 $D^* = 11.063 \text{ mm}$
 $\Delta D = 0.070 \text{ mm}$

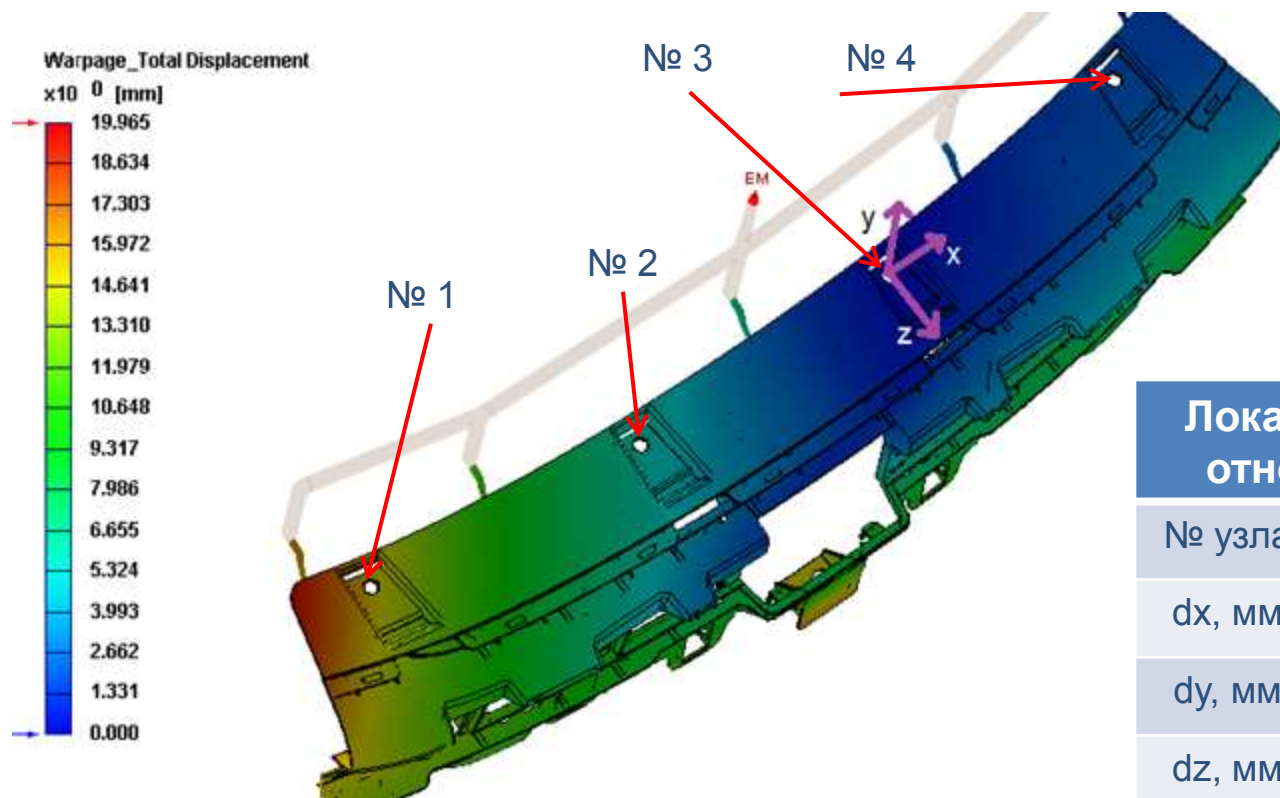
Изменение геометрии модели в результате процесса изготовления в области отверстия

Перемещения узла

- $dX = 0.019$ мм
- $dY = 0.475$ мм
- $dZ = -1.897$ мм
- $dS = 1.956$ мм



Введение локальной системы координат для оценки относительных перемещений отверстий

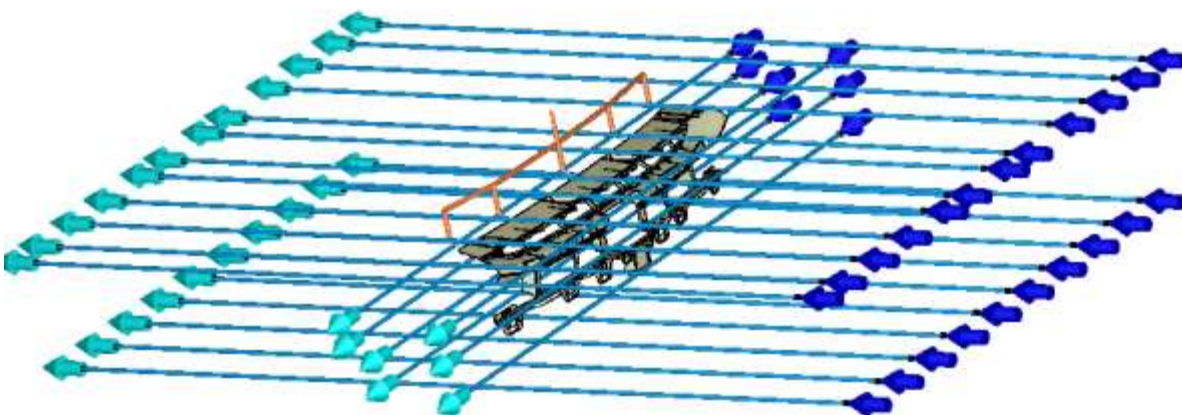


**Локальные перемещения
относительно узла № 3**

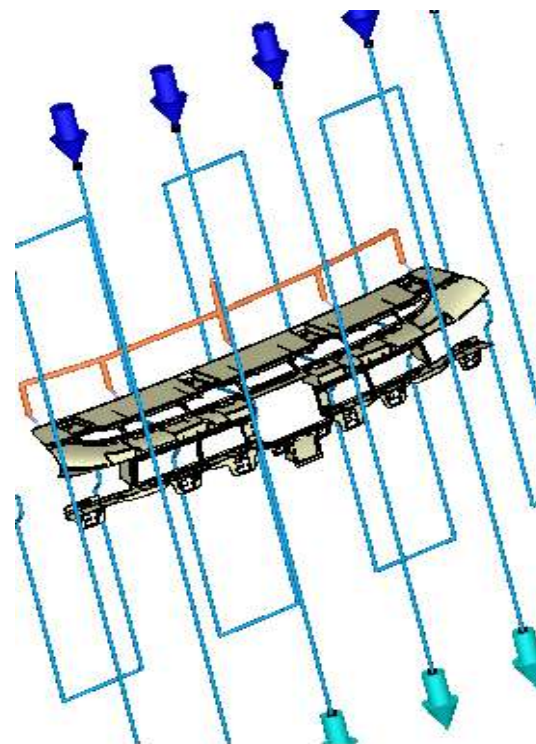
№ узла	№ 1	№ 2	№ 4
dx, мм	2.15	0.10	-0.96
dy, мм	-15.43	-5.47	1.30
dz, мм	0.99	-0.17	1.25
ds, мм	15.61	5.56	2.05

Поиск оптимальной системы литниковых каналов и системы охлаждения

- Начальная модель:
 - 5 горячеканальных литников
 - Простая система охлаждения



- Модифицированная модель:
 - Разветвленная система литниковых каналов
 - Сложная система охлаждения, повторяющая форму детали

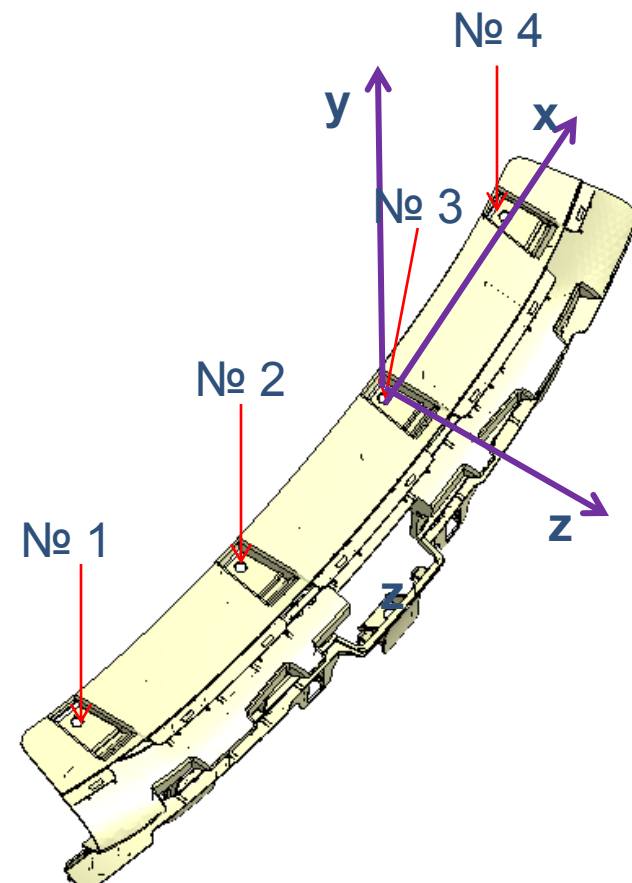


Сравнение полученных результатов на примере локальных перемещений для отверстий

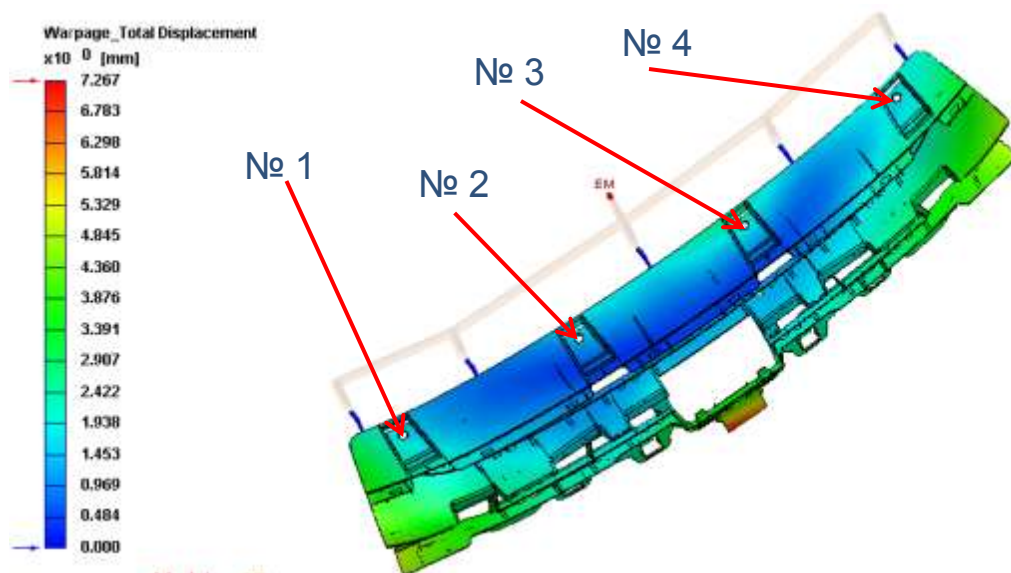
- Введение локальной системы координат с центром в узле № 3 для обеих моделей
- Получение значений относительных перемещений для узлов № 1, 2, 4

Локальные перемещения

	Нормальная модель			Модифицированная модель		
№ узла	№ 1	№ 2	№ 4	№ 1	№ 2	№ 4
dx, мм	2.15	0.10	-0.96	8.39	3.96	-1.80
dy, мм	-15.43	-5.47	1.30	14.10	4.96	2.00
dz, мм	0.99	-0.17	1.25	-2.46	-1.59	-0.14
ds, мм	15.61	5.56	2.05	16.59	6.54	2.97



Литье под давлением с армированием короткими волокнами



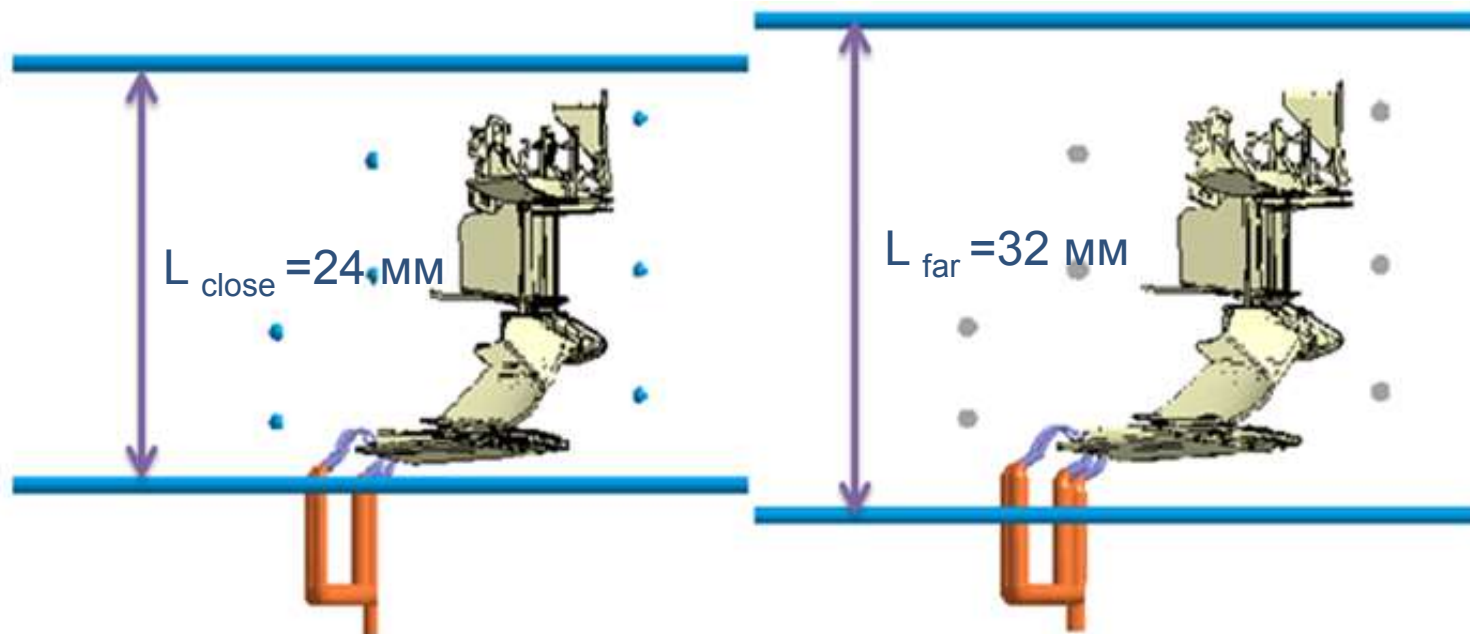
Локальные перемещения относительно узла № 3

№ узла	№ 1	№ 2	№ 4
dx, мм	1.32	0.79	-0.48
dy, мм	-12.96	-5.11	1.56
dz, мм	0.92	-0.15	1.32
ds, мм	13.06	5.18	2.10

Свойства материала

Е, модуль Юнга, Па	$2.4 \cdot 10^{10}$
ν , коэффициент Пуассона	0.38
G, коэффициент вязкости, Па	10^6
K, коэффициент теплопроводности, Вт/(м*К)	$3 \cdot 10^4$
C, коэффициент теплоемкости, Дж/К	$1.5 \cdot 10^7$
Концентрация волокон	30%

Оптимизация параметров литейного процесса – приближение системы охлаждения



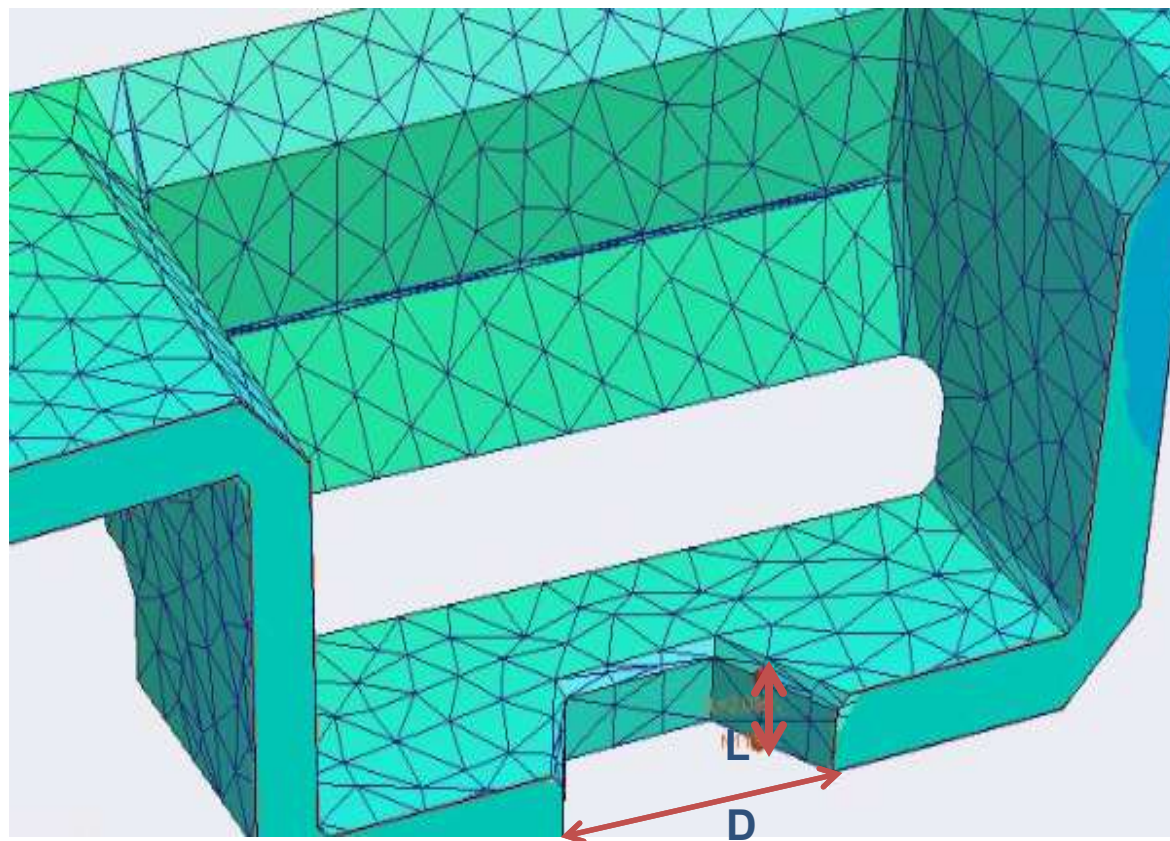
- Расположение системы охлаждения вблизи модели для двух случаев:
 - Гомогенный материал
 - Армированный волокнами материал
- Проверка объемной усадки детали
 - Для гомогенного материала:
0.009%
 - Для армированного материала:
0.014%

Сравнение результатов для неармированной и армированной моделей при приближении системы охлаждения

Локальные перемещения относительно узла № 3

	Неармированная модель			Армированная модель		
№ узла	№ 1	№ 2	№ 4	№ 1	№ 2	№ 4
dx, мм	1.15	0.39	-0.36	0.80	0.53	-0.34
dy, мм	-10.75	-3.39	0.60	-10.29	-4.00	0.42
dz, мм	0.69	0.16	1.66	1.84	0.31	1.00
ds, мм	10.83	3.41	1.80	10.48	4.04	1.14

Изменение геометрии модели в результате процесса изготовления в области отверстия для модифицированной системы охлаждения



L – глубина отверстия
 $L = 2.560$ мм
 $L^* = 2.552$ мм
 $\Delta L = 0.008$ мм

D – диаметр отверстия
 $D = 11.133$ мм
 $D^* = 11.109$ мм
 $\Delta D = 0.024$ мм

Заключение

- Локализована область коробления путем уменьшения модели, что позволило избежать неполного впрыска при моделировании технологического процесса
- Проведен анализ оптимального расположения системы литниковых каналов и системы охлаждения для уменьшения как общего, так локального коробления
- Предложено армирование короткими волокнами в комбинации с оптимальной системой охлаждения
- Проведен сравнительный анализ локальных перемещений отверстий
- Выбраны оптимальные параметры технологического процесса литья под давлением для переднего бампера автомобиля BMW X5 при условии минимального коробления



Спасибо за внимание!