

PLM УРАЛ 

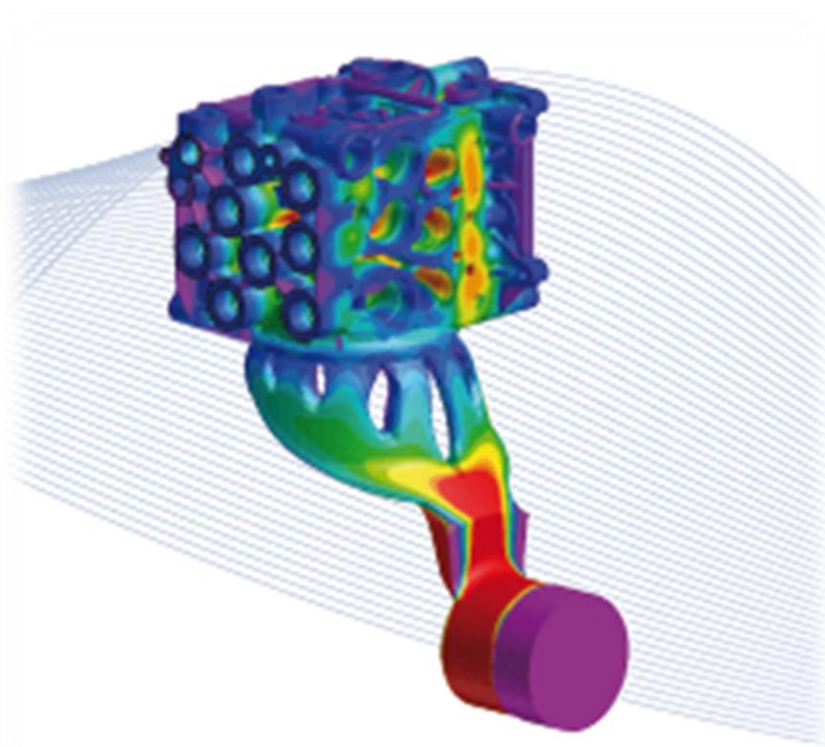
ДЕЛКАМ УРАЛ 

группа компаний

БАЗОВЫЙ УЧЕБНЫЙ КУРС ПО РАБОТЕ В ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТАХ

PROCAST

VISUAL-CAST



СОДЕРЖАНИЕ

СОЗДАНИЕ СЕТКИ	5
1. Создание сетки в MeshCAST	5
1.1. Графический интерфейс	5
1.2. Построение сетки в Meshcast	19
1.2.1. Запуск нового проекта	19
1.2.2. Проверка геометрии и построение поверхностной сетки	21
1.2.3. Корректировка геометрии	24
1.2.4. Корректировка поверхностной сетки и построение объемной сетки	29
1.3. Сборка сеточных моделей ОТЛИВКИ И ФОРМЫ	31
1.3.1. Запуск нового проекта	31
1.3.2. Создание сетки и проверка ее качества	31
1.3.3. Сборка формы и отливки	35
2. Создание сетки в VisualMesh	38
2.1. Запуск нового проекта	39
2.2. Создание формы	41
2.3. Проведение сборки для определения контактной поверхности между телами	43
2.4. Исправление геометрии	45
2.5. Создание поверхностной сетки	51
2.6. Проверка качества поверхностной сетки	54
2.7. Создание объемной сетки	55
ПРИМЕРЫ ПОДГОТОВКИ РАСЧЕТОВ (ProCAST)	57
1. Литье со свободной заливкой (Гравитационное литье)	57
1.1 Расчет с реальной формой	57
1.1.1. Запуск нового проекта	57
1.1.2. Определение плоскости симметрии	59
1.1.3. Задание материалов	61
1.1.4. Выбор коэффициентов теплопередачи на границах раздела между материалами	64
1.1.5. Создание граничных условий на поверхностях модели	67

1.1.6. Определение вектора силы тяжести	71
1.1.7. Настройка решателей ProCAST и запуск на расчет	72
1.1.8. Результаты расчета.....	76
1.2. Расчет заливки с виртуальной формой	79
1.2.1. Определение плоскости симметрии	80
1.2.2. Создание виртуальной формы	81
1.2.3. Задание материалов.....	84
1.2.4. Установка коэффициентов теплопередачи для контактов двух тел...	85
1.2.5. Определение вектора силы тяжести	92
1.2.6. Установка начальной температуры материалов	93
1.2.7. Настройка решателей ProCAST и запуск расчета.....	94
1.2.8. Результаты моделирования	97
2. Литье под давлением	100
2.1. Расчет заполнения и кристаллизации при литье под давлением	100
2.1.1. Задание материалов.....	101
2.1.2. Установка коэффициентов теплопередачи для контактов двух тел.	102
2.1.3. Установка граничных условий процесса	103
2.1.4. Определение вектора силы тяжести	107
2.1.5. Определение начальных температур материалов.....	108
2.1.6. Настройка решателей ProCAST и запуск расчета.....	109
2.1.7. Результаты расчета.....	112
2.2. Расчет с учетом движения поршня.....	115
2.2.1. Задание материалов.....	116
2.2.2. Установка коэффициентов теплопередачи для контактов двух тел.	117
2.2.3. Установка граничных условий процесса	118
2.2.4. Определение вектора силы тяжести	121
2.2.5. Определение начальных температур материалов.....	122
2.2.6. Настройка решателей ProCAST и запуск расчета.....	123
2.2.7. Результаты расчета.....	127
2.3. Расчет напряженно-деформированного состояния	130

2.3.1. Определение материалов.....	131
2.3.2. Установка граничных условий процесса	133
2.3.3. Определение температурных условий материалов	135
2.3.4. Настройка решателей ProCAST и запуск расчета.....	138
2.3.5. Результаты моделирования	141
3. Литье по выплавляемым моделям. расчет заполнения и кристаллизации.	144
3.1. Создание оболочки и объемной сетки	144
3.2. Создание виртуальной формы	149
3.3. Задание материалов	151
3.4. Установка коэффициентов теплопередачи для контактов двух тел.....	152
3.5. Установка граничных условий процесса.....	153
3.6. Определение вектора силы тяжести.....	156
3.7. Определение начальных температур материалов	157
3.8. Настройка решателей ProCAST и запуск расчета	158
3.9. Результаты моделирования	161
ПОСТ-ПРОЦЕССОР VISUALCAST	164

СОЗДАНИЕ СЕТКИ

1. СОЗДАНИЕ СЕТКИ В MESHCAST

MeshCAST представляет собой инструмент для генерации сетки. С помощью данного модуля можно создавать 3D конечно-элементную сетку с тетраэдрическими элементами. Работа в MeshCAST состоит из следующих этапов:

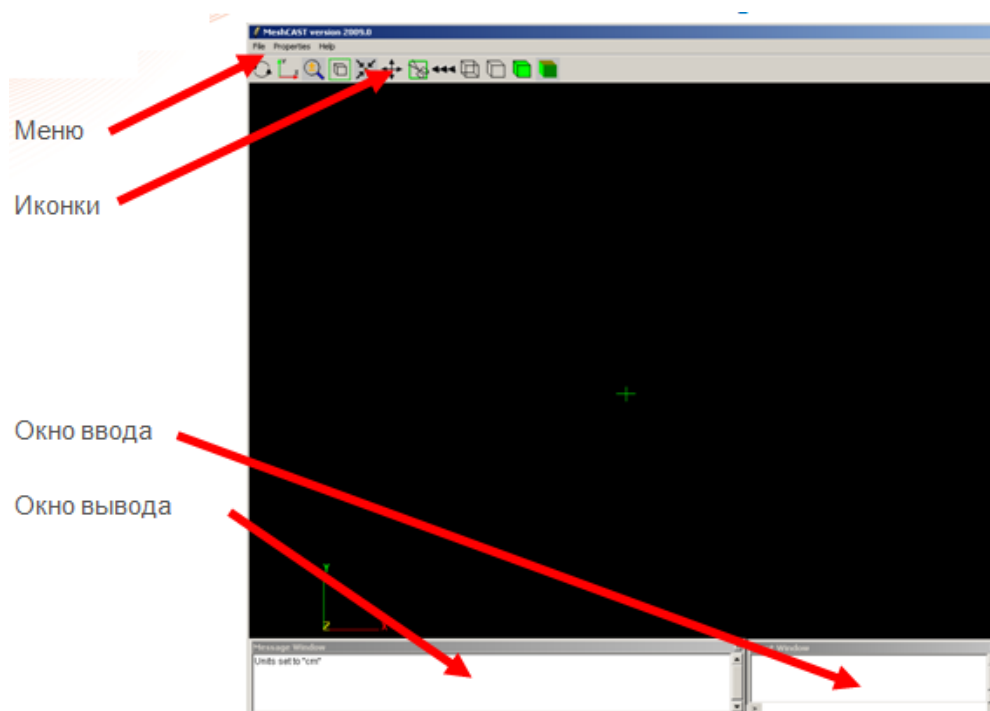
- импорт 3D геометрии;
- построение поверхностной сетки (треугольные элементы);
- построение объемной сетки (тетраэдры).

В ProCAST можно открыть следующие форматы и расширения:

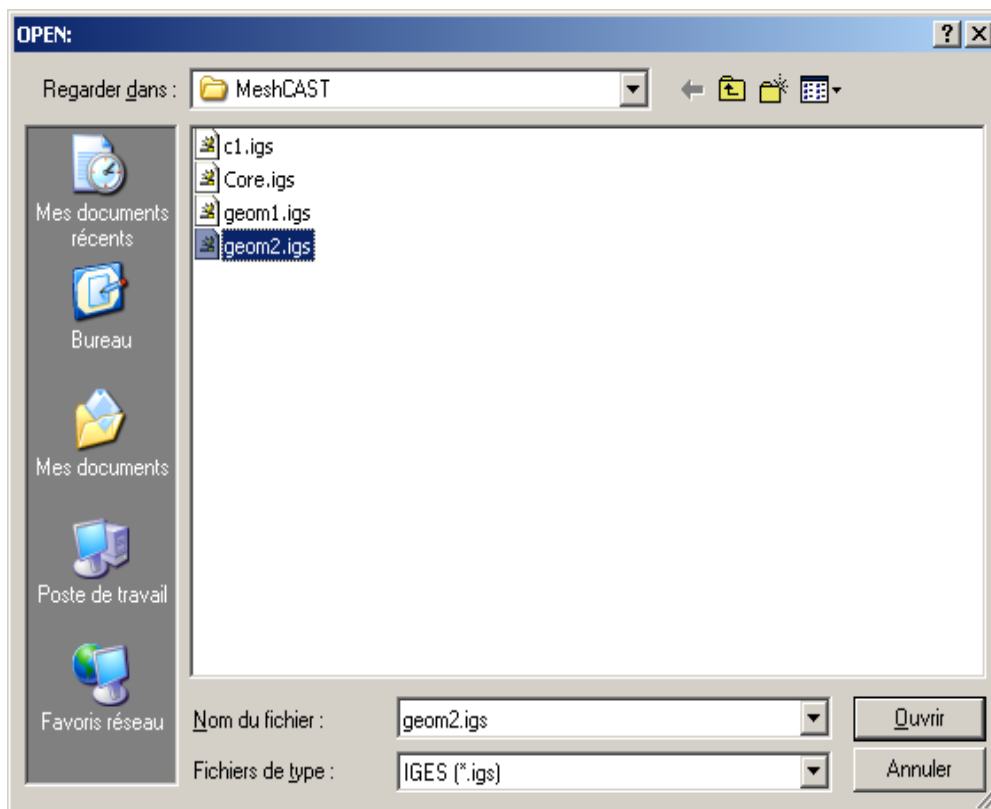
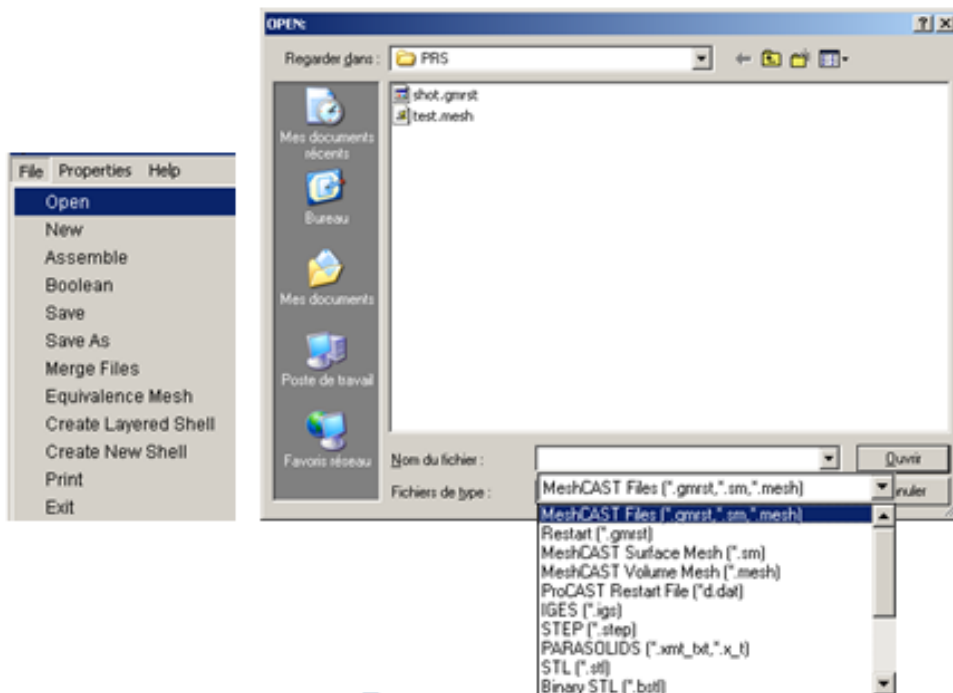
- Файлы IGES с расширением *.igs.
- Файлы STEP с расширением *.step.
- Файлы Parasolid с расширением *.x_t или *.xmt_txt.
- Файлы STL с расширением *.stl(ascii) или *.bstl(binary).

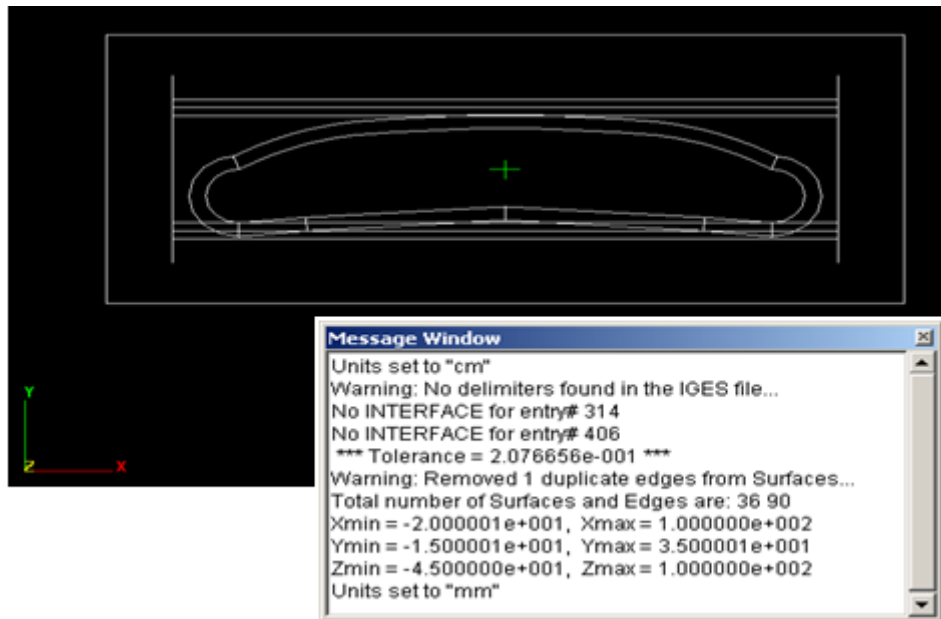
1.1. ГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС

После запуска программы откроется рабочее окно:



Для импорта геометрии используйте пункт меню **File/Open**. Выберите нужный тип файла.





В результате загружается модель, для которой определяются следующие параметры.

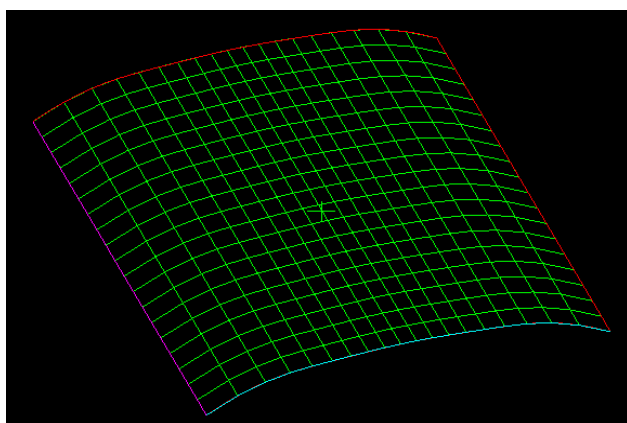
Tolerance (Точность) = 2.076656e-001.

Meshcast определяет точность по умолчанию.

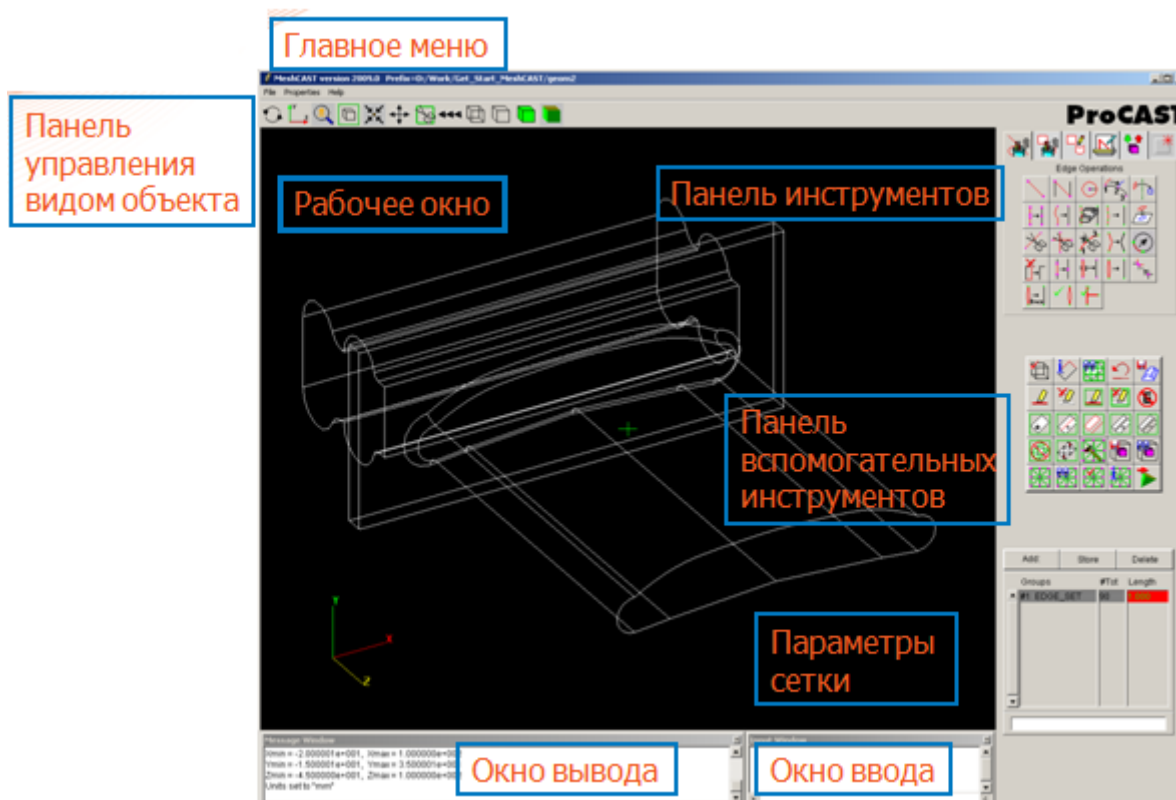
Total number of Surfaces and Edges are: 36 – 90. Meshcast определяет общее число поверхностей и ребер.

Описание поверхности в Meshcast.

- Нумерация.
- Замкнутый контур, сформированный ребрами (>2 ребер).
- Параметризация.

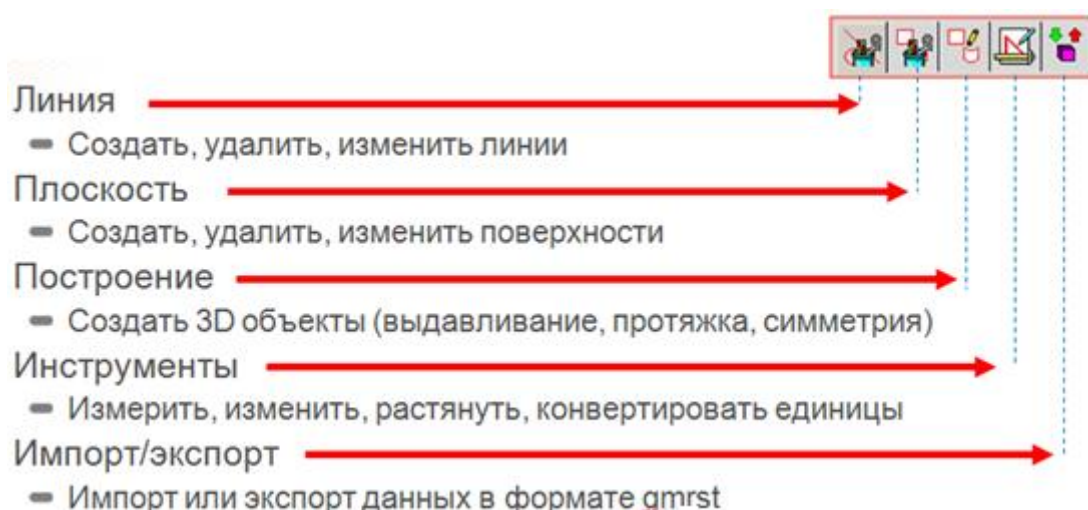


Рабочее пространство MeshCAST включает в себя главное меню, панель управления видов, панель инструментов, панель вспомогательных инструментов и таблицу параметров сетки.



Для удобства все рабочие инструменты вынесены в отдельное поле справа от рабочего окна.

Описание панели инструментов








Описание вспомогательных инструментов




Инструменты корректировки

Иконка	Наименование	Описание
	CHECK GEOMETRY (Проверить геометрию)	Проверяет геометрию и подсвечивает проблемные места, которое необходимо в дальнейшем исправить.
	IDENTIFY (Идентифицировать)	Определяет поверхности, которым принадлежит ребро, их номера и длины ребер.
	DISPLAY (Отобразить)	Позволяет отобразить геометрию поверхности.
	UNDO (Отменить)	Позволяет отменить одно действие.
	STORE GEOM (Сохранить геометрию)	Сохраняет геометрию в файле *gmrst.

Инструменты выделения

Иконка	Наименование
	SELECT (Выделить)
	DESELECT (Снять выделение)
	SELECT ALL (Выделить все)
	DESELECT ALL (Снять выделение всех объектов)
	SELECT REMAINING (Выделить остальное)






Инструменты активации

Иконка	Наименование	Описание
	ACTIVE (Активировать)	Используется для активации отдельной поверхности. (Введите номер поверхности в окно ввода и нажмите на иконку).
	APPEND ADJACENT (Активировать смежные объекты)	Активация поверхностей, которым принадлежит выделенное ребро.
	ACTIVE HIGHLIGHT (Активировать выделенные объекты)	Активация выделенного элемента.
	APPEND (Добавить)	Добавление к активированной поверхности объектов. Введите в окно ввода номер интересующей поверхности и нажмите на иконку.
	DE-ACTIVE (Деактивировать)	Убирает объект из активного набора.



Инструменты автоматической активации

Иконка	Наименование
	ACTIVE UNMESHED (Активировать поверхности без сетки)
	ACTIVE BAD MESH (Активировать поверхности с плохой сеткой)
	AUTOFIX (Автоисправление проблемных поверхностей)
	STORE ENCLOSURE (Сохранить кожух (оболочечные элементы стенки закрытой печи или автоклава))
	SHOW ENCLOSURE (Показать кожух)

Инструменты управления сеткой

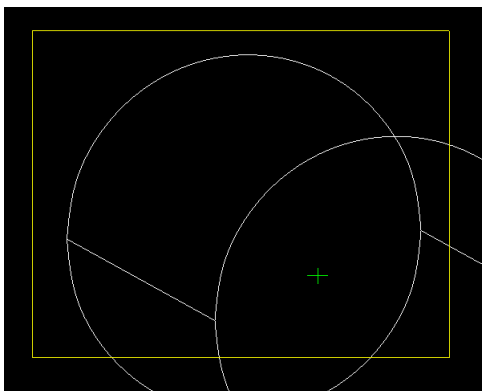
Иконка	Наименование
	GENERATE SURFACE MESH (Создать поверхностную сетку)
	SHOW MESH (Отобразить сетку)
	CHECK MESH (Проверить сетку)
	MESH PROPERTIES (Свойства сетки)
	GO VOLUME MESHING (Построить объемную сетку)

Использование опции выделения

- Щелкните **Select** .
- Когда иконка **Select** становится серой, это означает, что опция выделения активна .

Способы выбора объектов:

- Нажмите левую кнопку мыши и проведите курсором по линиям.
- Нажмите правую кнопку мыши и используйте выделение рамкой.

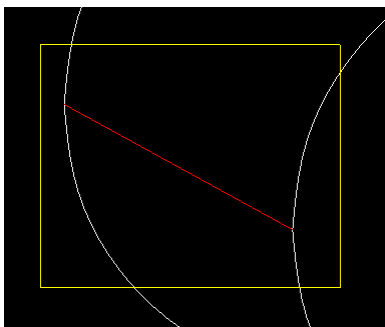


Использование опции отмены выделения:


- Щелкните **DeSelect**.
- Серый цвет иконки **Deselect** означает, что опция снятия выделения активна.

Варианты отмены выделения объектов:

- Нажмите левую кнопку мыши и проведите курсором по линиям.
- Нажмите правую кнопку мыши и используйте снятие выделения рамкой.

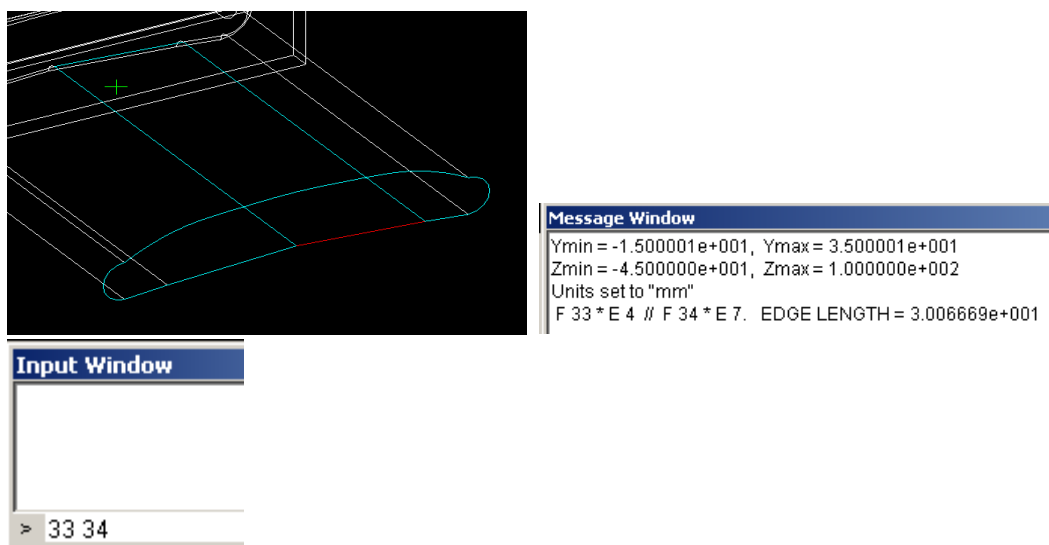


Идентификация поверхностей

- Выделите линию при помощи инструмента .
- Щелкните **Identify**.

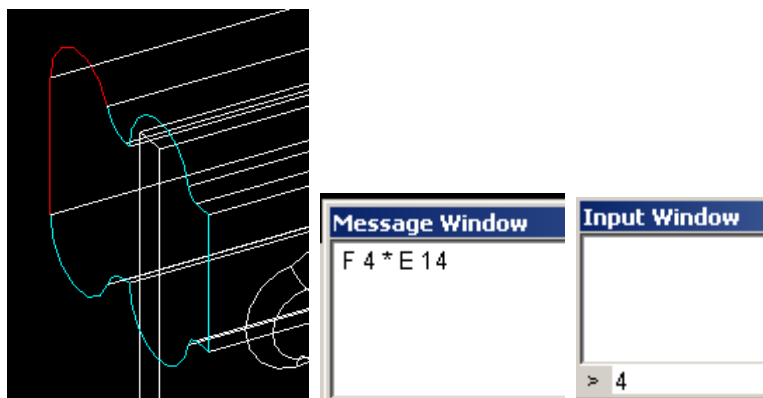
Если выбрана одна линия:

- Будет показан контур поверхностей, которым принадлежит линия.
- Появится значение длины линии.
- Появятся номера поверхностей, которым принадлежит линия.



Если выбраны 2 линии:

- Будет показан контур поверхности.
- Появится номер поверхности, которой принадлежат линии.



Проверка привязки линий к поверхностям

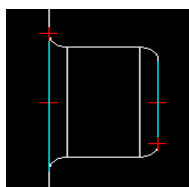


Нажмите кнопку (Проверка геометрии) на панели вспомогательных инструментов.

- Нормальной считается привязка, если линия принадлежит 2 поверхностям. В этом случае в окне вывода появится фраза **Surface edges seem OK.**

```
Message Window
Xmin = -2.000001e+001, Xmax = 1.000000e+002
Ymin = -1.500001e+001, Ymax = 3.500001e+001
Zmin = -4.500000e+001, Zmax = 1.000000e+002
Units set to "mm"
Surface edges seem OK...
```

- Если линия принадлежит менее чем 2 поверхностям, может быть разрыв. В этом случае линии выделяются голубым цветом.

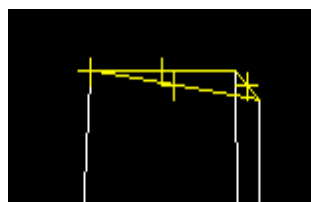


В окне вывода появится сообщение **Edges are connected to < 2 surfaces.**

```
Message Window
Xmin = -4.000000e+000, Xmax = 4.000000e+000
Ymin = -1.500000e+000, Ymax = 1.000000e+001
Zmin = 0.000000e+000, Zmax = 5.000000e+000
Units set to "cm"
6 edges are connected to < 2 surfaces...
```

В случае, если линия принадлежит более чем 2 поверхностям, она выделяется желтым цветом.

```
Message Window
Zmin = 0.000000e+000, Zmax = 5.000000e+000
Units set to "cm"
Surface edges seem OK...
11 edges are connected to > 2 surfaces...
```



Исправление дефектов сетки (разрывов)

Случай 1: зазор между поверхностями S1 и S2



– Выделите 2 линии E1 и E2, нажав кнопку



– Нажмите **Merge Edges**



– Подтвердите.

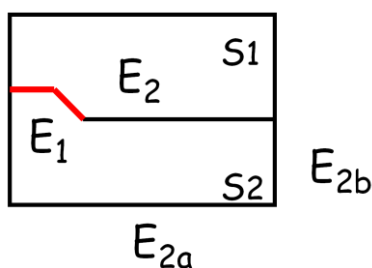


CONFIRM MERGE?

Да

Нет

Случай 2: контур поверхности не замкнут



– Выделите ребро E1.

– Нажмите на кнопку **Identify**: ребро принадлежит поверхности S1.

– Определите номер поверхности S2.

- Выберите ребра E2a и E2b.



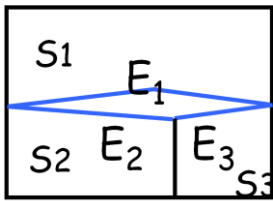
- Нажмите кнопку



– Выделите ребро E1.



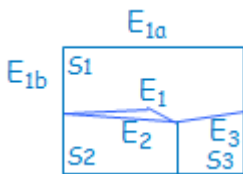
– Нажмите на иконку для того, чтобы добавить ребро E1 к поверхности S2.





Случай 3: разрыв между поверхностями S1, S2, S3

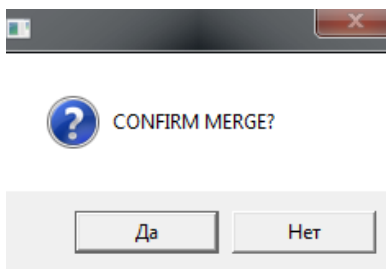


- Выделите линию E1.
- Нажмите **Identify**: убедитесь, что ребро принадлежит поверхности S1.
- Удалите ребро E1, нажатием кнопки .
- Выделите ребра: E2 и E3.
- Добавьте ребра к поверхности S1, с помощью кнопки .

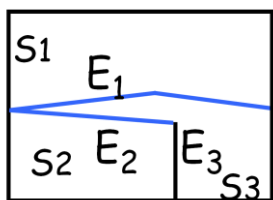
Случай 4: разрыв между поверхностями S1, S2, S3




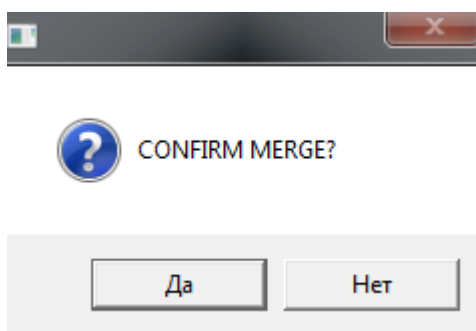
- Выберите ребро E3.
- Нажмите **Identify**: ребро принадлежит поверхности S3.
- Определите номер поверхности S1.
 - Выберите E1a и E1b .
 - Нажмите **Identify** .
 - Выделите E3.
 - Добавьте ребро к поверхности S1 .
- Выделите ребра: E1 и E2.
- Объедините ребра, нажав кнопку .
- Подтвердите. Нажмите Да.



Случай 5: разрыв между поверхностями S1, S2, S3

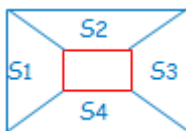


- Выделите ребра: E1 и E3.
- Нажмите **Split two** (разделить 2 линии на 4) .
- Подтвердите. Нажмите Да.




После выполнения этой операции данный пример становится таким же, как 4 случай. Используйте метод исправления, описанный в 4 случае.

Исправление плоских отверстий

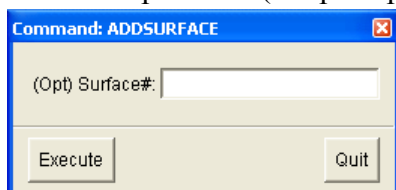


Способ 1 (планарный)

- Выделите замкнутый контур.
- Нажмите **Add Surface** (Создать дополнительную поверхность) .

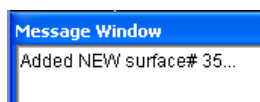
Способ 2 (непланарный)

- Нажмите **Add Surface**. Появится окно, куда необходимо ввести номер поверхности (например, 35).

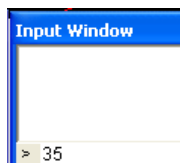


- Нажмите **Execute**.

В окне ввода появится сообщение о создании дополнительной поверхности.




- Выделите нужный контур.
- Введите номер новой поверхности (35) в окно ввода.

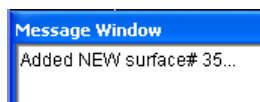



- Нажмите **Add Edges** (добавьте выбранные ребра к новой поверхности).

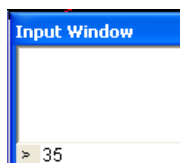
Исправление сложных круговых отверстий



- Создайте дуговую поверхность.

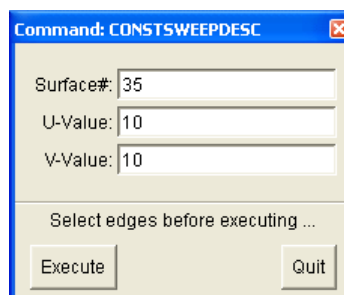
- Нажмите **Add Surface** . Введите номер новой поверхности.
- Щелкните **Execute**. Будет создана дополнительная поверхность, что отразится в окне вывода



- Выделите нужный контур, нажав кнопку .
- Введите номер новой поверхности (35) в окно ввода.



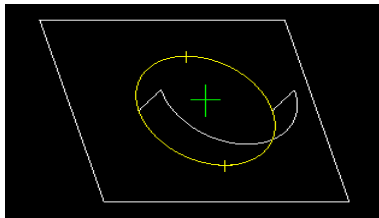
- Нажмите **Add Edges** (команда добавит указанные ребра к новой поверхности) .
- Нажмите **Construct Surface** (Создание поверхности) 
 - Выделите дуговые линии.
 - Введите № поверхности.
 - Нажмите **Execute**.



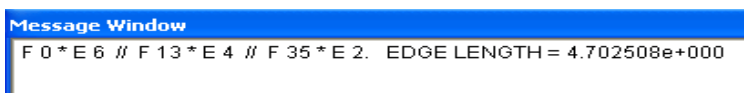
Проверка привязок линий, принадлежащим более 2 поверхностям

Первый случай

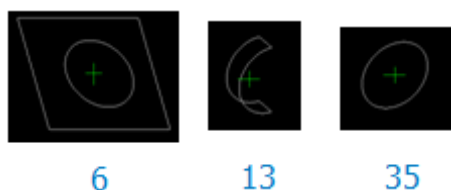
- Выберите одну линию желтого цвета.



- Нажмите **Identify**.



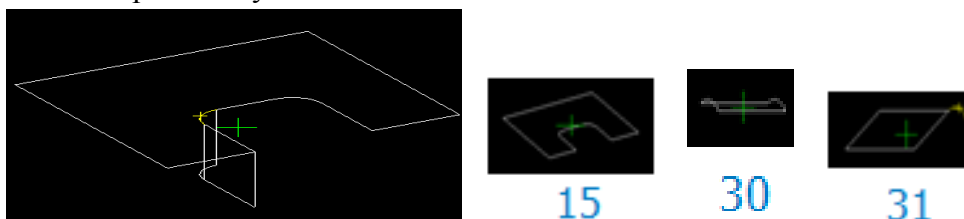
- Проверьте все поверхности




- В данном случае дублированных поверхностей нет.
- Возможно, идет работа со сборкой.

Второй случай


- Выберите одну линию желтого цвета.



- Нажмите **Identify**.
- Проверьте каждую поверхность. В данном случае поверхности 31 принадлежит лишняя линия.

- Выделите эту линию, нажав на кнопку .

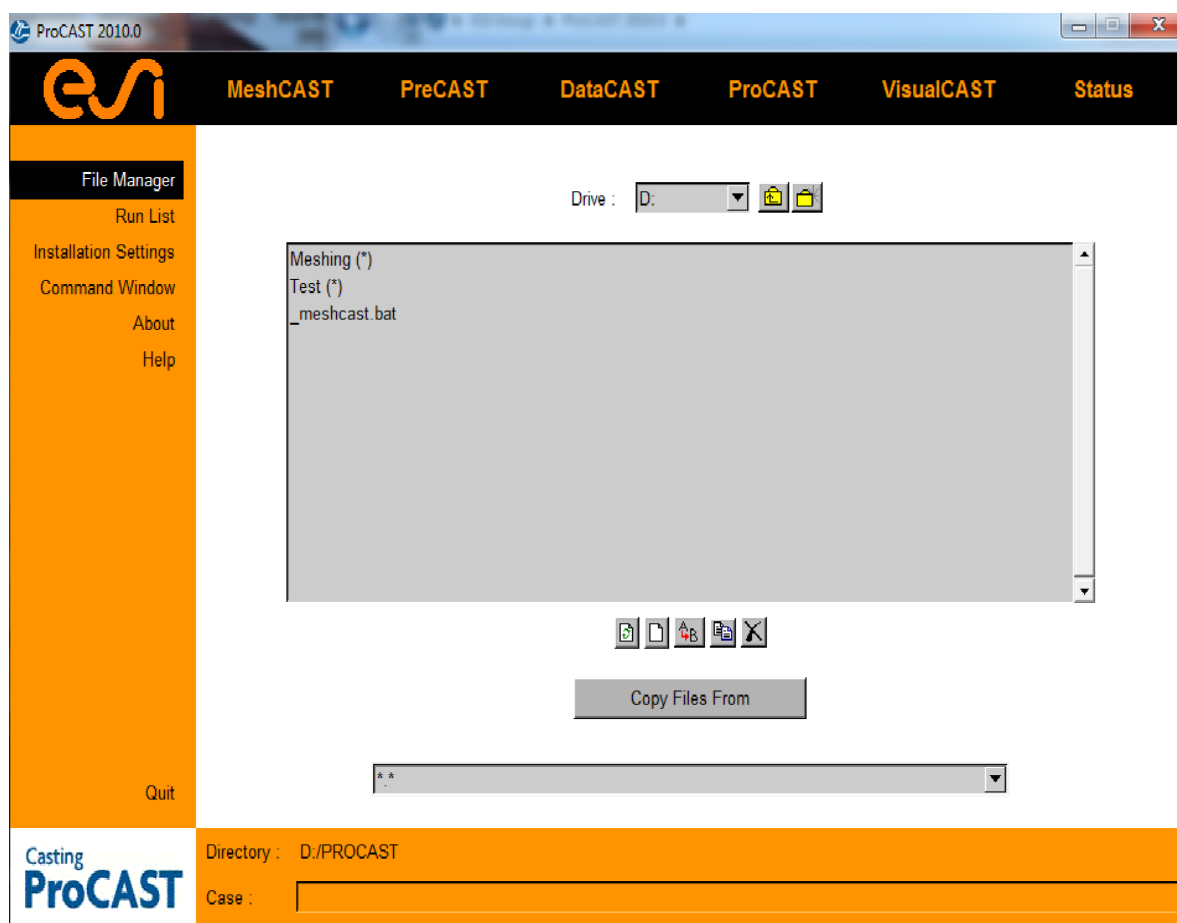
- Введите в окно ввода номер поверхности 31.

- Удалите ненужную линию из поверхности 31, нажав .

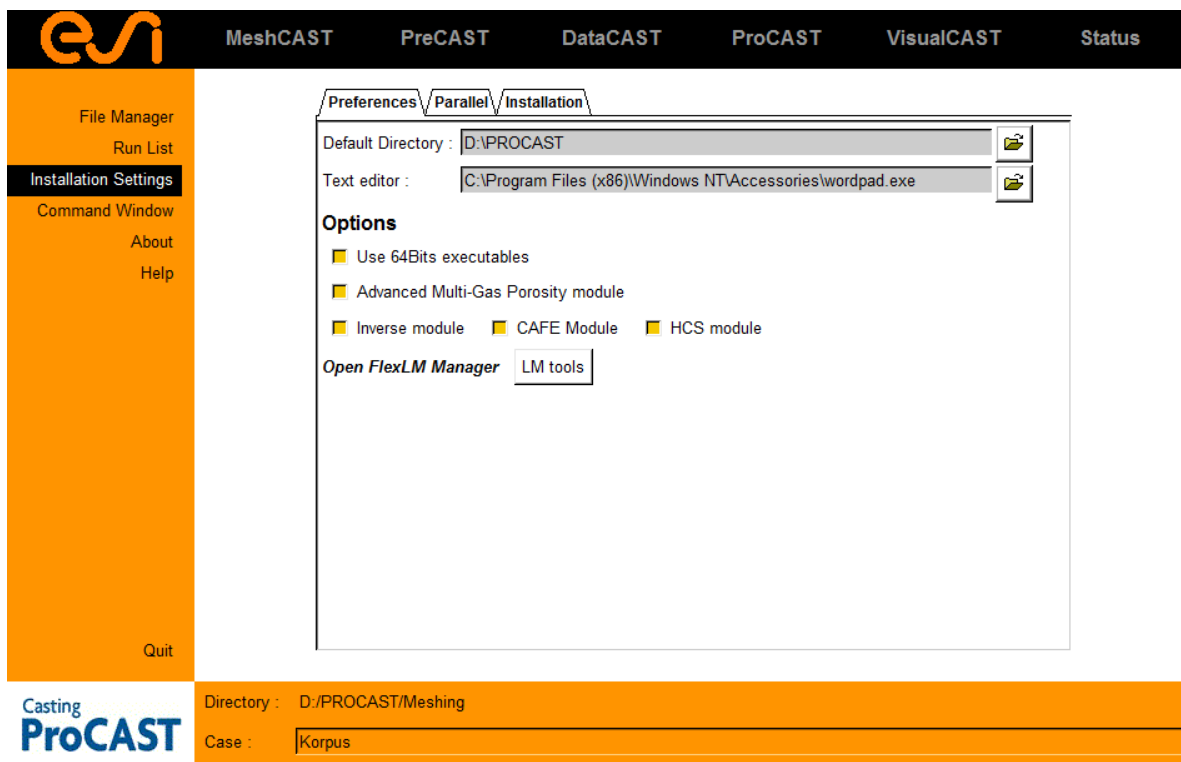
1.2. ПОСТРОЕНИЕ СЕТКИ В MESHCAST

1.2.1. Запуск нового проекта

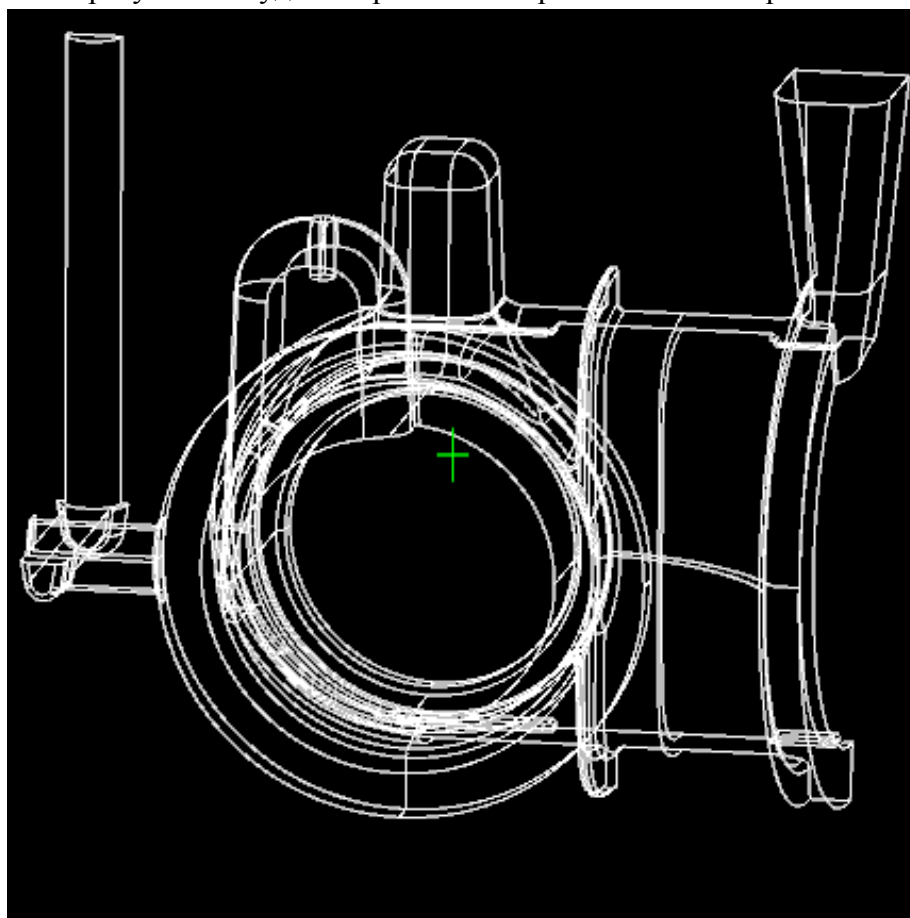
- Запустите программу через ярлык "ESI Group" на рабочем столе компьютера и выберите "ProCAST 2010.0"/"ProCAST Manager". При этом запустится окно файлового менеджера ProCAST.



- Создайте на компьютере папку для хранения рабочих файлов нового проекта в вашей рабочей директории и скопируйте туда файл с геометрией Korpus.x_t из директории **ProCASTtrainings/MeshCast/Korpusmesh**. После запуска менеджера ProCAST откройте созданную папку в рабочем окне. Для того, чтобы рабочая директория автоматически открывалась при запуске менеджера ProCAST, укажите путь к этой папке в разделе **Installation Settings** (Настройки) во вкладке **Preferences** в поле **Default Directory**. Здесь также можно выбрать текстовый редактор для открытия файлов запуска p.dat (поле **Text Editor**), и активировать дополнительные расчетные модули.




- Теперь можно запустить генератор сеток MeshCAST. В меню **File/Open** выберите формат загружаемого файла Parasolid и щелкните на файл Korpus.x_t. В результате будет открыта геометрия отливки в каркасном виде.




Управление видом модели происходит следующим образом.

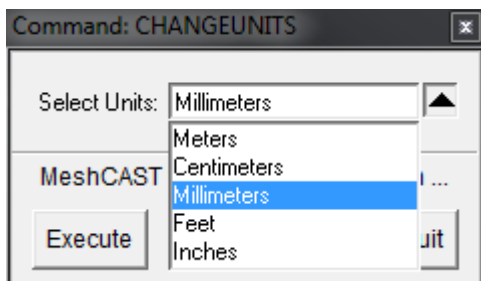
- Нажмите и удерживайте левую кнопку мыши. Это позволит вращать модель в любых направлениях.
- Нажмите и удерживайте среднюю кнопку мыши. Появится рамка, с помощью которой можно выделить область модели для увеличения. Щелчок правой кнопки мыши возвращает модель в исходный вид.
- Проверьте в окне вывода единицы измерения модели (появится сообщение **Units set to Inches**). Как правило, файлы Parasolid сохраняются в дюймах. Для удобства работы можно изменить единицы измерения.



- Откройте панель **Tools**, щелкнув на иконку .




- Нажмите на кнопку **Change units** (иконка .
- Выберите в появившемся окне миллиметры из выпадающего списка.
- Нажмите **Execute**.





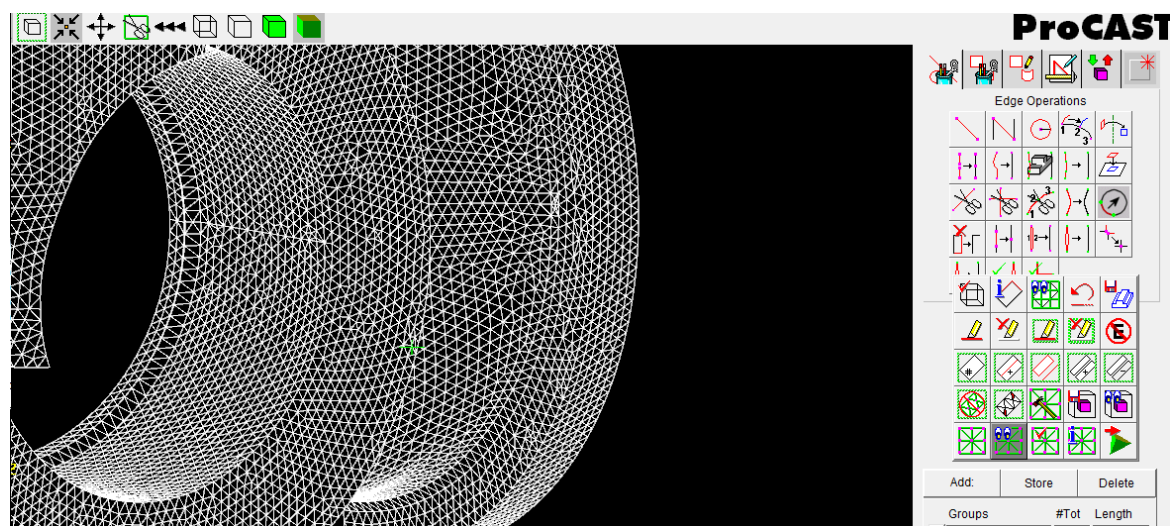
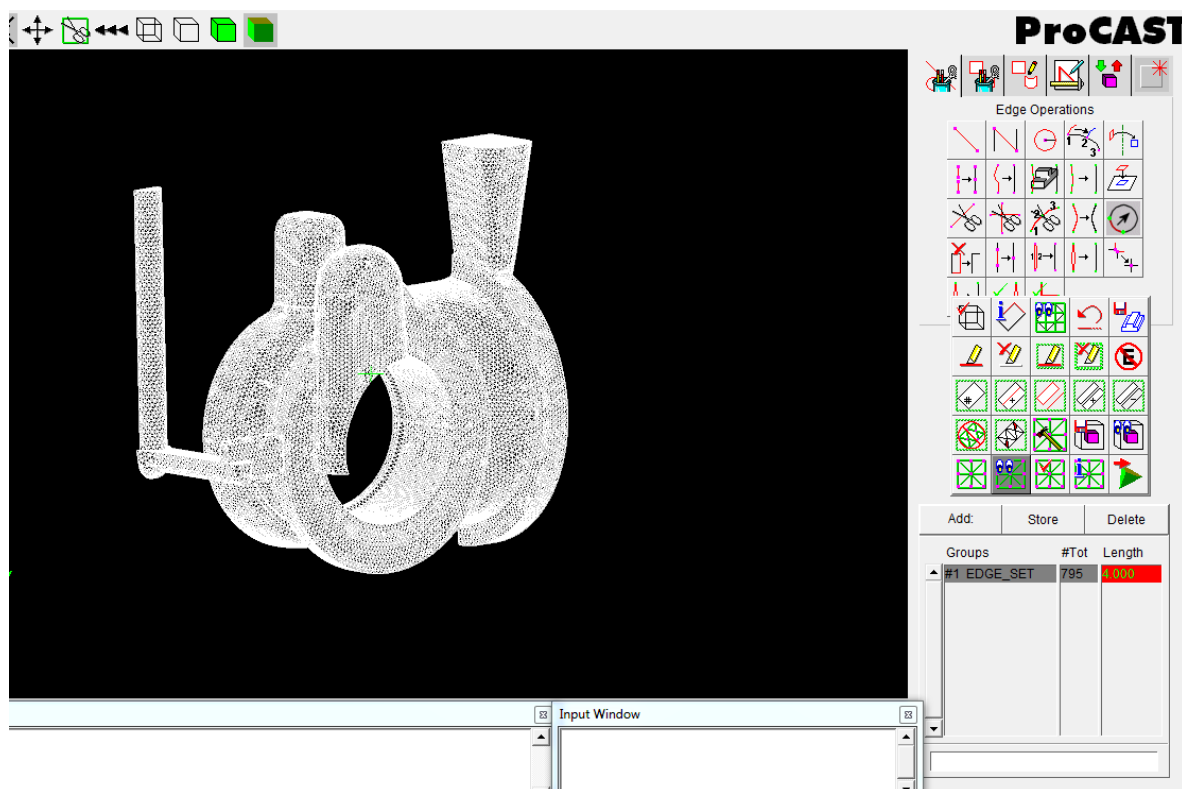
- Заново откройте MeshCAST и загрузите файл `korpus.gmrst`. В окне вывода появится сообщение **Units set to "mm"** (установлены единицы измерения: мм).

1.2.2. Проверка геометрии и построение поверхностной сетки

- Проверьте качество загруженной геометрии, щелкнув на кнопку **Check Geometry** (иконка ). В данном примере в окне вывода появится сообщение "**Surface edges seem OK**". Это говорит о том, что передача геометрии произошла без существенных ошибок. В противном случае появилось бы сообщение о количестве линий с неправильной привязкой к геометрии.
- Можно перейти к построению сетки.
- В таблице параметров сетки выделите величину, соответствующую размеру ячейки и в нижней строчке введите 4. В общем случае необходимо выбирать размер ячейки, вдвое меньше размера минимальной толщины стенки отливки. Однако при расчете крупногабаритных тонкостенных отливок допускается выбирать отношение стенка отливки - размер ячейки сетки равным 1:1,5.
- Нажмите **<Enter>**.

Add:	Store	Delete
Groups		
#1	EDGE_SET	#Tot Length
		795 4.000


- Щелкните по кнопке **Generate Surface Mesh** (иконка ). В результате будет построена поверхностная сетка.
- Для отображения сетки в окне модели нажмите на кнопку **Show Mesh** (иконка ).

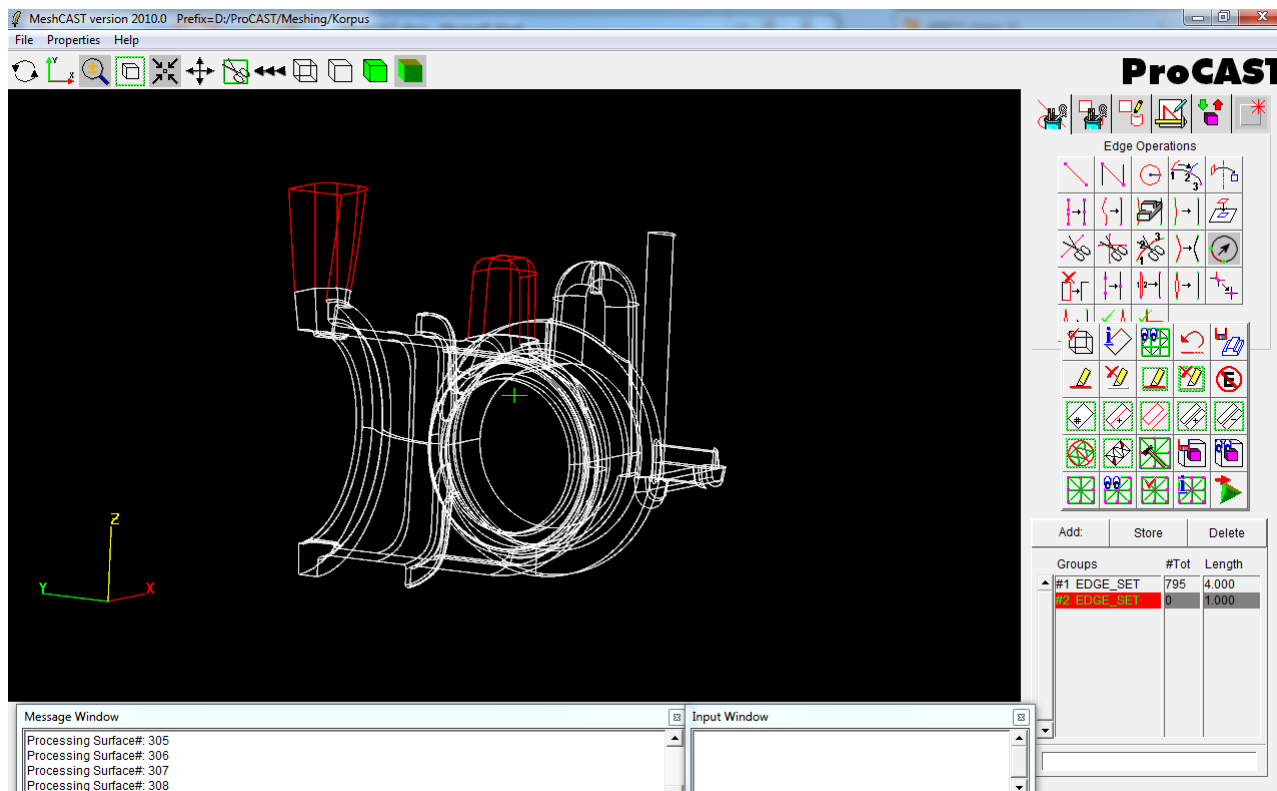


Для оптимизации сеточной модели можно применить переменный размер ячейки для разных частей отливки. В данном примере сделаем более грубой сетку для двух прибылей.

- В таблице параметров сетки нажмите **Add** и выберите **Edge Set**, тем самым создав новый набор линий.


- Выберите появившийся набор линий в таблице (**#2 EDGE_SET**).

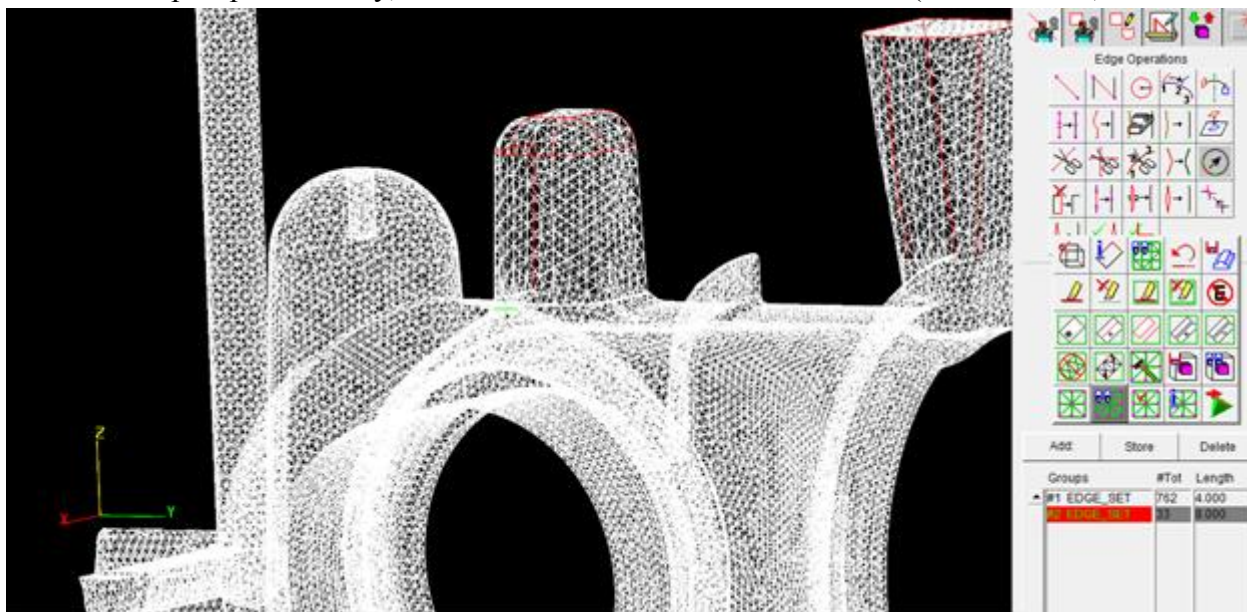
- Нажмите  и выделите в окне модели необходимые линии, которые будут принадлежать этому набору.





- Нажмите на кнопку **Store** для сохранения выбранных линий в новом наборе.

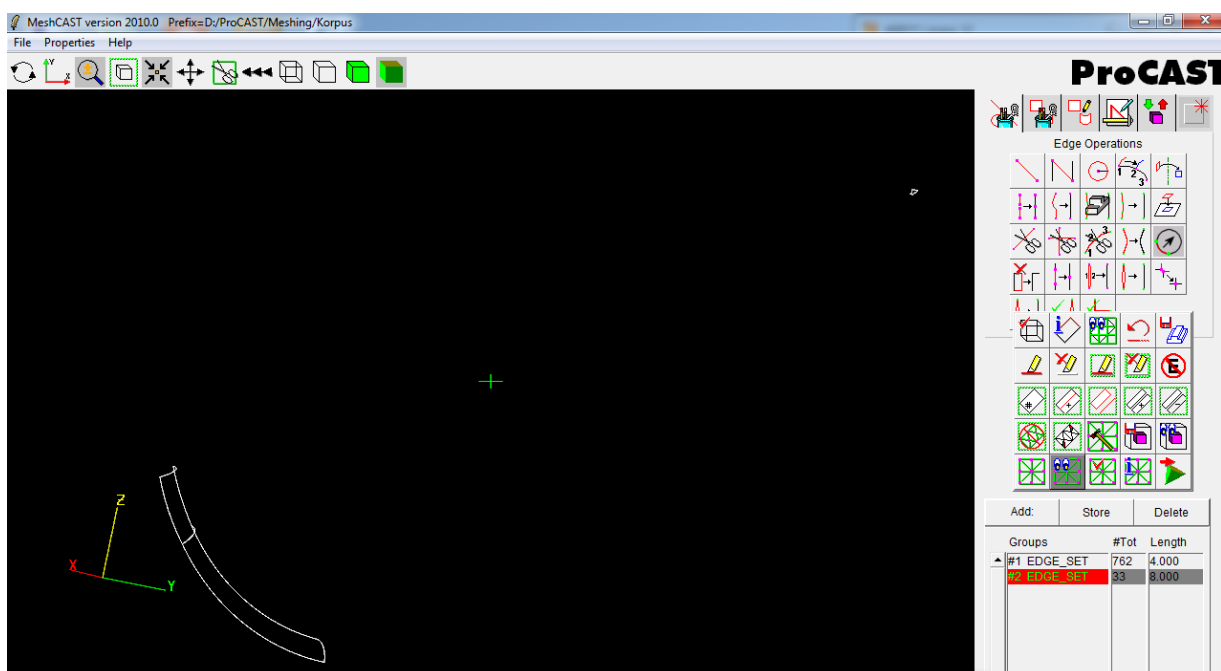
- Для данного набора введите размер ячейки 8 мм. Нажмите **<Enter>**.


- Перестройте сетку, снова нажав **Generate Surface Mesh** (иконка ).

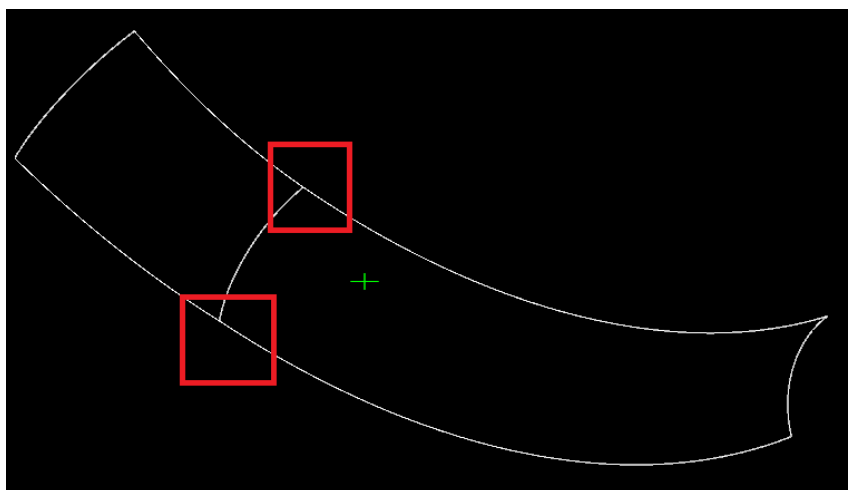


1.2.3. Корректировка геометрии

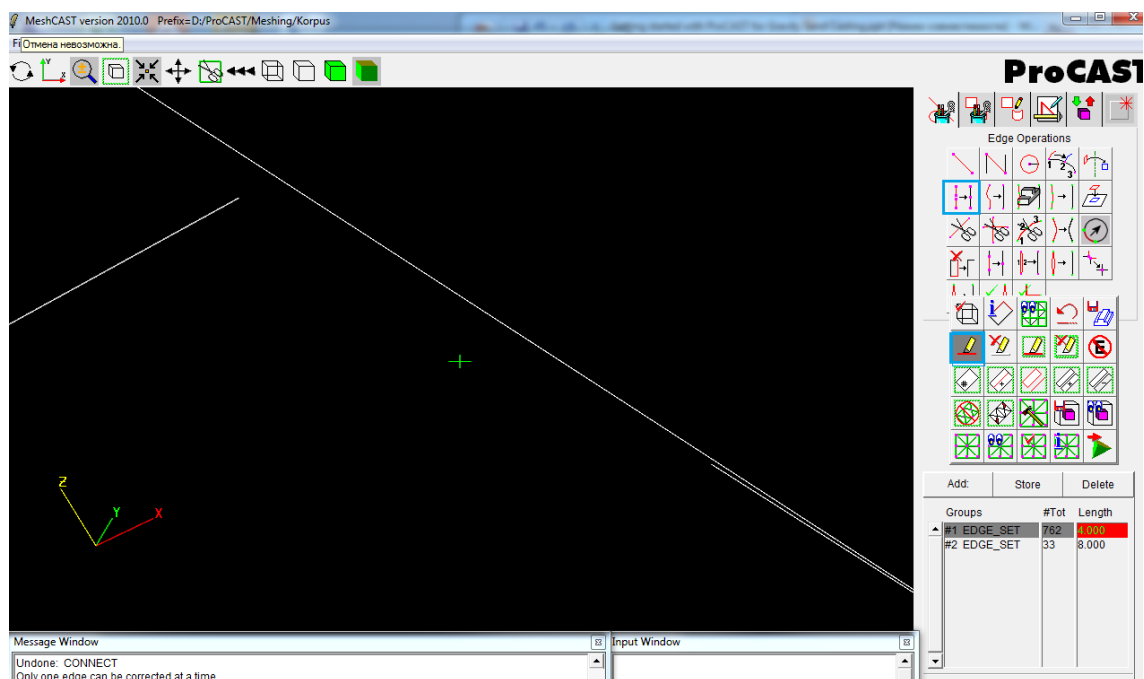
- Проверьте ошибки, которые могли возникнуть при построении поверхностной сетки.
- Щелкните на кнопку **Show Mesh** , тем самым, отключив изображение сетки, и нажмите **Active Unmeshed** (иконка ) на панели вспомогательных инструментов. В окне модели останутся поверхности, на которых не была построена сетка.




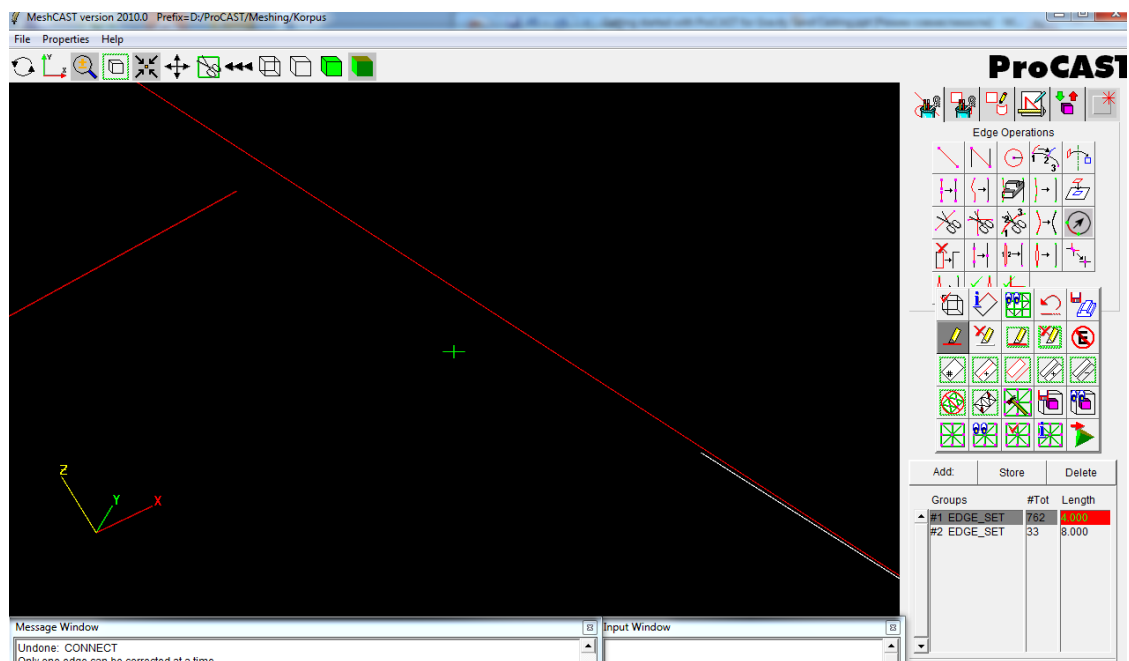
- Нажмите кнопку **AutoFix: Unmeshed Surfaces** (иконка ) для автоматического исправления ошибки. На маленькой поверхности сетка будет построена.
- Еще раз нажмите **Active Unmeshed**. На экране останутся только две поверхности. Причиной того, что на данных поверхностях не была построена сетка, является наличие разрыва линий. Области, где имеются разрывы, показаны ниже.



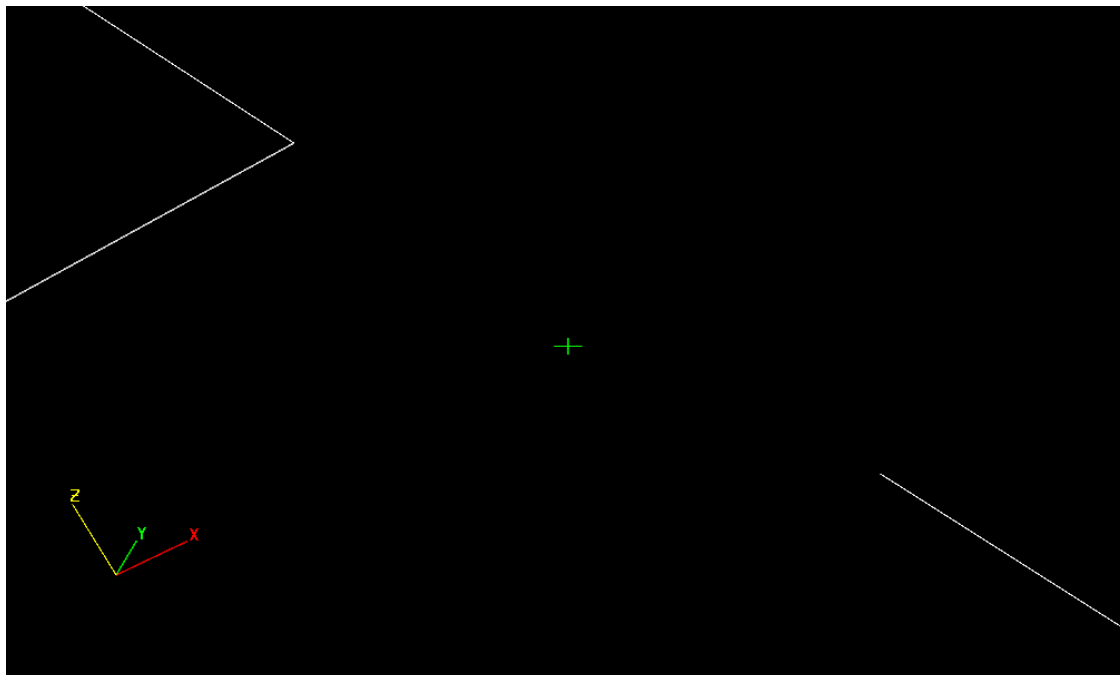
- Приблизьте первую область с разрывом.




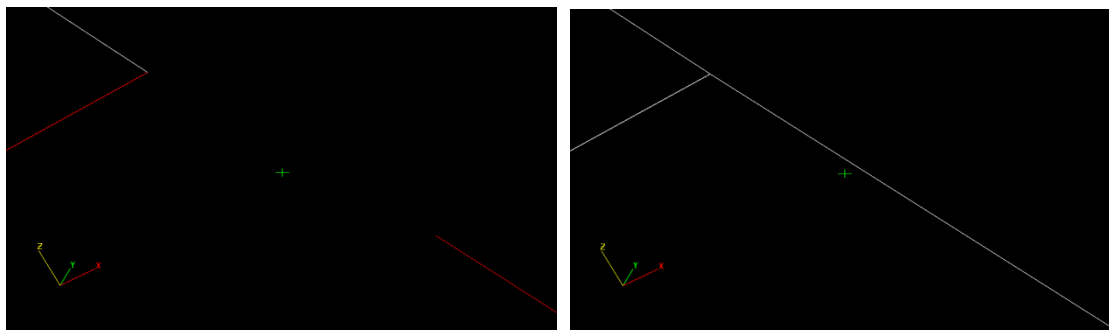
- Нажмите  и выделите 2 линии (порядок выделения линий следующий: первой выбирается линия, которая непосредственно будет присоединяться ко второй).



- Нажмите кнопку **Connect** (иконка )



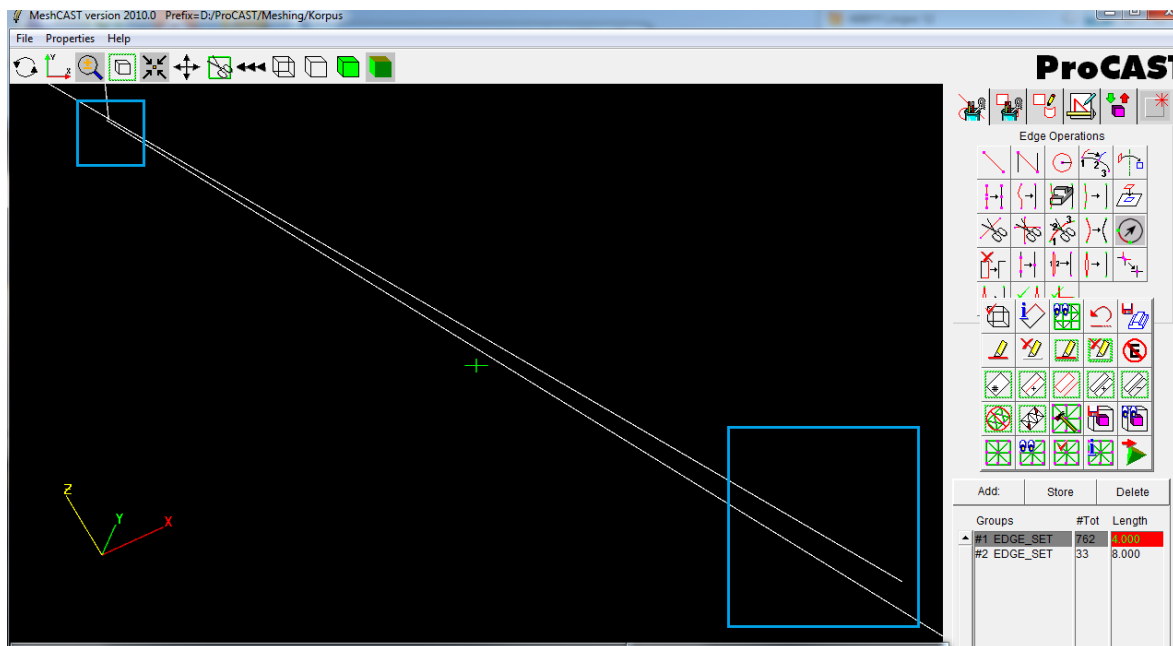
- Выделите еще 2 линии, и соедините, нажав на кнопку 



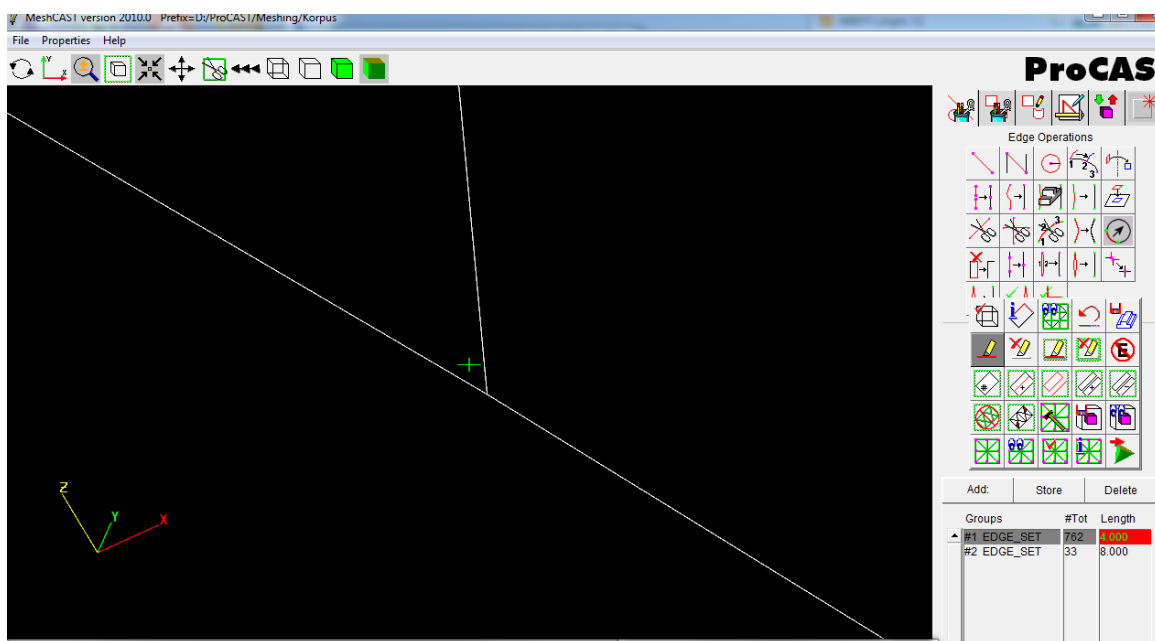
- Вернитесь к прежнему виду поверхностей. Для этого щелкните правой кнопкой мыши в любой точке экрана. Данная опция не действует, если активна (т.е. серого цвета) какая-либо кнопка выделения на панели вспомогательных инструментов.



Поэтому убедитесь, что кнопка выделения  не активна.


- Приблизьте вторую область с разрывом.

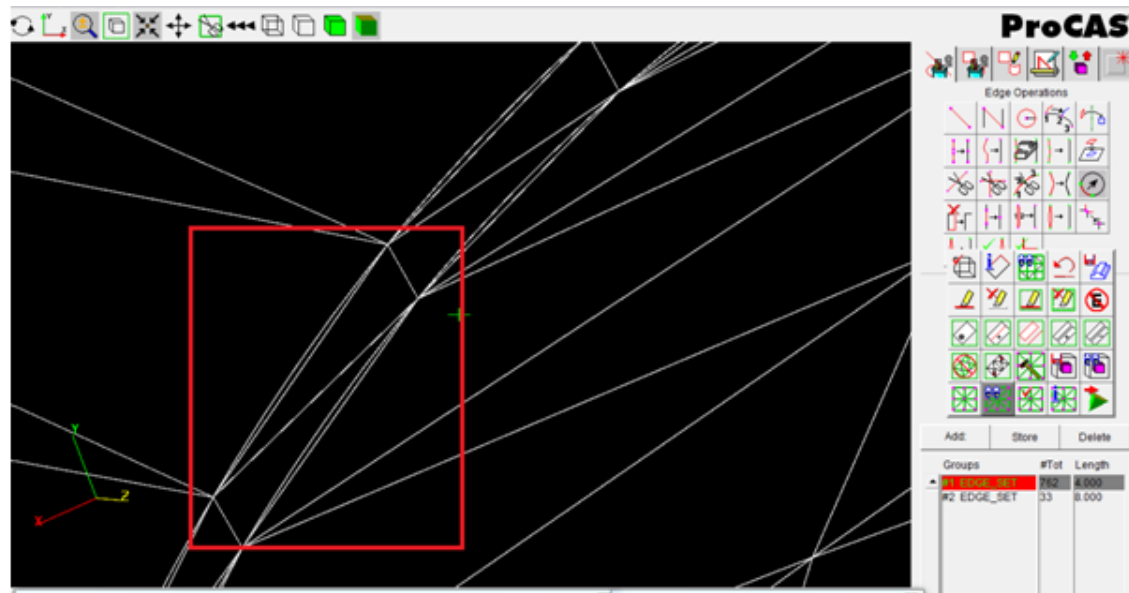
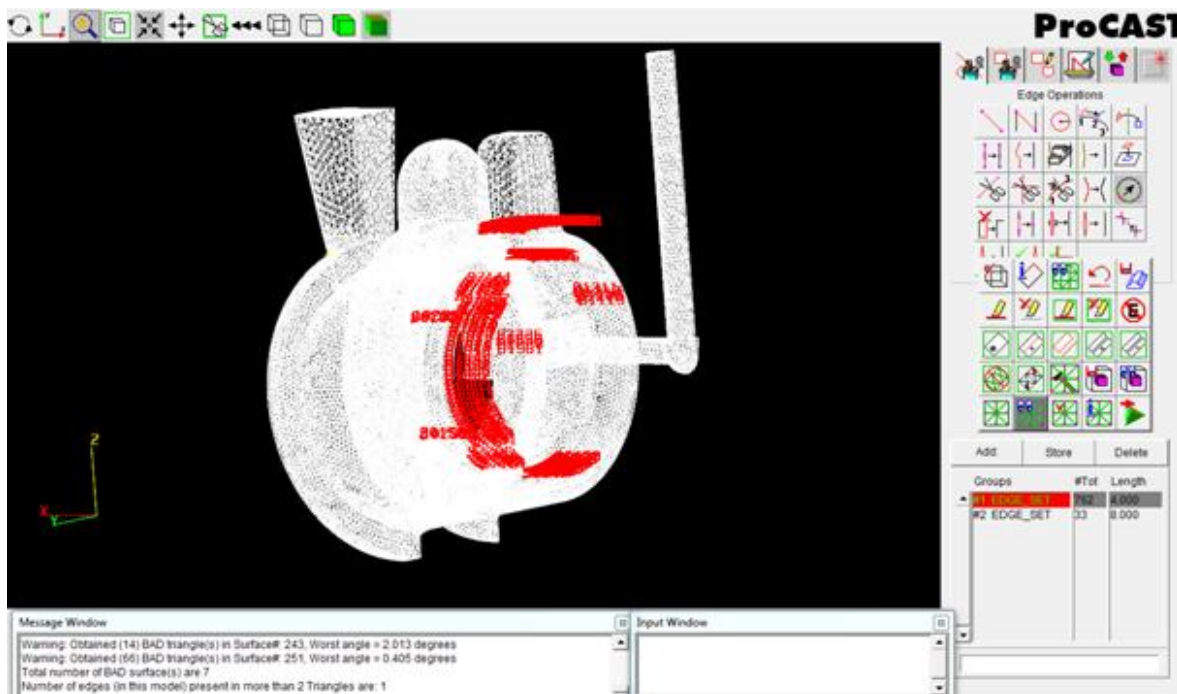


- Соедините все линии описанным выше способом.



- Вернитесь к общей модели, нажав кнопку **Backtrack/All** (иконка ) на панели управления видом.
- Выберите в таблице параметров сетки первый набор линий (**#1 EDGE_SET**) и перестройте сетку, используя кнопку **Generate Surface Mesh** (иконка )
- Нажмите на кнопку **Active Unmeshed**. В окне вывода появится следующее сообщение: "NONE to Activate". Это говорит о том, что в геометрии не осталось проблемных поверхностей.


- Для проверки качества сетки нажмите кнопку **Check Mesh** (иконка ). При этом будут подсвечены плохие элементы сетки. Проблемными местами являются пересечения, разрывы и узкие грани, на которых строятся острые треугольники.

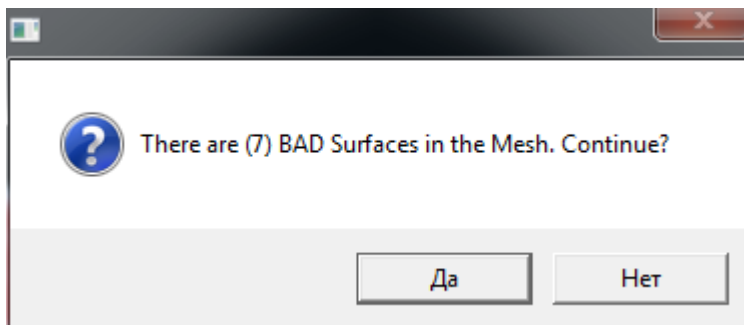


Дефект: острые треугольники на узких гранях

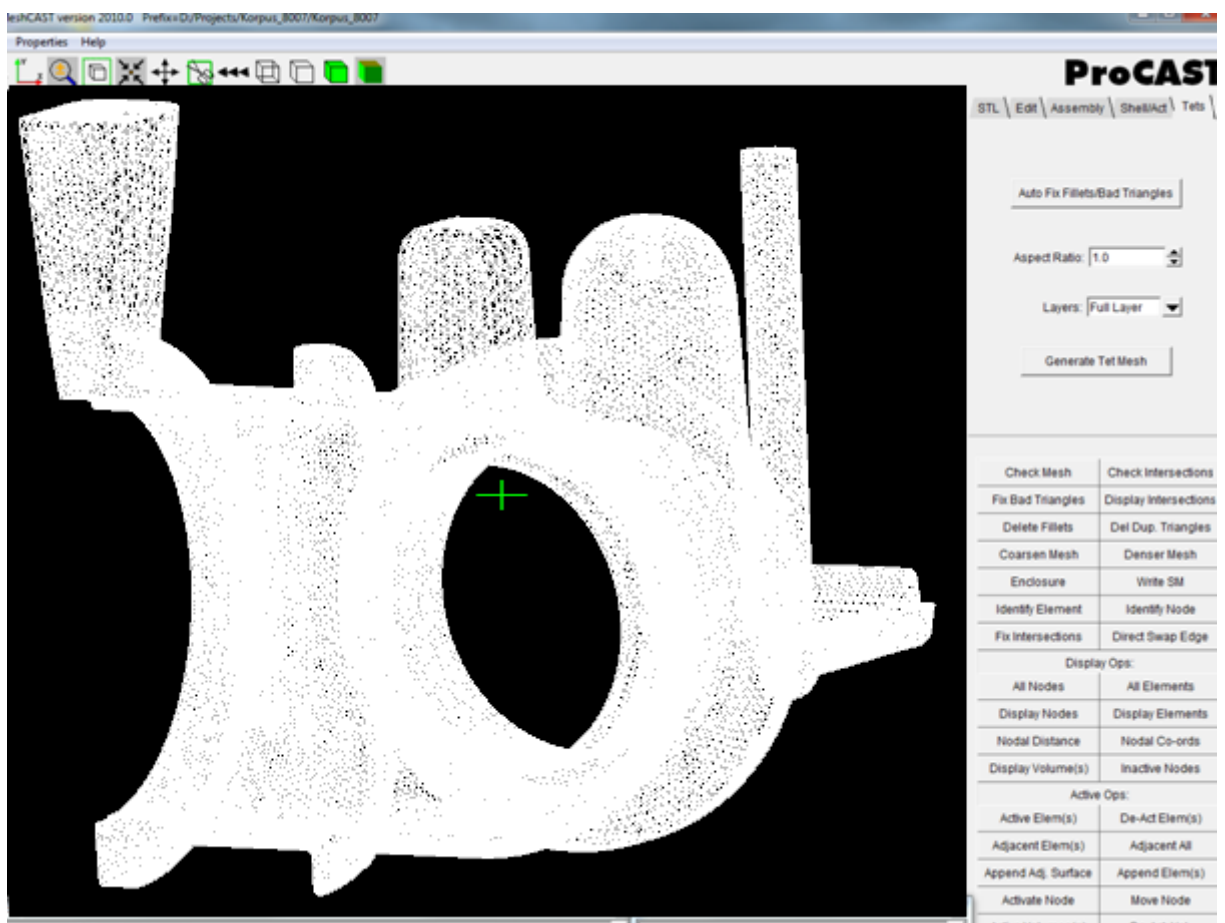
Такие ошибки можно исправить на этапе построения объемной сетки.


1.2.4. Корректировка поверхностной сетки и построение объемной сетки

- Нажмите на кнопку **Go: Volume Meshing** (иконка ) на панели вспомогательных инструментов, чтобы перейти к этапу редактирования поверхностной сетки.
- Появится сообщение, информирующее о наличии плохих элементов. Нажмите **Да**.

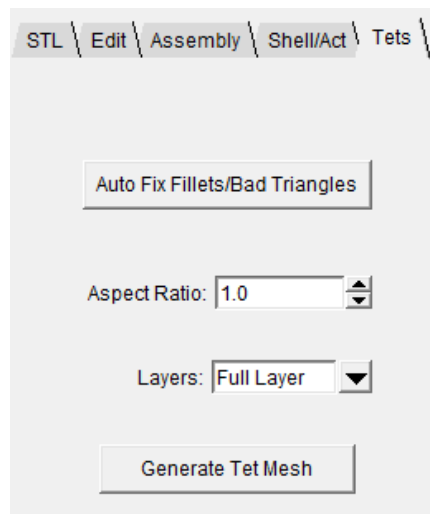


- Для проверки и редактирования сетки зайдите во вкладку **Tets**.



- Нажмите для проверки качества сетки кнопку **Check Mesh**. Эта операция аналогична функции **Check Mesh** (иконка ) при работе с *.gmrst файлом.

- Для автоматического исправления плохих мест нажмите **Auto Fix Fillets/Bad Triangles**. В результате применения этой операции будут удалены проблемные элементы, смежные треугольники будут совмещены для предотвращения разрыва в сетке.
- Снова нажмите кнопку **Check Mesh**. Теперь в окне ввода появится сообщение “**The surface seems OK**”, которое означает, что ошибки были исправлены.
- Проверьте сетку на возможные локальные пересечения элементов. Нажмите кнопку **Check Intersections**. В результате операции после полной проверки сетки в окне вывода появится сообщение: "**Total # of possible intersections are: n**", где n - количество пересечений в сетке. В данном примере количество пересечений равно 0, однако, если они имеются, необходимо воспользоваться инструментом **Fix Intersections** для автоматического исправления.
- Нажмите **File/Save** для сохранения файла в формате *.sm (данный файл, содержащий исправленную поверхностную сетку, будет использоваться в следующем примере).
- Нажмите **Generate Tet Mesh** для построения объемной сетки. Не изменяйте параметры **Layers** и **Aspect Ratio**. В общем случае установленные по умолчанию значения являются наиболее оптимальными. Параметр **Aspect Ratio** отвечает за соотношение сторон поверхностных треугольников к внутренним. Параметр **Layers** определяет, каким образом будет проводиться построение внутренних узлов для тонких стенок



После выполнения описанных выше операций, объемная сетка будет сохранена в файл *.mesh.


1.3. СБОРКА СЕТОЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ОТЛИВКИ И ФОРМЫ

1.3.1. Запуск нового проекта



Для того чтобы выполнить сборку необходимы файлы с поверхностными сетками отливки и формы. Поверхностная сетка отливки создана при выполнении предыдущей задачи.


Для построения поверхностной сетки формы выполните следующие действия.

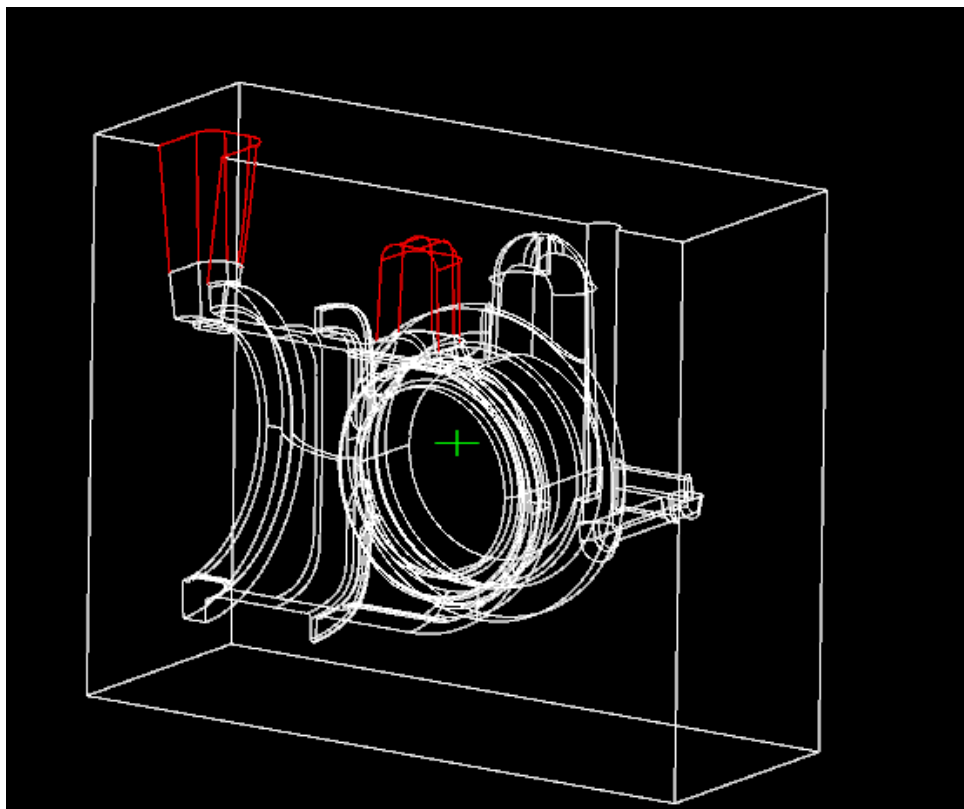
- Скопируйте файл `korpus_forma.x_t` из директории **ProCASTtrainings/MeshCAST/Korpus_forma** в папку, где хранится файл с поверхностной сеткой отливки `*.sm`.
- Запустите ProCAST и в файловом менеджере укажите путь к этой папке.
- Запустите MeshCAST и откройте файл `korpus_forma.x_t` в меню **File/Open**.
- Проверьте качество загруженной геометрии, щелкнув на кнопку **Check Geometry**


(иконка ). В данном примере в окне вывода появится сообщение "**Surface edges seem OK**". Это говорит о том, что передача геометрии произошла без существенных ошибок. В противном случае появилось бы сообщение о количестве линий с неправильной привязкой к геометрии.

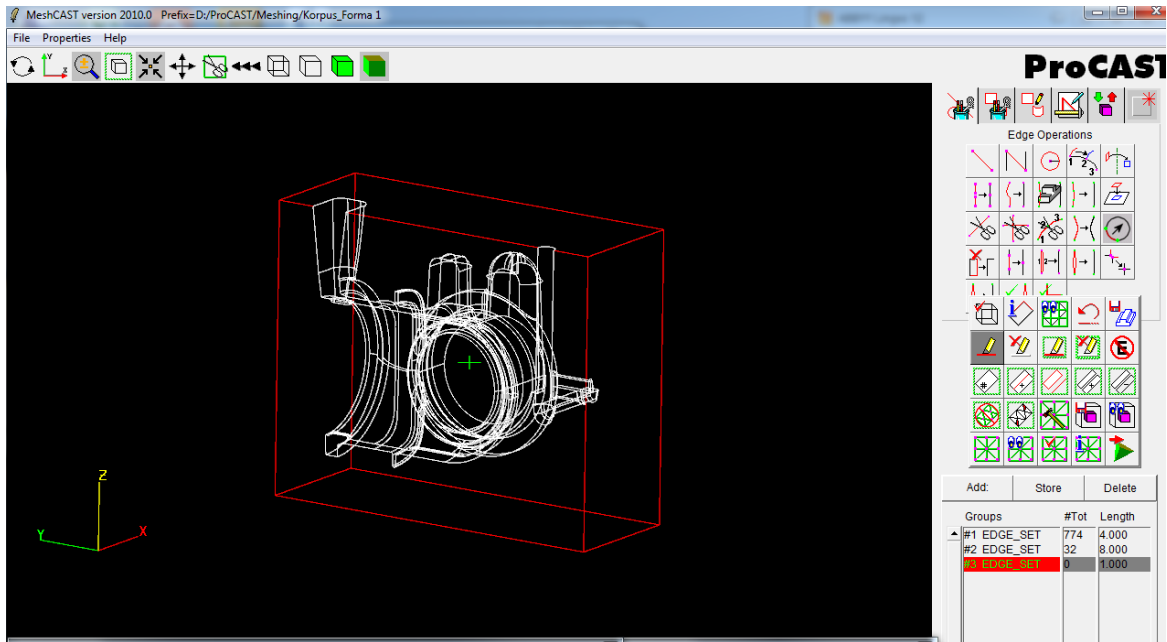
1.3.2. Создание сетки и проверка ее качества

- Можно перейти к построению сетки.
- Измените единицы измерения, используемые для проекта.
 - Откройте панель **Tools**, щелкнув на иконку .
 - Нажмите на кнопку **Change units** (иконка ).
 - Выберите в появившемся окне **Millimeters** из выпадающего списка.
 - Нажмите **Execute**. После выполнения этих операций файл будет сохранен в формате `*.gmrst`.
- Еще раз запустите MeshCAST и откройте файл `korpus_forma.gmrst`.
- Постройте поверхностную сетку формы. Для оптимизации расчета создайте более грубую сетку для двух прибылей (как в первом примере) и для стенок формы.
 - Выделите в таблице параметров сетки величину размера сетки и введите в нижнюю строку значение 4.
 - Нажмите **<Enter>**.
- Создайте новый набор линий, соответствующий прибылям.
 - В таблице параметров сетки нажмите **Add** и выберите **Edge Set** (набор линий).
 - Выберите появившийся набор линий в таблице.



- Нажмите  и выделите в окне модели необходимые линии, которые будут принадлежать этому набору.
- Нажмите **Store**.

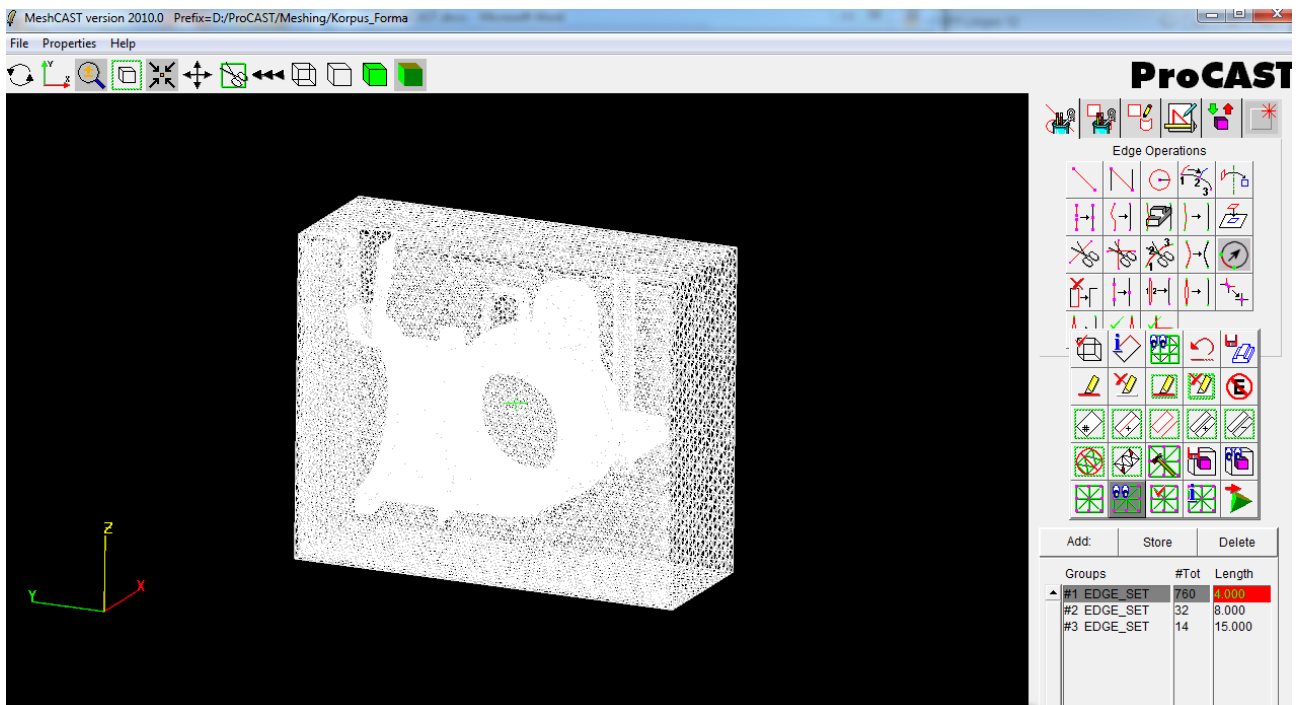


- Введите для данного набора размер сетки 8 мм.
- Нажмите **<Enter>**.
- Создайте еще один набор линий, соответствующий контуру формы.
 - В таблице параметров сетки нажмите **Add** и выберите **Edge Set**.
 - Выберите **#3 EDGE SET** в таблице.
 - Нажмите  и выделите в окне модели контур формы.
 - Нажмите **Store**.






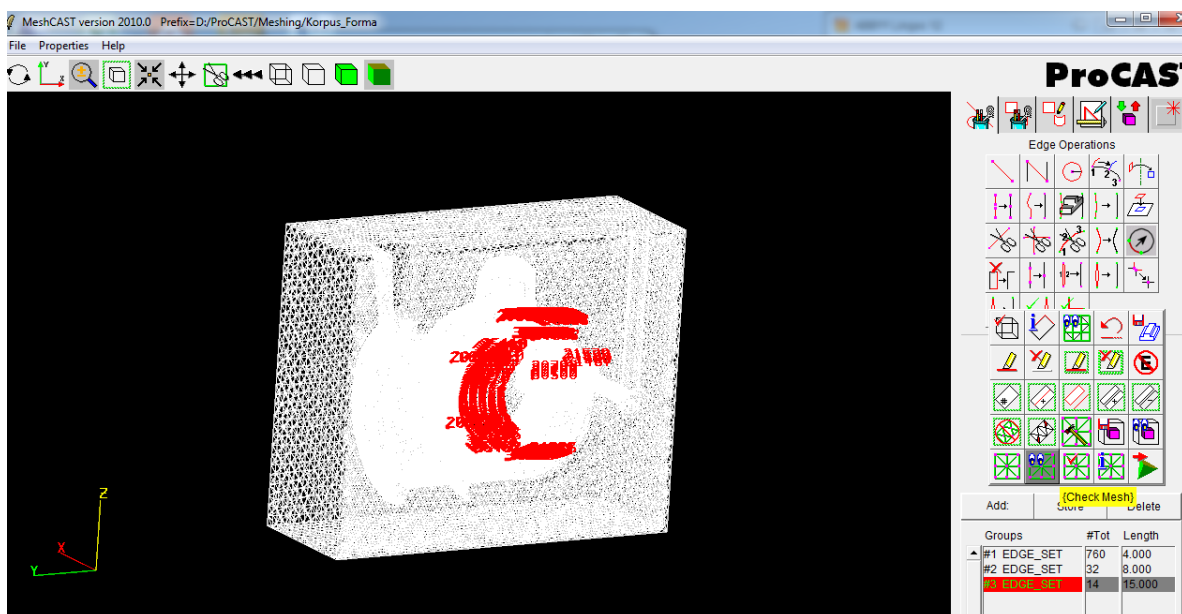
- Определите размер сетки: 15мм.
- Нажмите <Enter>.


- Нажмите на кнопку **Generate Surface Mesh** (иконка ) для создания поверхностной сетки с заданными параметрами.
- Для отображения сетки в окне модели нажмите кнопку **Show Mesh** (иконка ).

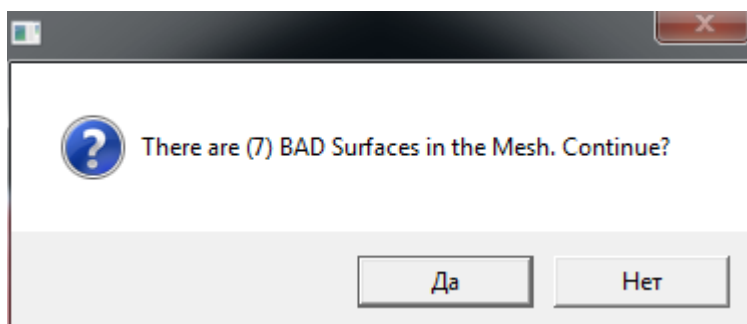


- Проверьте ошибки, которые могли возникнуть при построении поверхностной сетки.

- Щелкните на кнопку **Show Mesh**, тем самым, отключив изображение сетки, и нажмите **Active Unmeshed** (иконка ) на панели вспомогательных инструментов. В данном случае появится сообщение в окне ввода **NONE to Activate**, которое означает, что сетка построена на всех поверхностях.
- Нажмите на кнопку  для отображения сетки.
- Для проверки качества сетки нажмите кнопку **Check Mesh** (иконка ). При этом плохие элементы сетки будут подсвечены. Проблемными местами являются пересечения, разрывы и узкие грани, на которых строятся острые треугольники. Исправление сетки будет проводиться на следующем этапе.



- Нажмите на кнопку **Go: Volume Meshing** (иконка ) на панели вспомогательных инструментов, чтобы перейти к этапу редактирования поверхностной сетки.
- Появится сообщение, информирующее о наличии плохих элементов. Нажмите **Да**.



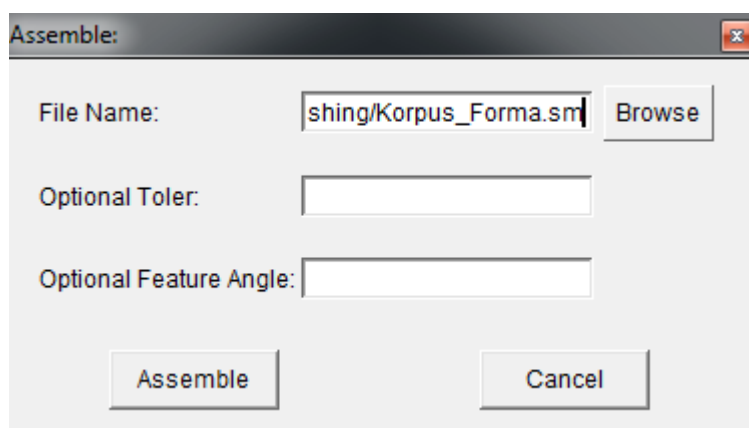
- Для проверки и редактирования сетки зайдите во вкладку **Tets**.

- Для автоматического исправления плохих мест нажмите **Auto Fix Fillets/Bad Triangles**. В результате применения этой операции будут удалены проблемные элементы, смежные треугольники будут совмещены для предотвращения разрыва в сетке.
- Снова нажмите кнопку **Check Mesh**. Теперь в окне ввода появится сообщение “**The surface seems OK**”, которое означает, что все ошибки были исправлены.
- Проверьте сетку на возможные локальные пересечения элементов. Нажмите кнопку **Check Intersections**. В результате операции после полной проверки сетки в окне вывода появится сообщение: “**Total # of possible intersections are: n**”, где n - количество пересечений в сетке. В данном примере количество пересечений равно 0, однако, если они имеются, необходимо воспользоваться инструментом **Fix Intersections** для автоматического исправления.
- Сохраните файл через пункт меню **File/Save**.

1.3.3. Сборка формы и отливки

В результате вышеописанных действий имеются два файла поверхностных сеток: korpus.sm и korpus_forma.sm.

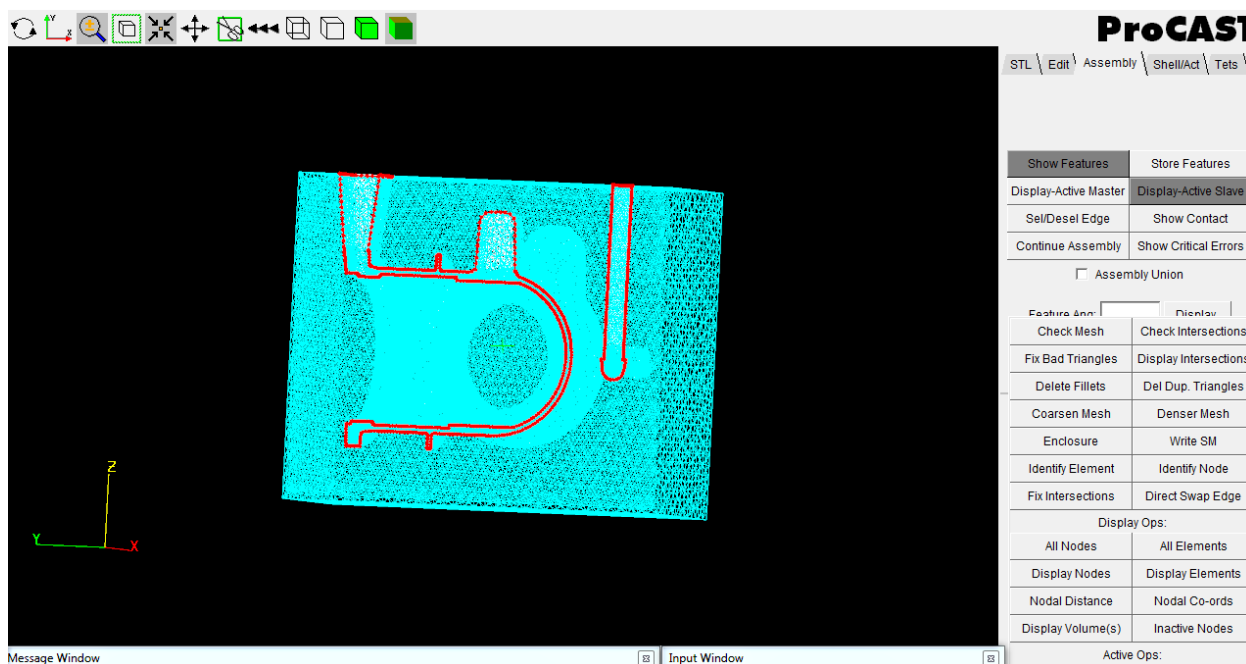
- Для проведения сборки откройте первым файл с отливкой.
 - Выберите в меню **File/Assemble**.
 - Откроется окно, где в поле **File Name** необходимо указать путь ко второму *.sm файлу, который будет добавлен к первому. В поле **Optional Toler** и **Optional Future Angle** можно указать соответственно допуск определения контакта по расстоянию и углу между двумя поверхностями сопрягаемых тел. Однако в большинстве случаев нет необходимости вводить значение допуска, т.к. вполне хватает значений, установленных по умолчанию.



- Нажмите кнопку **Browse** и выберите нужный файл.
- Нажмите **Assemble**. Здесь важно отметить, что при сборке поверхностных сеток важен порядок выбора файлов. Лучше всего начинать сборку с отливки, т.к. при этом ее поверхность будет определяющей при идентификации контакта и создании общих узлов в контактной области.

После добавления файла формы к отливке, автоматически откроется вкладка **Assembly** в панели инструментов редактирования, где необходимо определить правильность указанного контакта.

- Нажмите кнопку **Show Features**. В окне модели будут подсвечены внешние контактные ребра, которые принадлежат обоим телам. Красным цветом отображаются ребра первого главного тела (т.н. **Master**, в нашем случае это отливка), зеленым цветом отображаются ребра второго второстепенного тела (т.н. **Slave**, в нашем случае это форма). Контактные ребра должны образовывать замкнутую линию, и описывать всю контактную поверхность двух тел. Если при сборке контакт был определен не совсем правильно, то в линиях контактных ребер появится разрыв, который будет подсвечен желтым цветом.



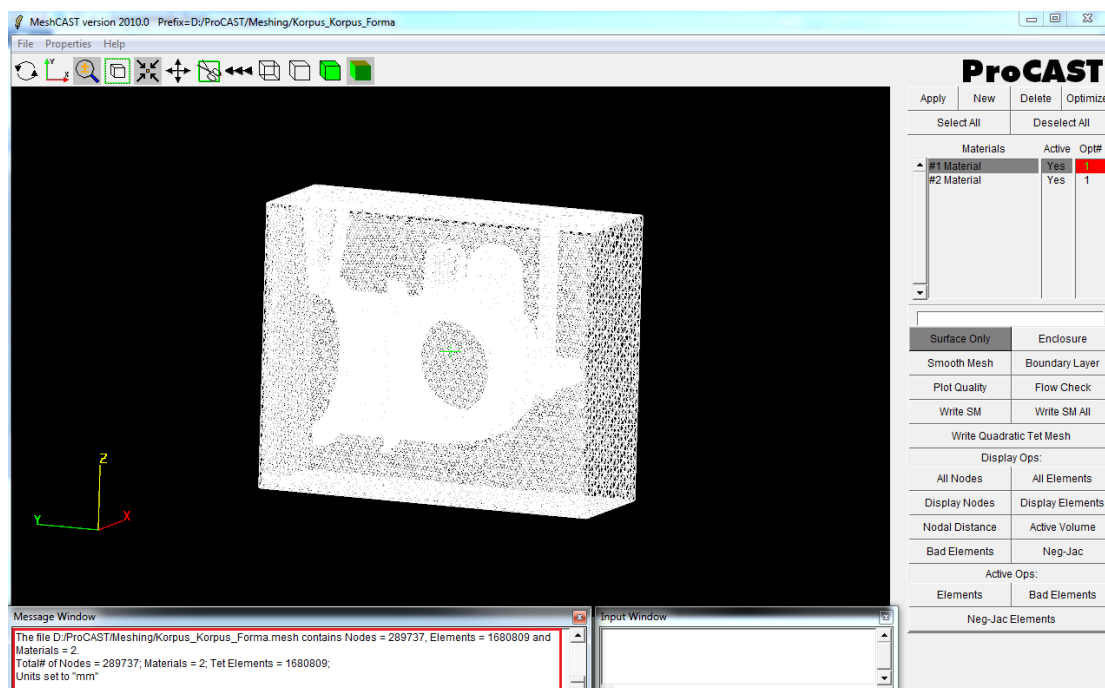
В данном примере разрывов в контактной линии нет.

- Нажмите **Continue Assembly** для завершения сборки. При этом будет перестроена контактная поверхность отливки и формы, их узлы будут совмещены в одну точку и получен контакт узел в узел (т.н. совмещенная сетка). В результате будет сохранен файл с именем `корпус_корпус_форма.sm`.
- Снова проверьте сетку на наличие плохих треугольников и пересечений, т.к. при перестроении контактной поверхности могут возникнуть локальные ошибки в сетке.
 - Нажмите на кнопку **Check Mesh** и затем **Check Intersections** на панели вспомогательных инструментов. Проблемных мест обнаружено для данного случая не будет.



При проверке поверхностной сетки на собранной модели, контактные ребра подсвечиваются желтым цветом. Это говорит о том, что данные ребра имеют контакт более чем с двумя элементами. В обычном случае желтые ребра указывают места пересечений элементов в сетке.

- Для построения объемной сетки откройте вкладку **Tets**.
- Нажмите **Generate Tet Mesh**. После завершения операции построения откроется панель доменов, в которой можно посмотреть количество элементов в сборке, скрыть или удалить некоторые из них. В окне вывода можно определить размерность сетки - для нашего примера количество элементов в сетке составило 1680809.





- После проведенных операций объемная сетка будет сохранена в файл *.mesh. Можно переименовать файл korpus_korpus_forma.mesh, чтобы сократить его имя. Для этого выберите в меню **File - Save as** и укажите новое имя файла сетки.

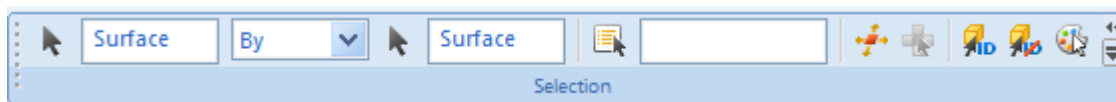
2. СОЗДАНИЕ СЕТКИ В VISUALMESH

Управление видом объекта

- Нажмите и удерживайте среднюю кнопку мыши или кнопку <A> на клавиатуре (англ. раскладка). Перемещайте мышь для поворота модели в любом направлении.
- Нажмите и удерживайте правую кнопку мыши или кнопку <S> на клавиатуре. Двигайте мышью для того, чтобы изменить положение модели на экране.
- Нажмите и удерживайте кнопку <D>. Двигайте мышь для уменьшения и увеличения масштаба. Также изменить масштаб можно, прокручивая среднюю кнопку мыши.
- Нажмите кнопку <F> для расположения модели по центру экрана.
- Щелкните на кнопку <Z> и, удерживая левую кнопку мыши, выделите с помощью прямоугольника интересующую область модели для масштабирования.
- Нажмите и удерживайте кнопку <M>. Щелкните на любой элемент модели, чтобы скрыть его. Для того чтобы снова отобразить объекты щелкните на экране правой кнопкой мыши и выберите **View/Show all**.

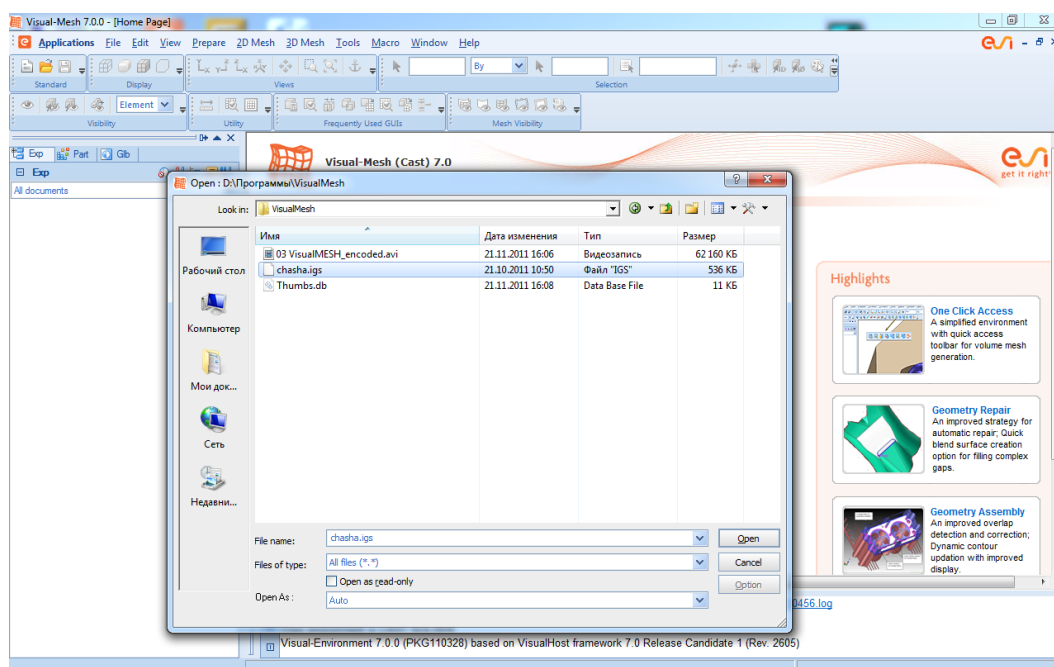
Выделение элементов

- Для выделения объектов, щелкайте левой кнопкой мыши по ним, либо удерживайте правую кнопку мыши выделите рамкой нужную область.
- Для того чтобы снять выделение нажмите клавишу <Shift> и выберите элементы. Также можно активировать опцию отмены выделения **Deselect** (иконка ) на панели **Select**. Если такой иконки на панели нет, щелкните на кнопку  и в выпадающем списке поставьте галочку напротив соответствующего инструмента.

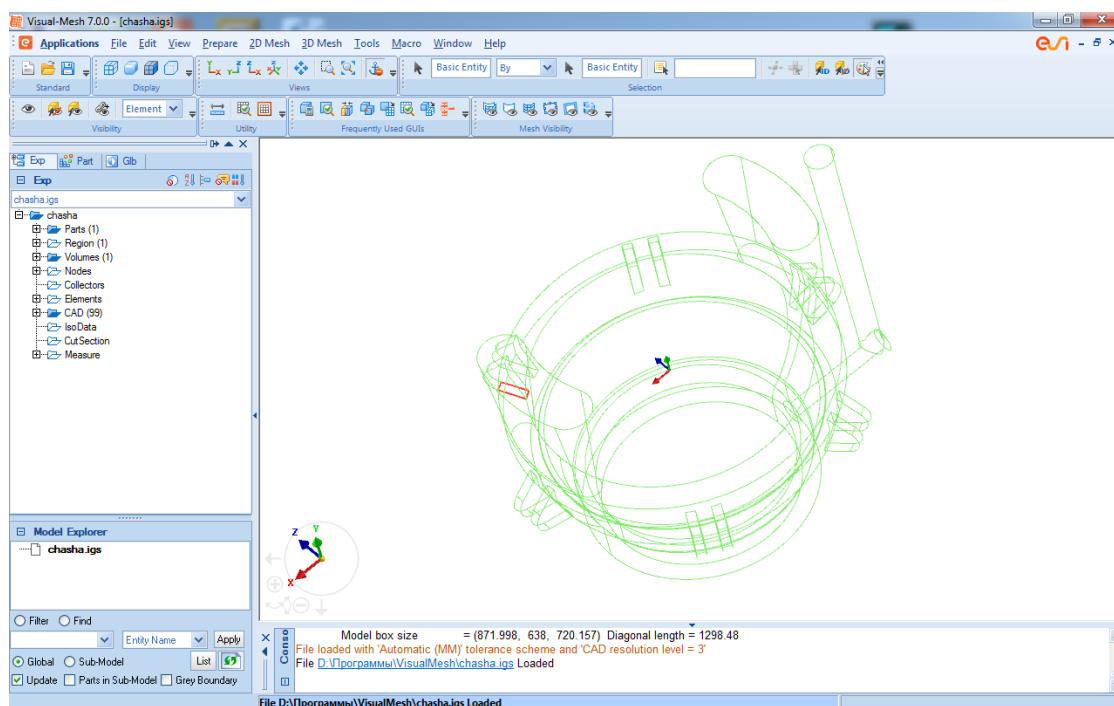


2.1. ЗАПУСК НОВОГО ПРОЕКТА

- Запустите **Visual Cast 7.0**.
- Откроется окно **Visual-Mesh 7.0.0**.
- Выберите пункт меню **File/Open**. Откройте файл **Chasha.igs** из директории **ProCASTtrainings/VisualMesh**.



Автоматически будет загружена CAD модель.




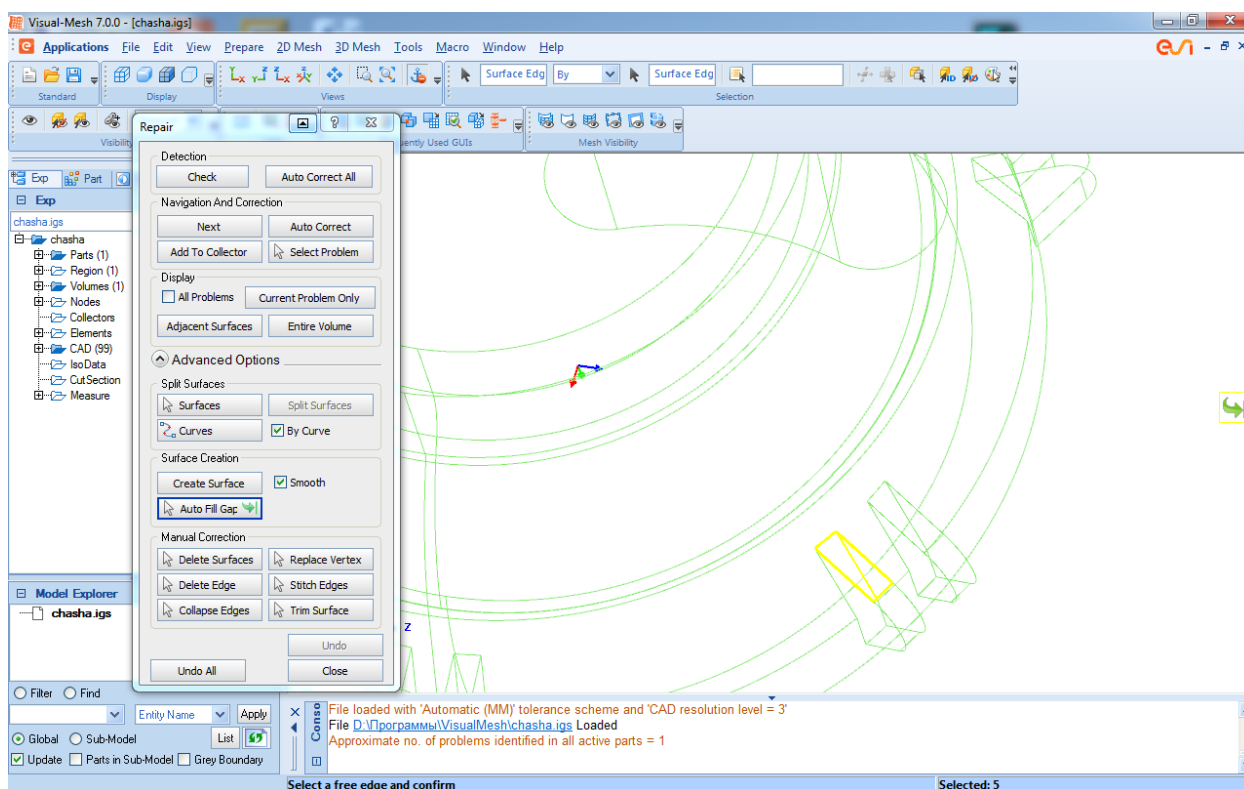
Красным цветом подсвечены некорректные зоны модели, которые необходимо исправить.

- Выберите пункт меню **Prepare/Repair**.
- Появится окно **Repair**. Нажмите на кнопку **Check** для проверки геометрии.
- Щелкните на стрелку рядом с **Advanced Options** для доступа к дополнительным инструментам опции.

Для исправления дефектов можно воспользоваться кнопкой **Auto Correct All** или нажать **Auto Fill Gap** (инструмент ручного исправления).


- Щелкните на кнопку **Auto Fill Gap**. Выделите красные линии.
- После выделения нужной области подтвердите выбор нажатием средней кнопки

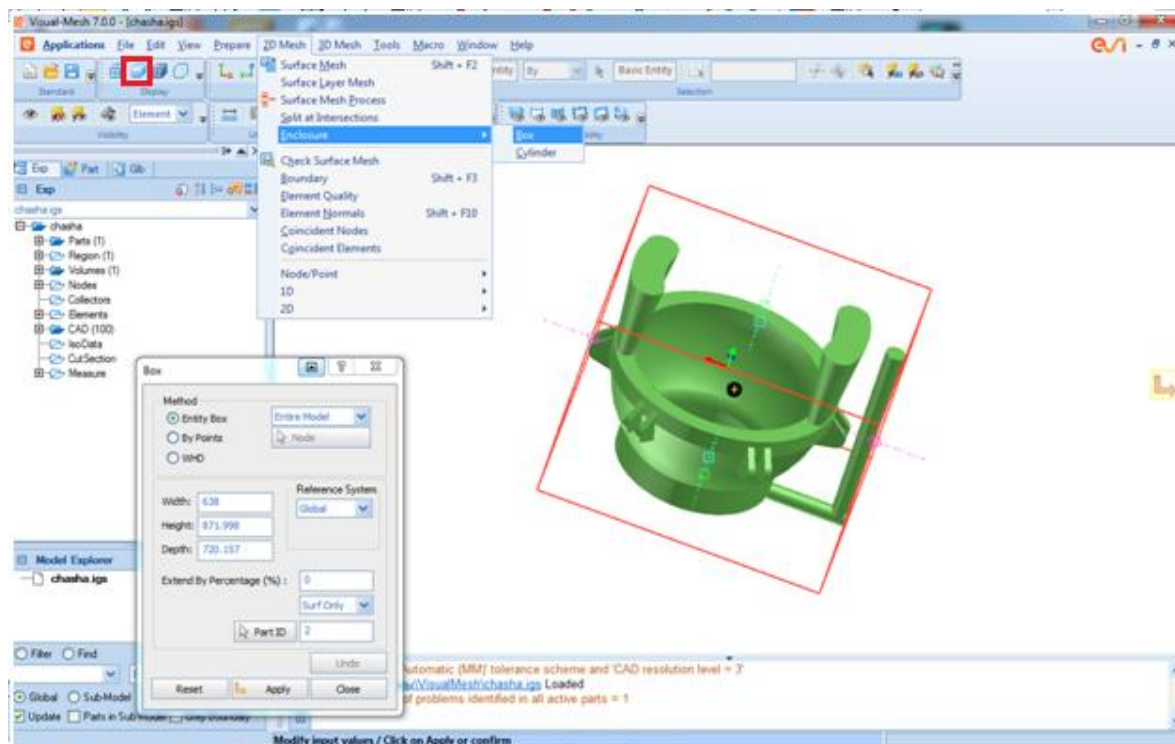
мыши или на иконку .




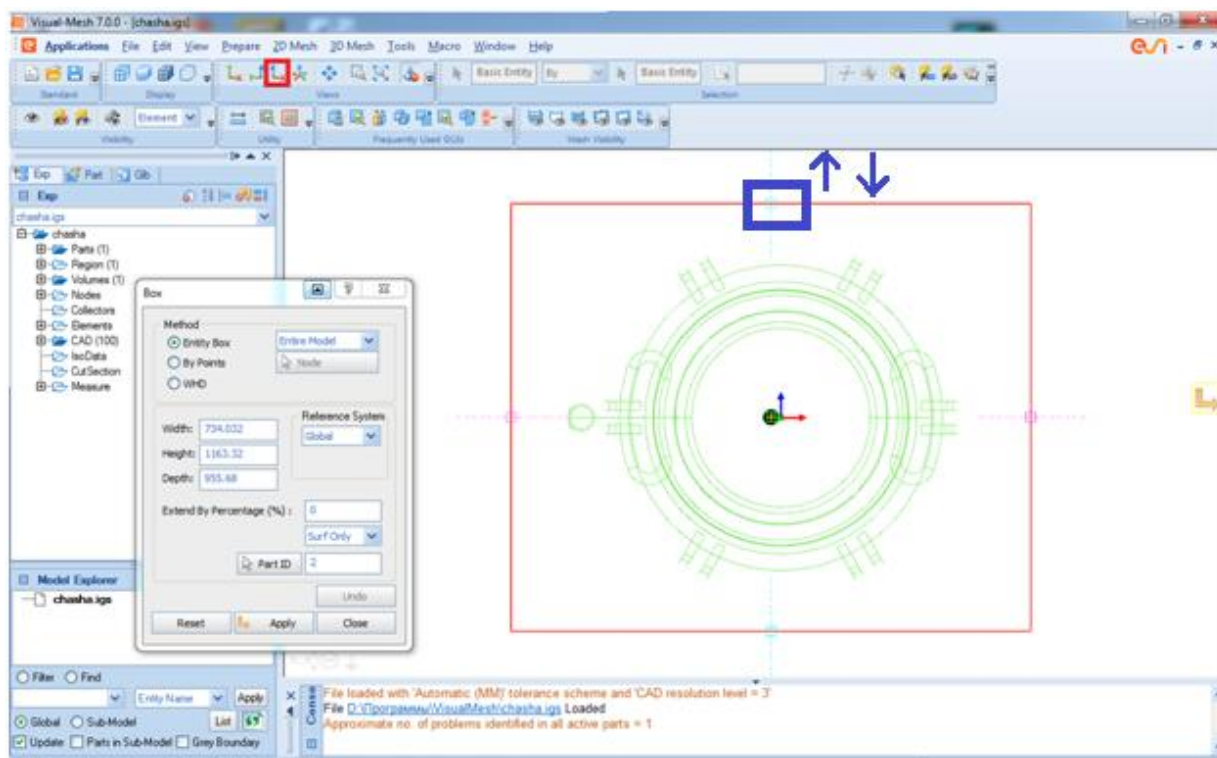
- Проверьте геометрию после исправления, нажав на кнопку **Check**. Если проблемных мест не обнаружено закройте окно.


2.2. СОЗДАНИЕ ФОРМЫ

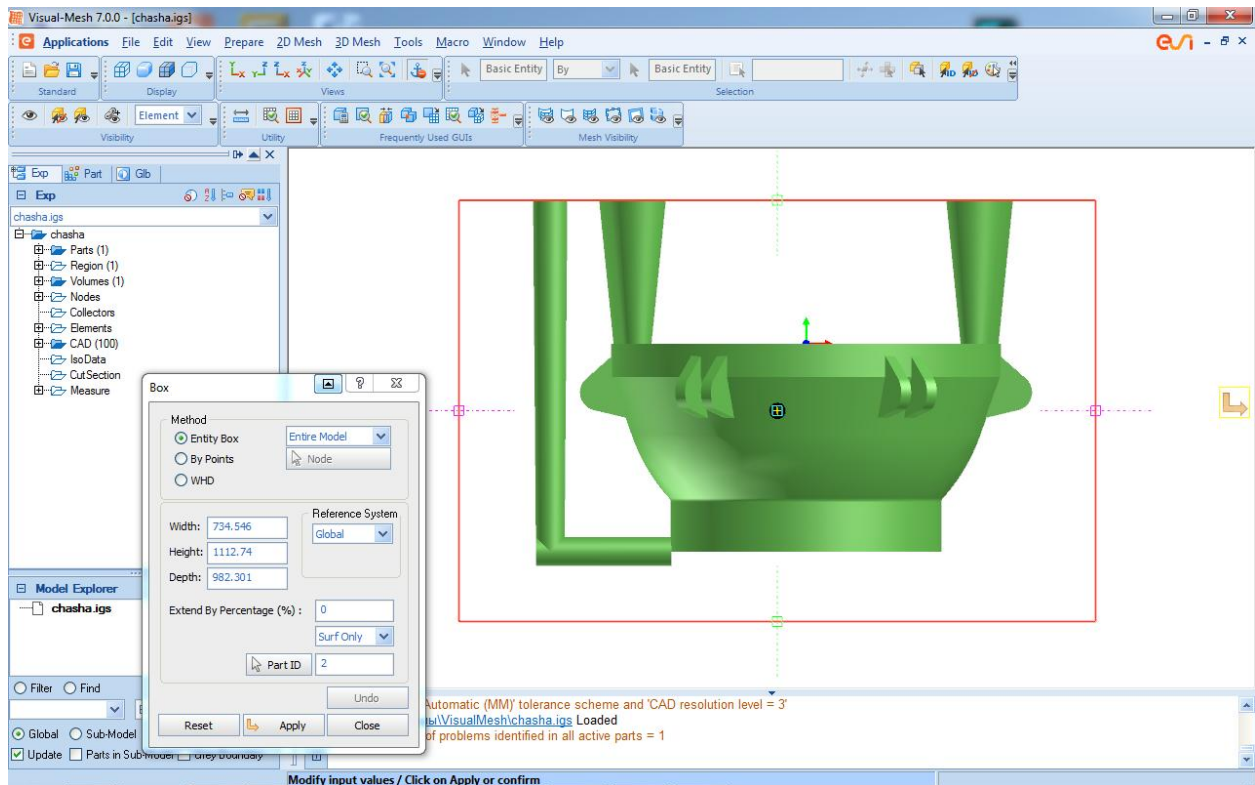
- Щелкните на иконку  на панели **Display**.
- Выберите пункт меню **2D Mesh/Enclosure/Box**.



- Щелкните на иконку  на панели **View**.
- Задайте примерные размеры формы (как показано на рисунке). Щелкните на квадратик посередине ребра квадрата и тяните вверх до нужного положения.



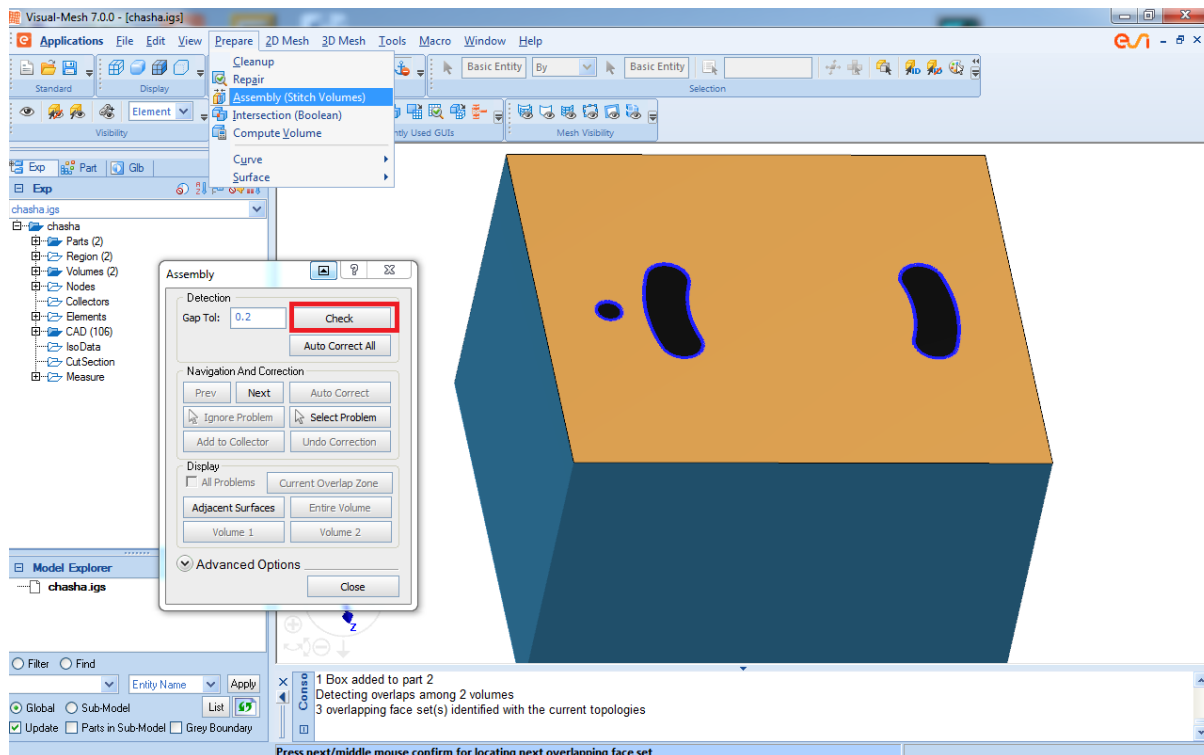
- Расположите модель в плоскости **YX**, щелкнув на иконку .
- Расположите нижнюю поверхность формы как показано на рисунке.




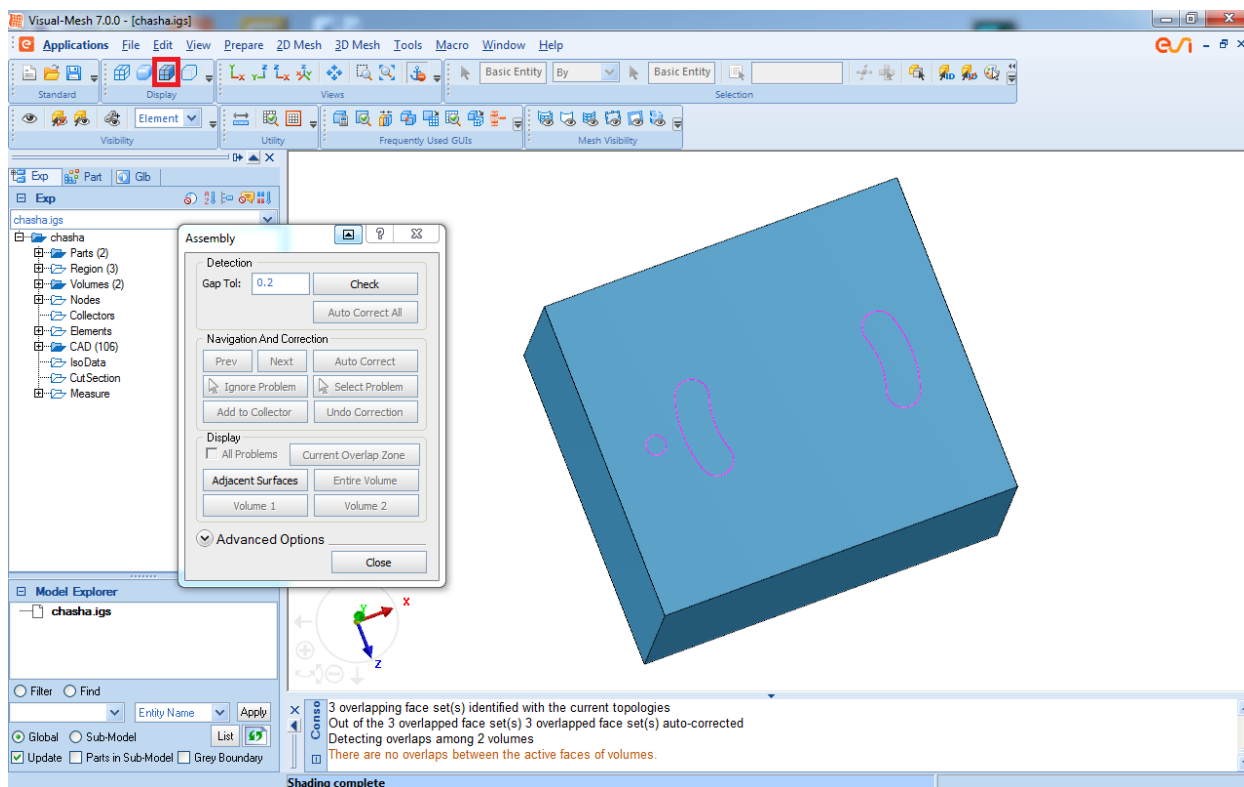
- Нажмите **Apply** и **Close**.

2.3. ПРОВЕДЕНИЕ СБОРКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНТАКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕЖДУ ТЕЛАМИ

- Для того чтобы выполнить сборку выберите пункт меню **Prepare/Assembly**.
- Щелкните **Check**. Программа автоматически определит границы контакта между поверхностями отливки и формы.



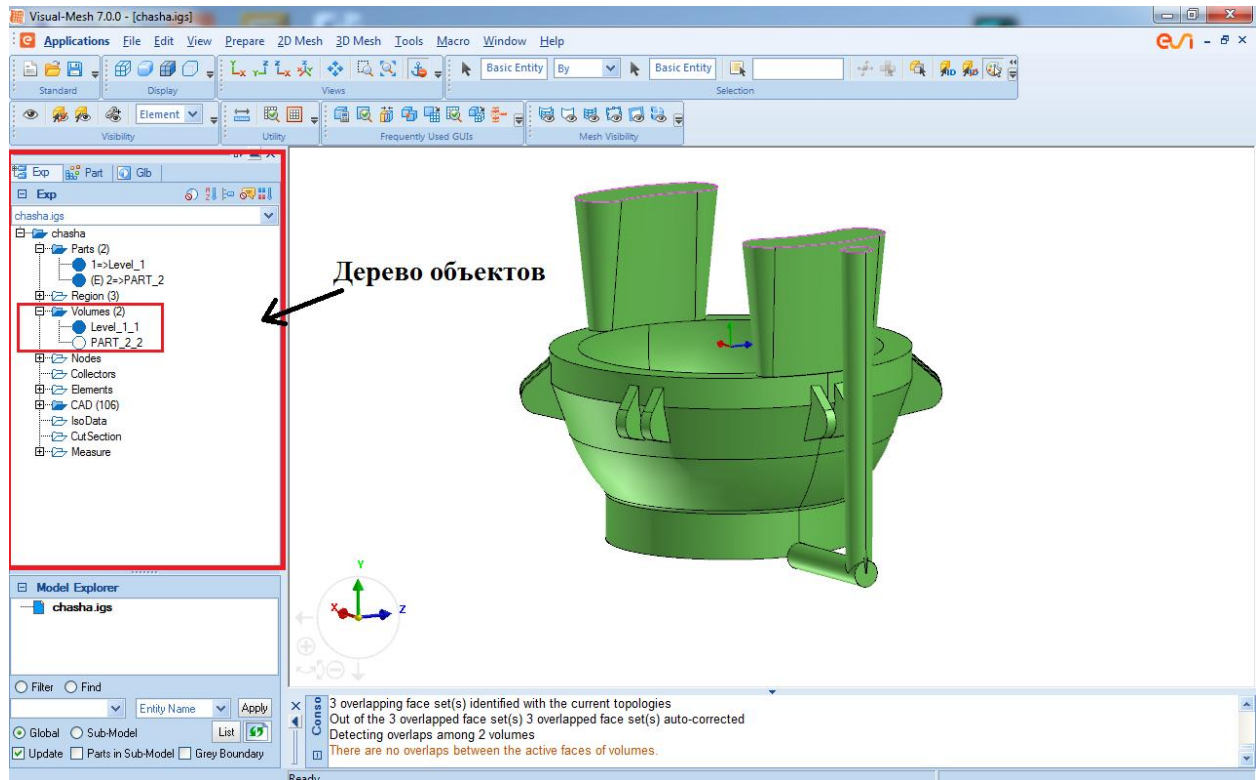
- Синий цвет линий означает, что контур ограниченный этими линиями замкнут.
- Для корректировки всех границ одновременно можно щелкнуть **Auto Correct All**. Для исправления отдельных границ, используйте кнопку **Next** и **Auto Correct** для каждого случая.
- Щелкните **Auto Correct All**.
- Щелкните на иконку .
- Еще раз нажмите **Check** для проверки границ.



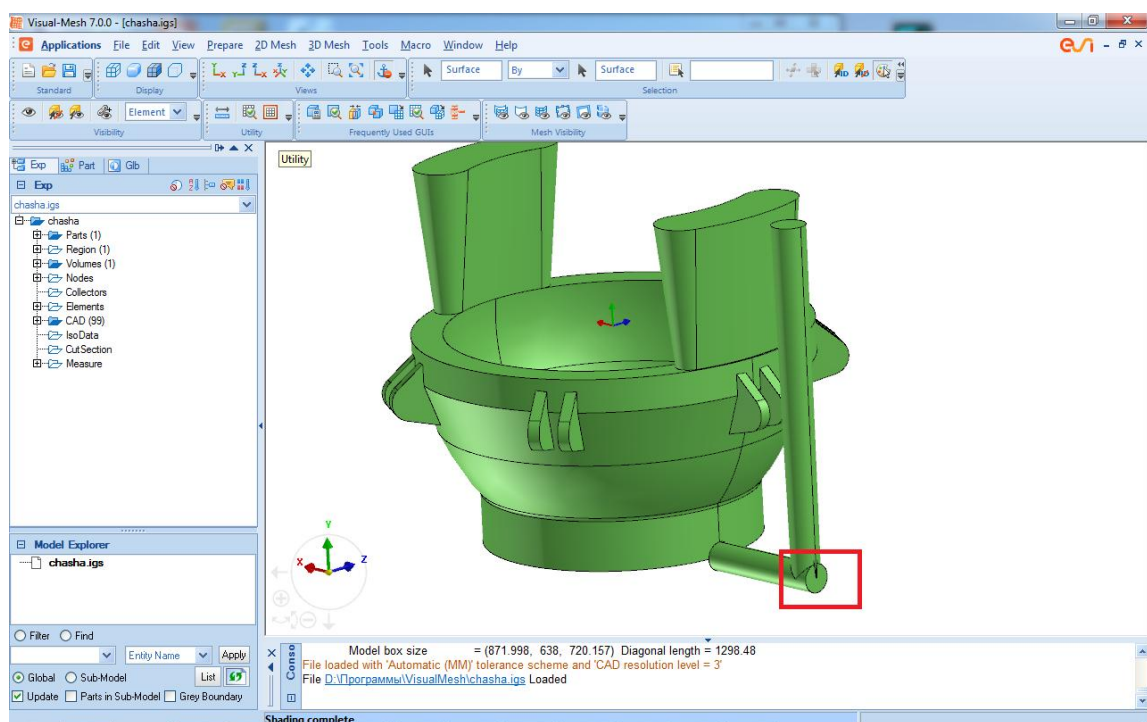
- Закройте окно.

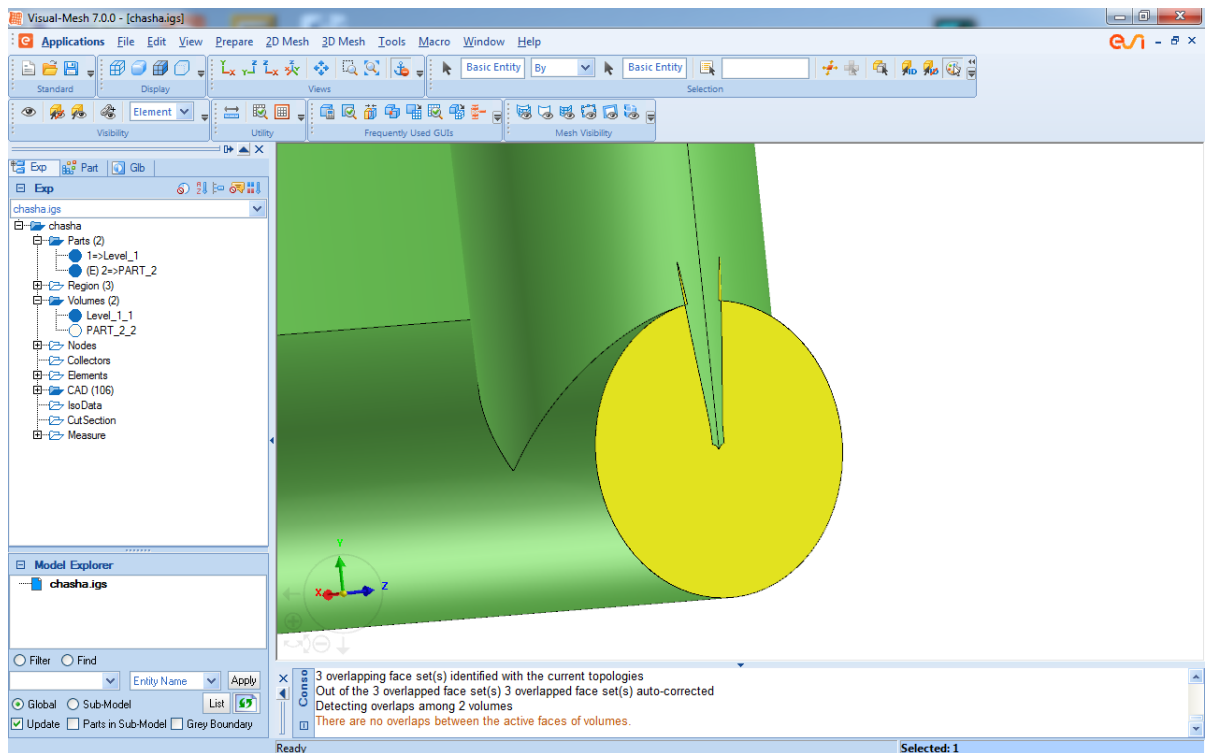
2.4. ИСПРАВЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ

- Оставьте для отображения только отливку. Для этого в дереве объектов выберите раздел **Chasha/Volumes(2)**, и щелкните на круглый значок рядом с именем PART_2_2.

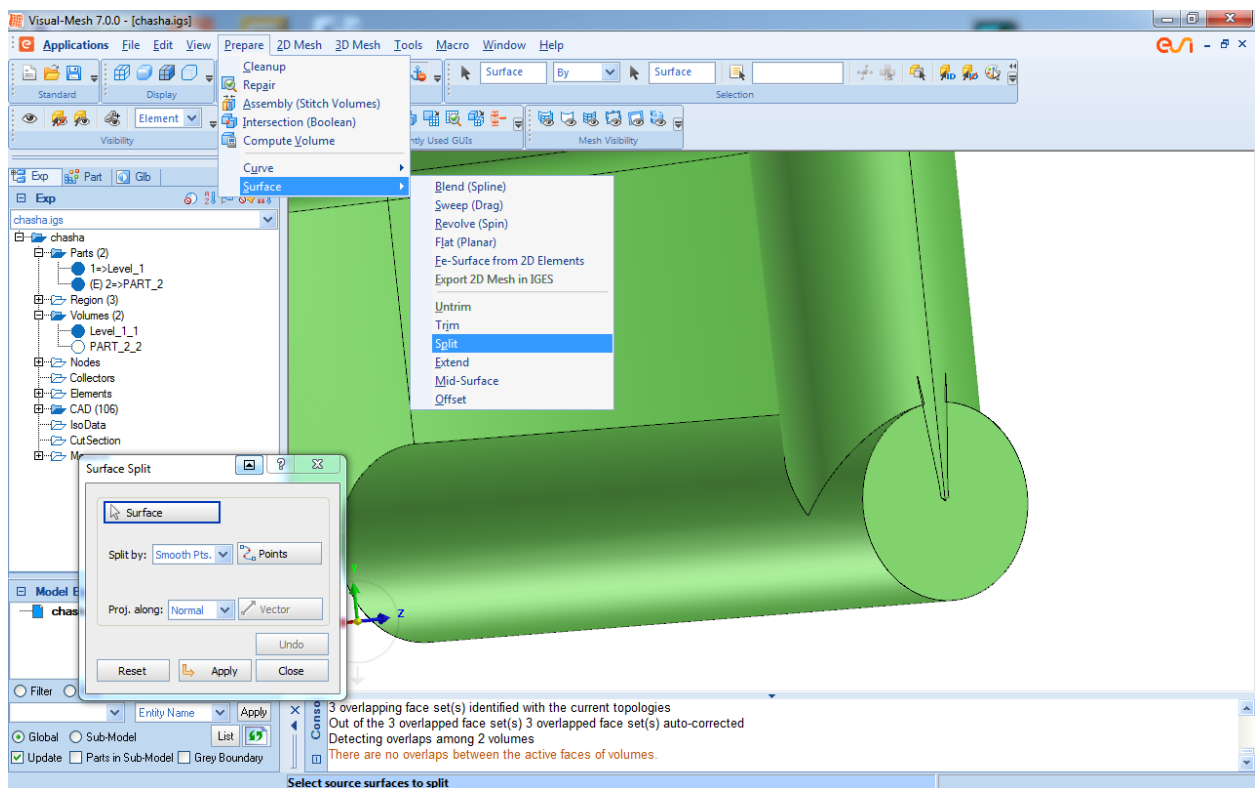


В данном примере необходимо исправить следующий некорректный участок геометрии:




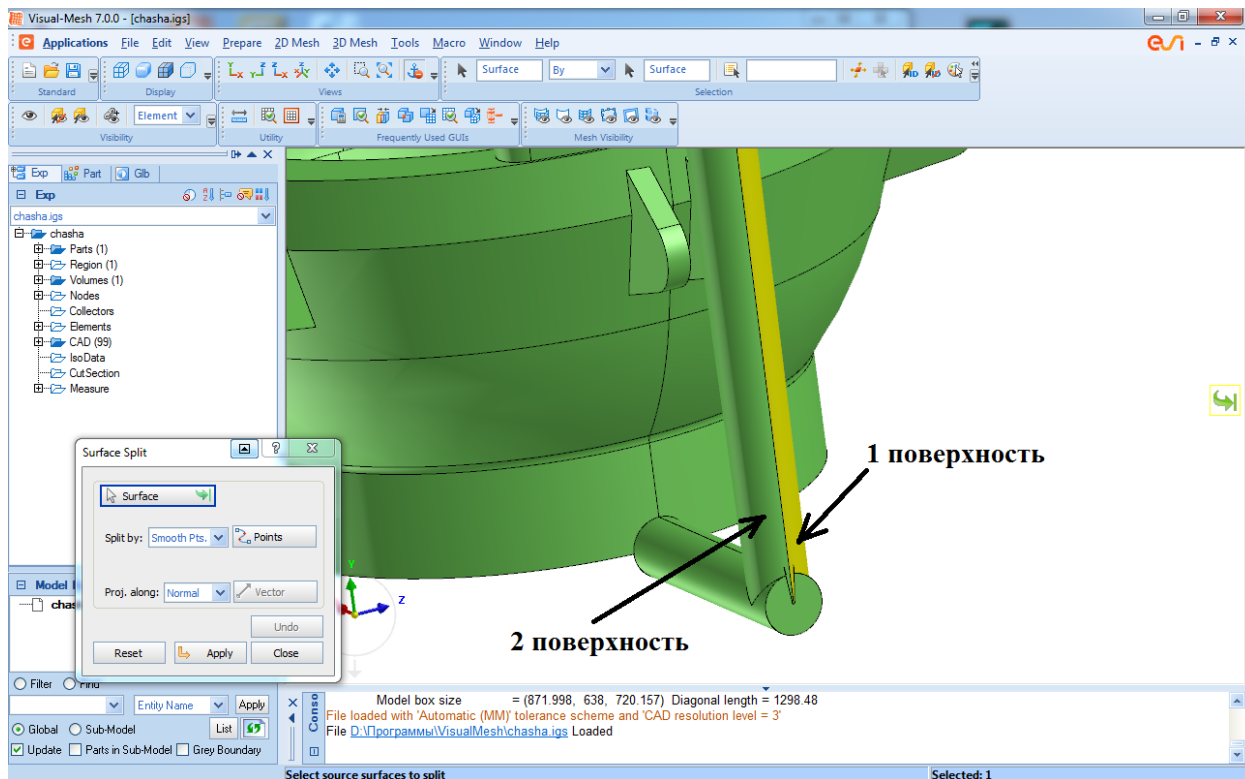


– Выберите пункт меню **Prepare/Surface/Split**.

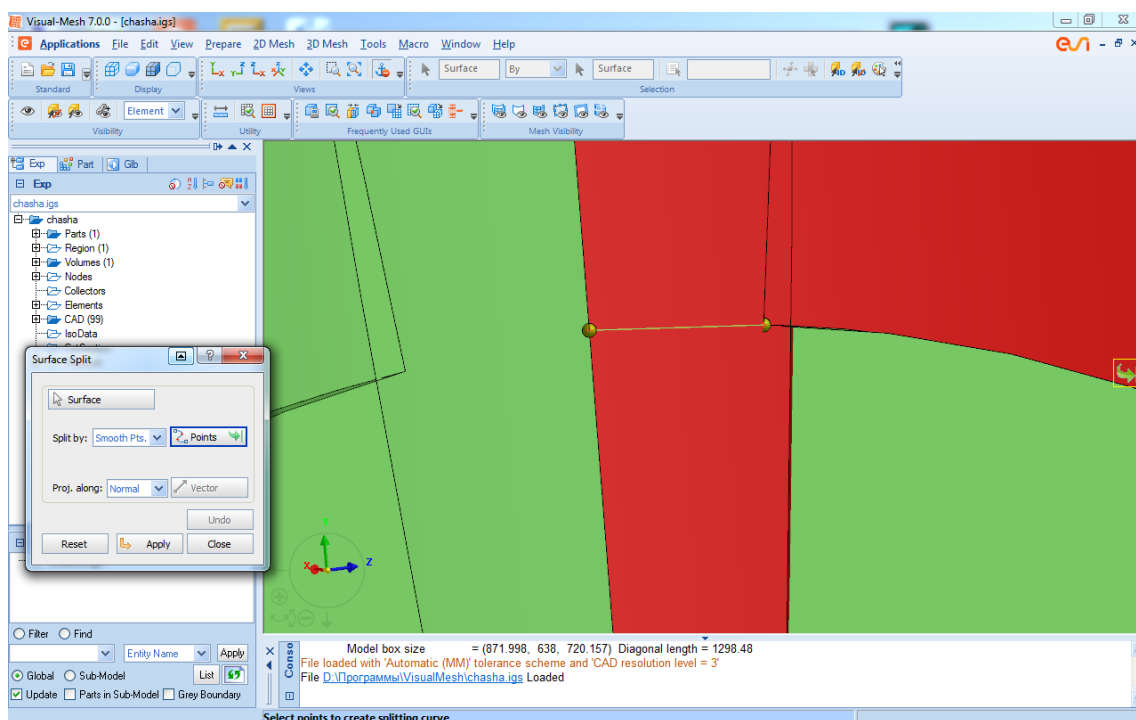


- Щелкните на первую поверхность и подтвердите выбор (щелчок средней кнопки

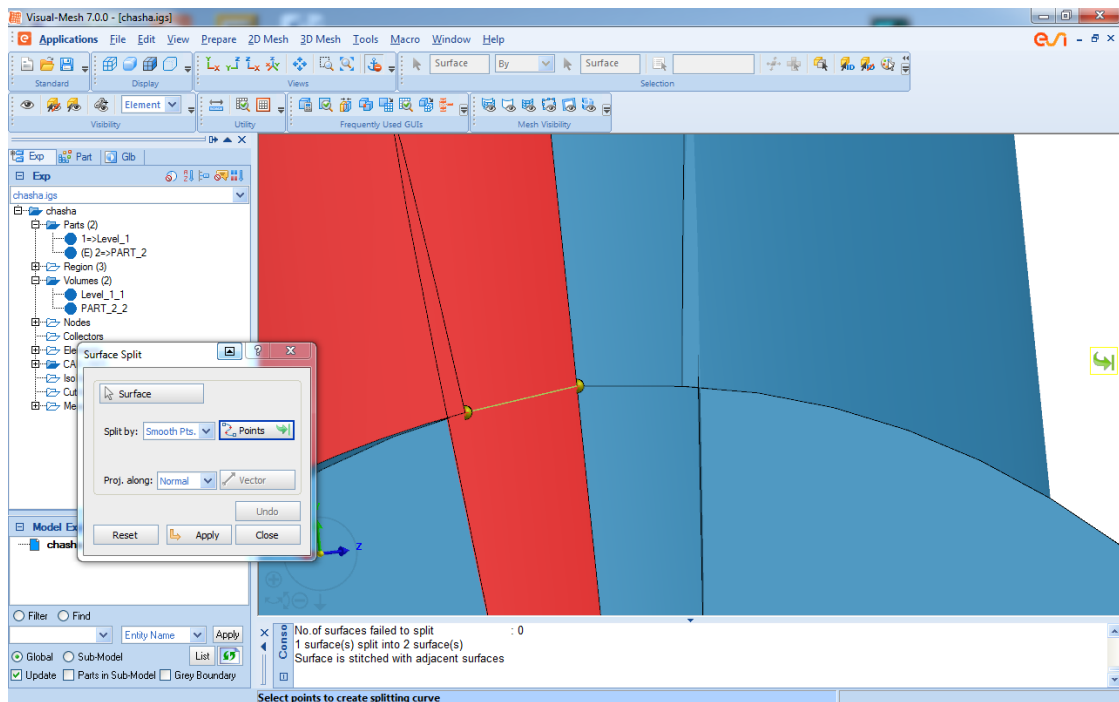
мыши или нажатие на иконку ).



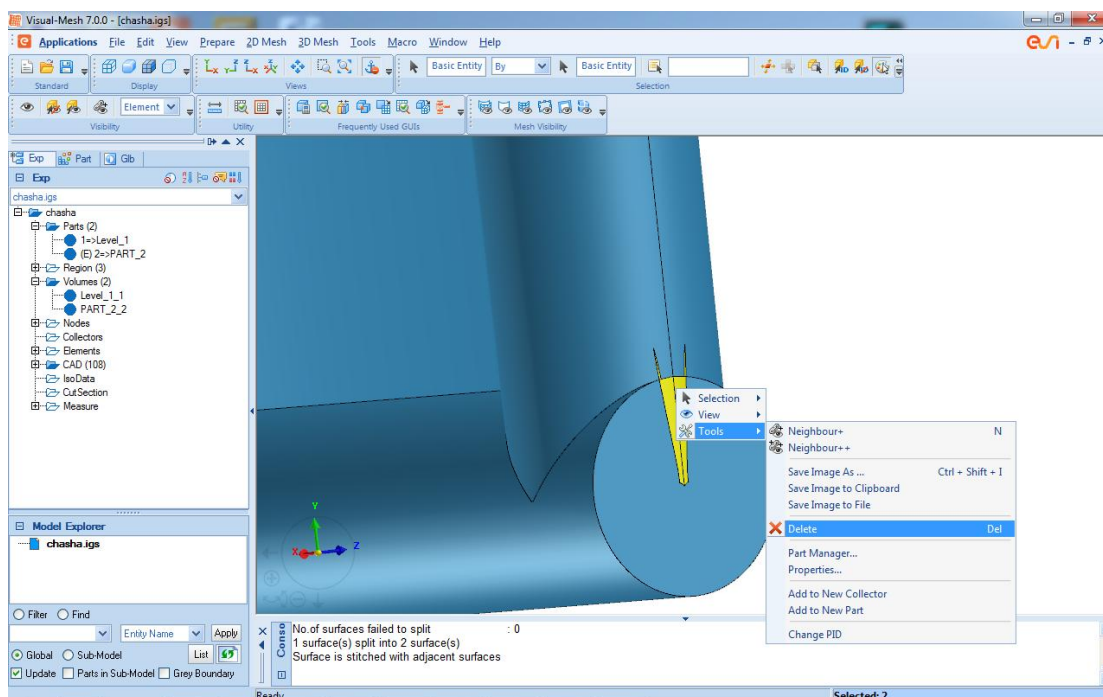
- Щелкните на две точки для определения линии, по которой поверхность будет разделена (см. рис. ниже).



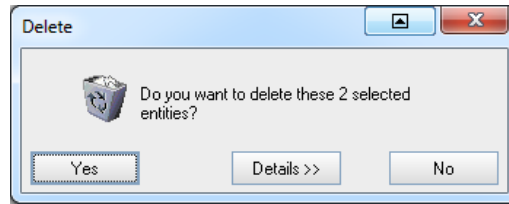
- Подтвердите выбор.
- Нажмите **Apply**.
- Щелкните на вторую поверхность и подтвердите выбор.
- Задайте линию разделения поверхности с помощью 2 точек, как показано ниже. Подтвердите выбор.



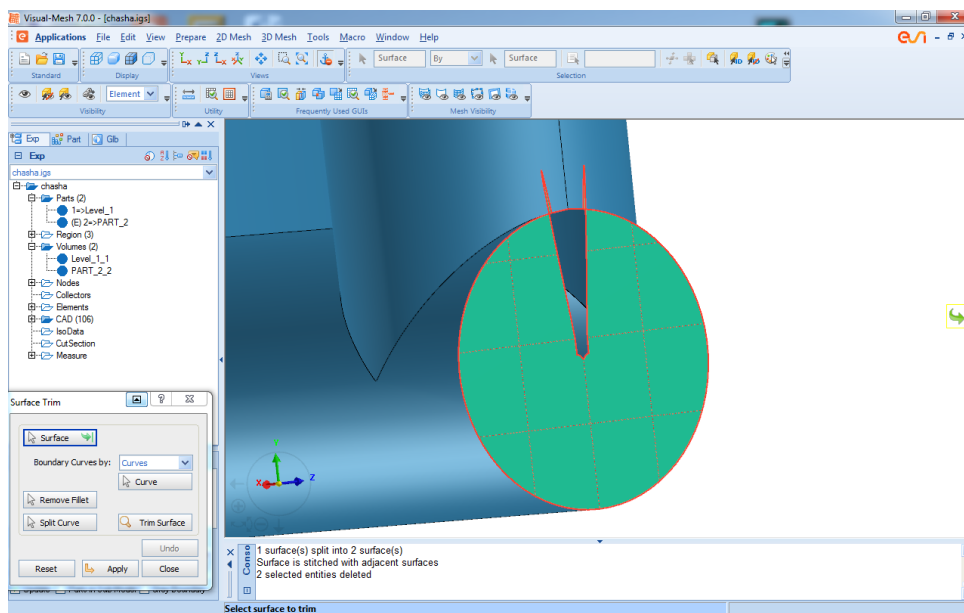
- Нажмите **Apply** и **Close**.
- Удалите ненужные поверхности. Выделите две вновь созданные поверхности. Щелкните правой кнопкой мыши и выберите **Tools/Delete**.



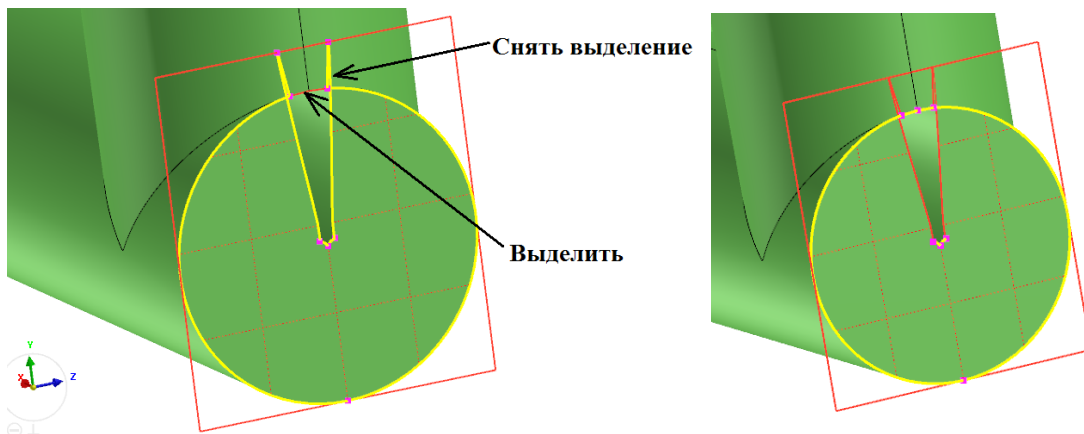
- Появится сообщение, спрашивающее действительно ли необходимо удалить объект. Нажмите **Yes**.



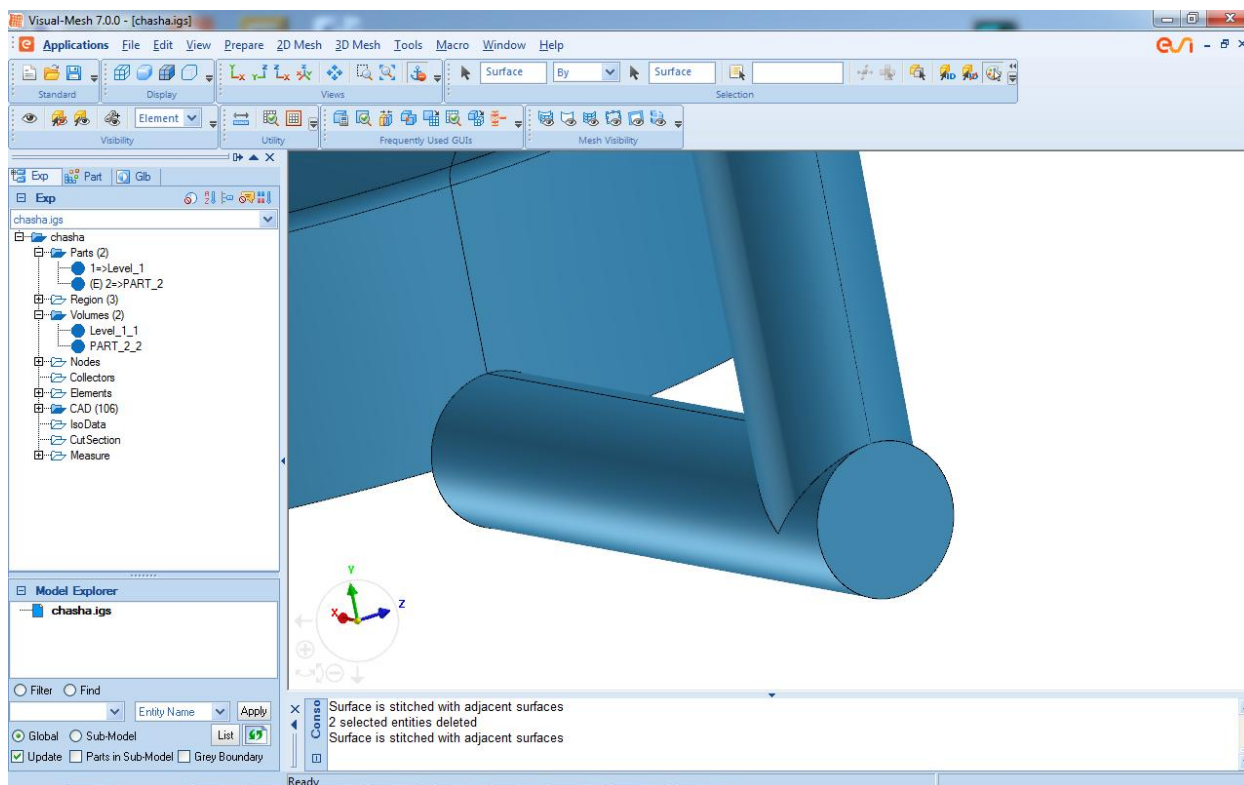
- Выберите пункт меню **Prepare/Surface/Trim**.
- Щелкните на поверхность, границы которой необходимо скорректировать (см. рис. ниже).




- Подтвердите выбор. Удерживая клавишу **<Shift>**, снимите выделение с линий, ограничивающих только что удаленные поверхности. Выделите две кривые, завершающие окружность.
- Щелкните средней кнопкой мыши.

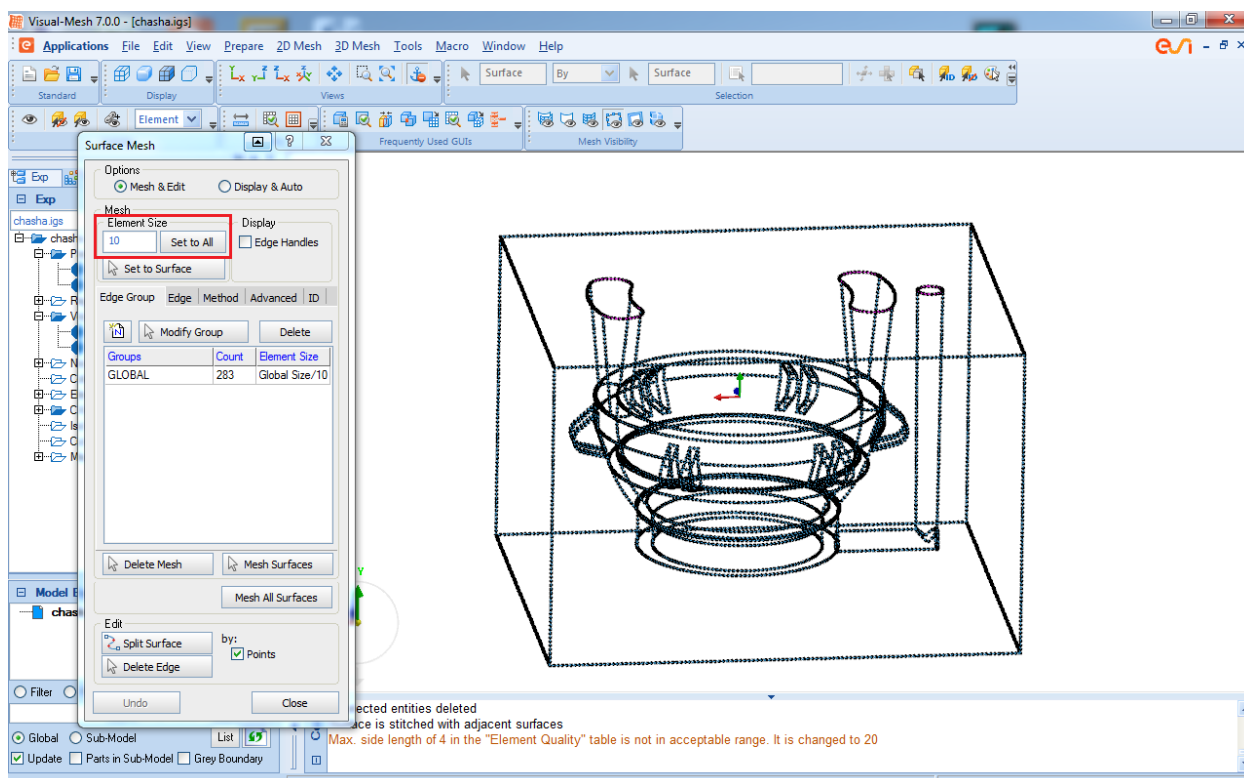


- Подтвердите выбор.
- Нажмите **Apply** и закройте окно.




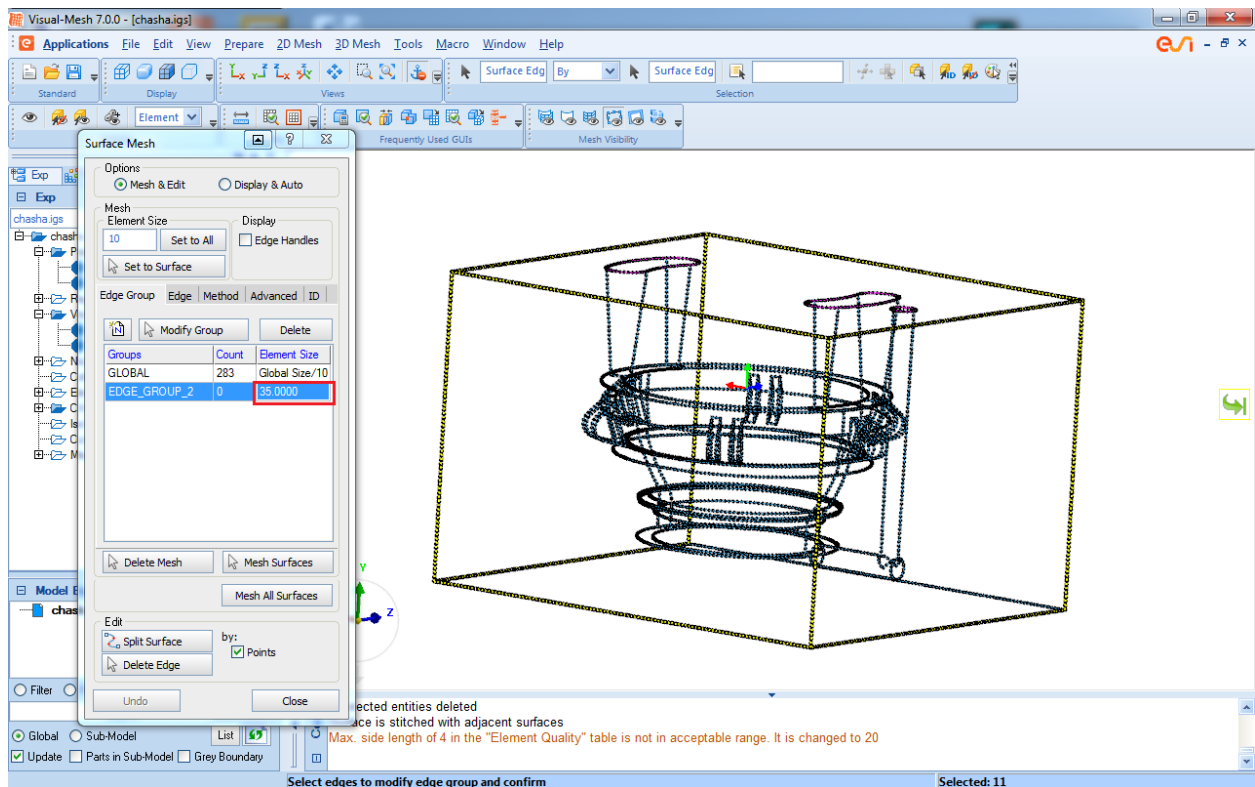
2.5. СОЗДАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ СЕТКИ

- Включите отображение формы через дерево объектов. Щелкните на иконку .
- Выберите пункт меню **2D Mesh/Surface Mesh**.
- В окне **Surface Mesh** введите в поле **Element Size** значение размера ячейки сетки = 10 для всей модели.

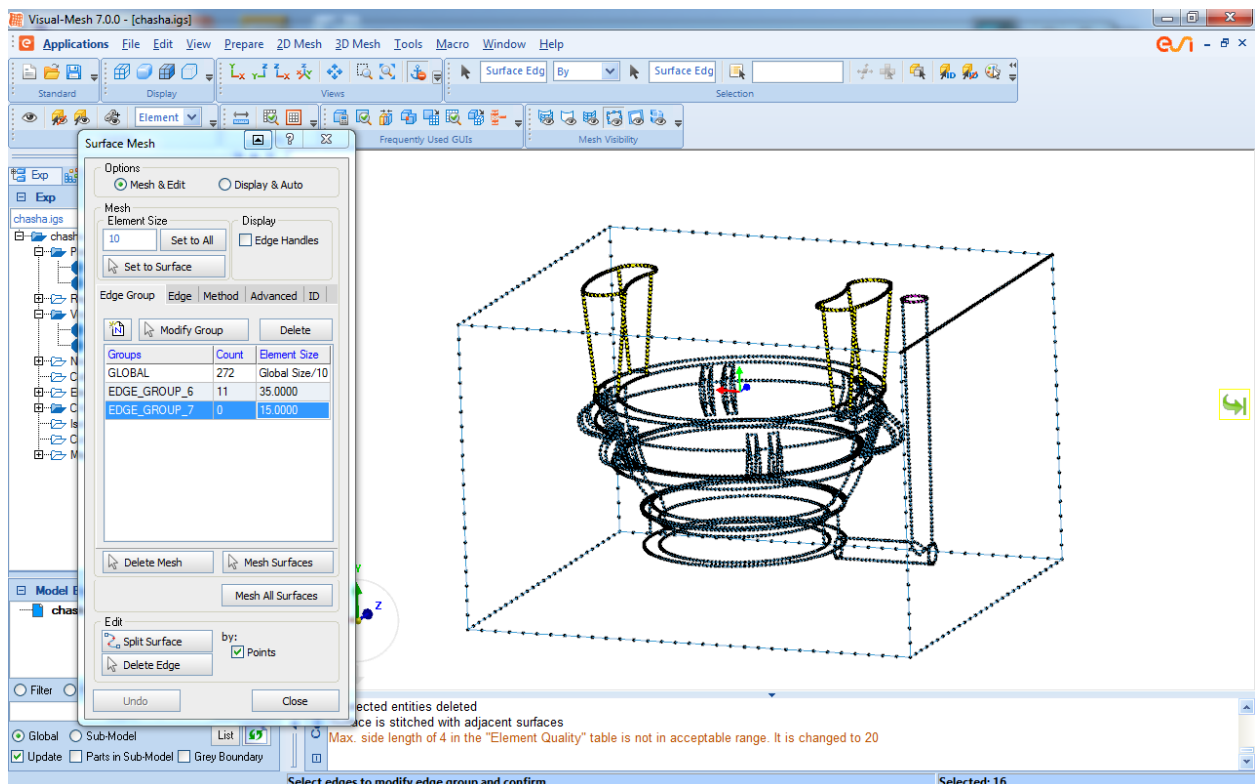


Для локального изменения размера ячейки нужно создать новый набор линий и установить для него определенное значение.

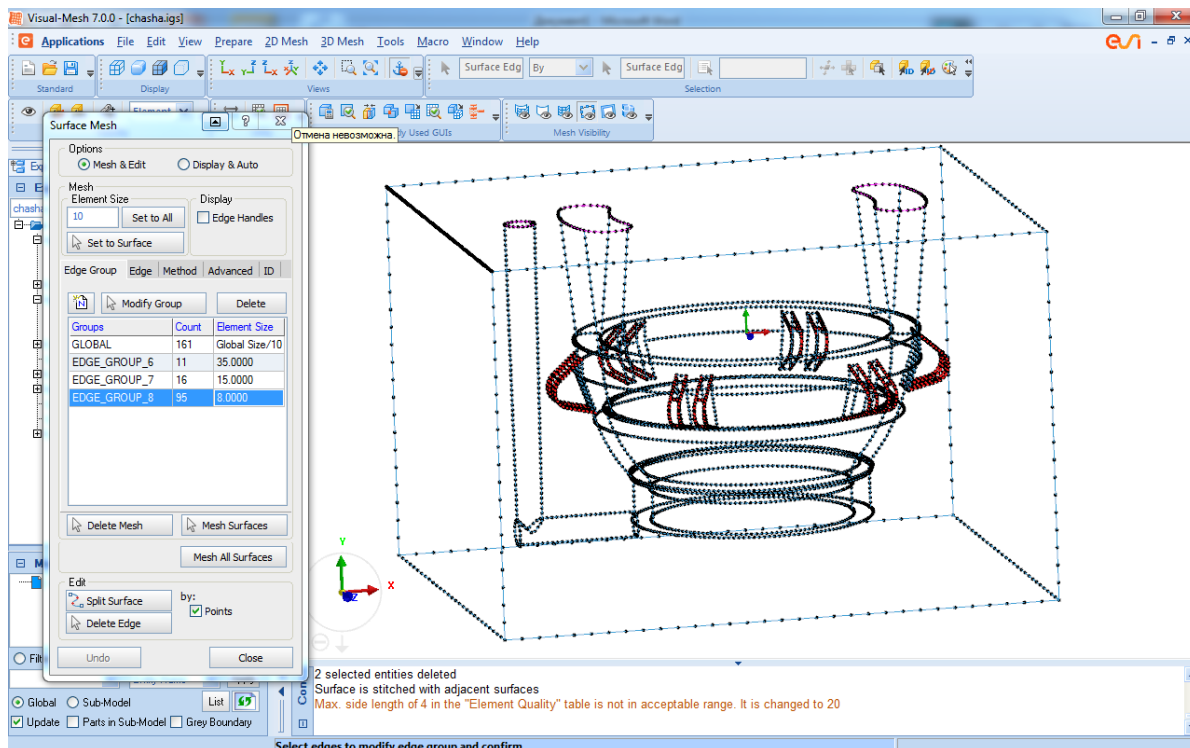
- Определите размер ячейки для формы.
 - Щелкните на иконку . Ниже в таблице появится новая строка (выделенная синим цветом).
 - Выделите форму и подтвердите выбор.
 - Введите в столбце **Element Size** в строке значение 35. Нажмите клавишу **<Enter>**.



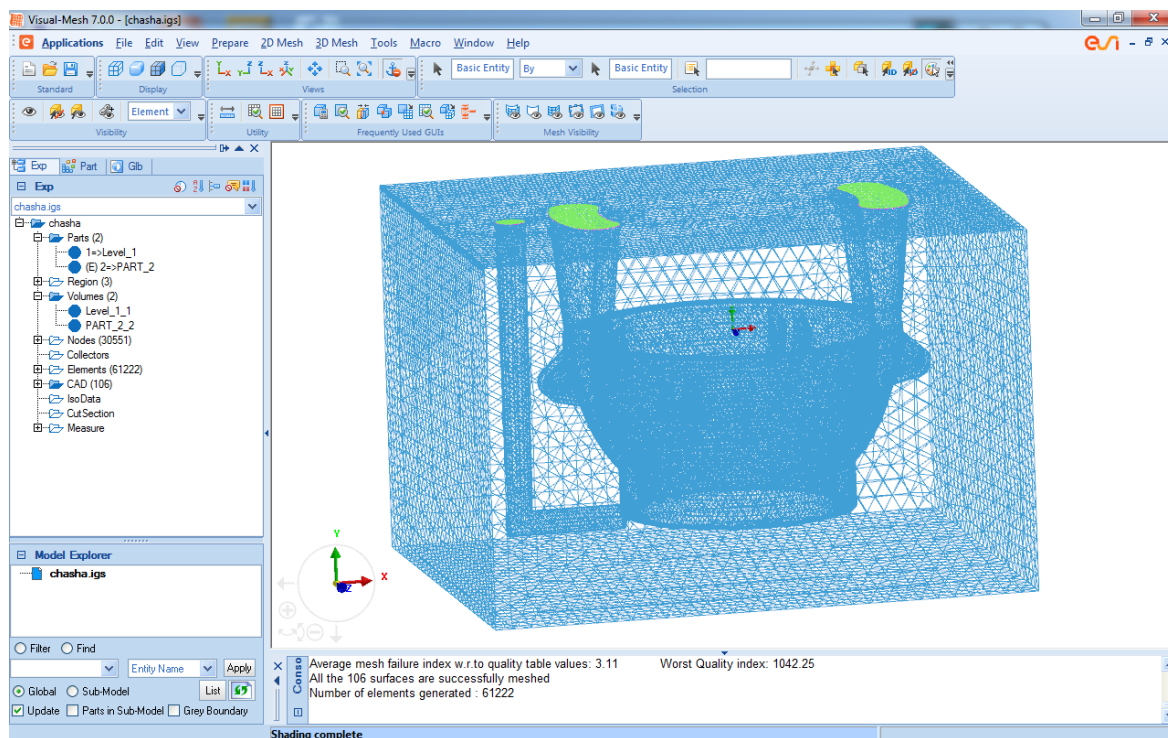
- Установите для прибыли размер ячейки сетки = 15.
 - Добавьте новую строку в таблицу, установите в последнем столбце значение 15 и нажмите <Enter>.
 - Выделите прибыль и подтвердите выбор.



- Установите размер ячеек сетки для боковых ушек = 8 мм.
 - Создайте еще одну строку в таблице, соответствующую новому набору линий. Измените значение размера сетки на 8.
 - Выделите боковые ушки и подтвердите выбор.




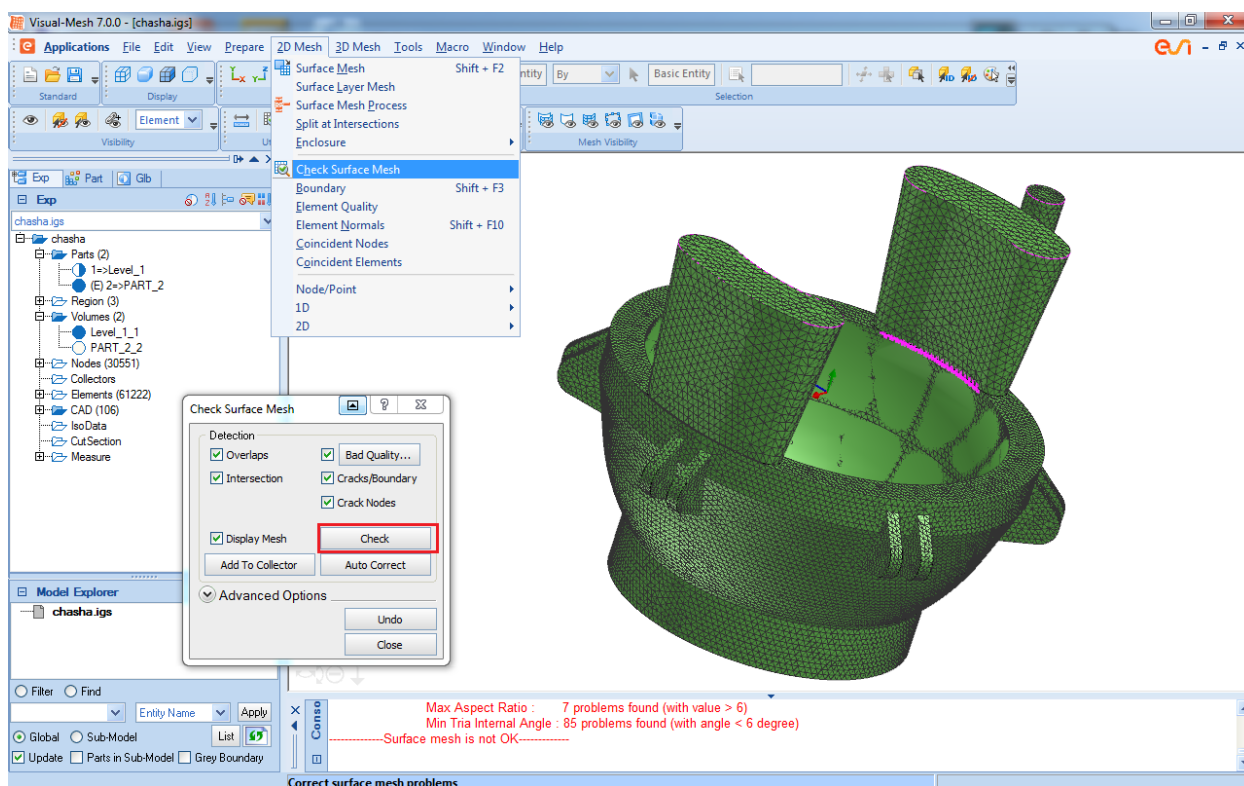
- Щелкните на кнопку **Mesh All Surface** для создания поверхностной сетки.



- В окне вывода сообщений (Console) появится сообщение **All the 106 surfaces are successfully meshed**. Оно означает, что сетка была построена на всех поверхностях модели.

2.6. ПРОВЕРКА КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОЙ СЕТКИ

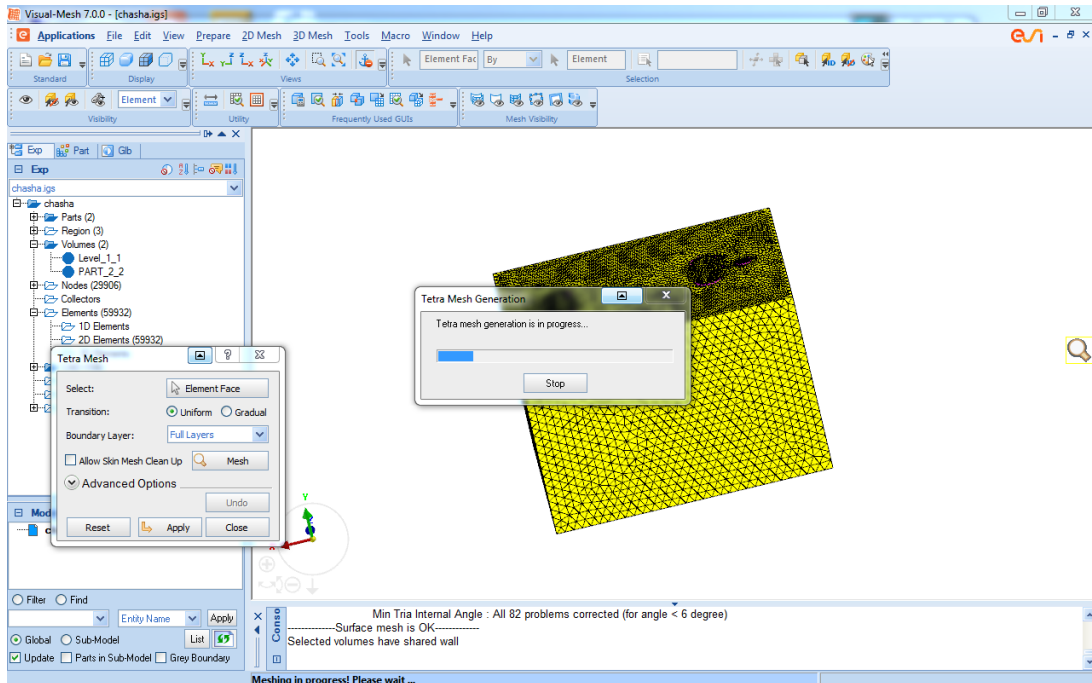
- Щелкните на иконку  (Flat and Wireframe).
- Оставьте на экране только отливку.
- Выберите пункт меню **2D Mesh/Check surface mesh**.
- Появится окно **Check Surface Mesh**. Проверьте, что галочки стоят напротив всех опций, отвечающих за обнаружение дефектов.
- Для проверки качества сетки нажмите **Check**.



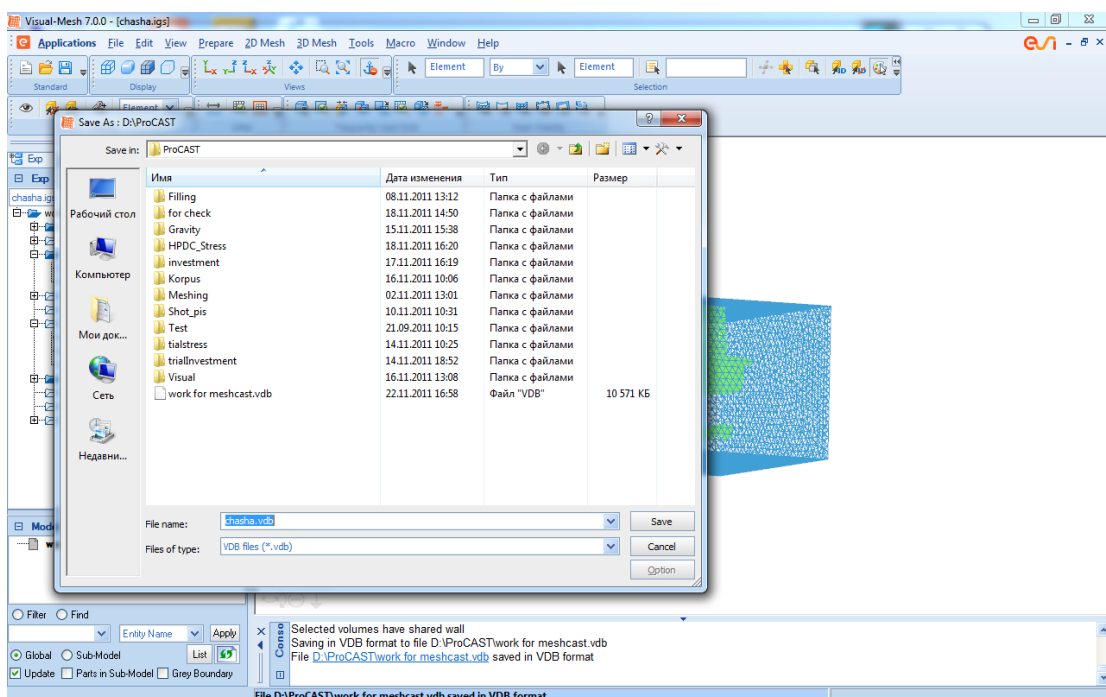
- Розовым цветом показаны области, где имеются пересечения и плохие элементы сетки (острые треугольники).
- Для исправления ошибок сетки нажмите на кнопку **Auto Correct**.
- Включите отображение сетки формы.
- Закройте окно.

2.7. СОЗДАНИЕ ОБЪЕМНОЙ СЕТКИ

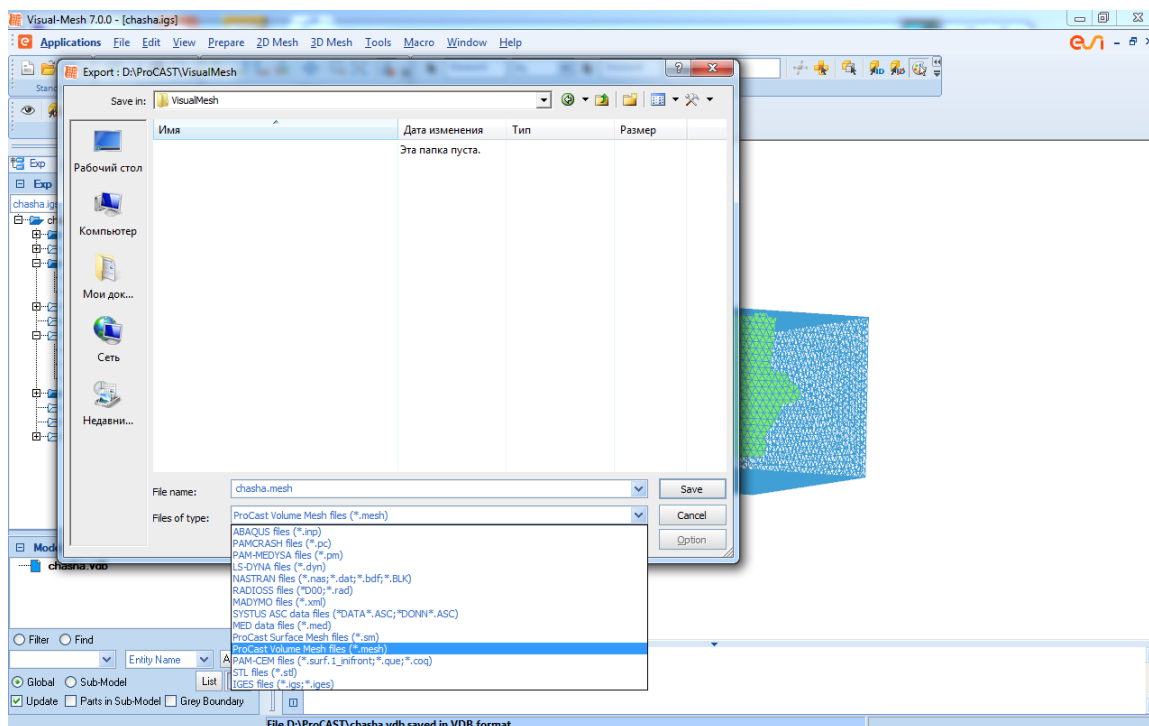
- Выберите пункт меню **3D Mesh/Volume Mesh**. Выделите всю модель, используя сочетание клавиш **<Ctrl+A>**.
- Подтвердите выбор.
- Щелкните на кнопку **Mesh** для создания сетки.



- После завершения построения сетки подтвердите операцию и закройте окно **Tetra Mesh**.
- Сохраните проект, используя пункт меню **File/Save**.



- Экпортируйте файл, используя формат *.mesh для дальнейшей работы в ProCAST.
 - Выберите пункт меню **File/Export**.
 - Выберите папку.
 - В строке **Files of type** выберите **ProCAST Volume Mesh files (*.mesh)**.
 - Нажмите **Save**.



ПРИМЕРЫ ПОДГОТОВКИ РАСЧЕТОВ (PROCAST)

1. ЛИТЬЕ СО СВОБОДНОЙ ЗАЛИВКОЙ (ГРАВИТАЦИОННОЕ ЛИТЬЕ)

1.1 РАСЧЕТ С РЕАЛЬНОЙ ФОРМОЙ

В данной задаче будут использоваться следующие характеристики.

Время заполнения: 9 с.

Процент заполнения формы: 95% формы.

Температура заливки: 1580 °C.


Для работы с задачей предлагаются следующие файлы:

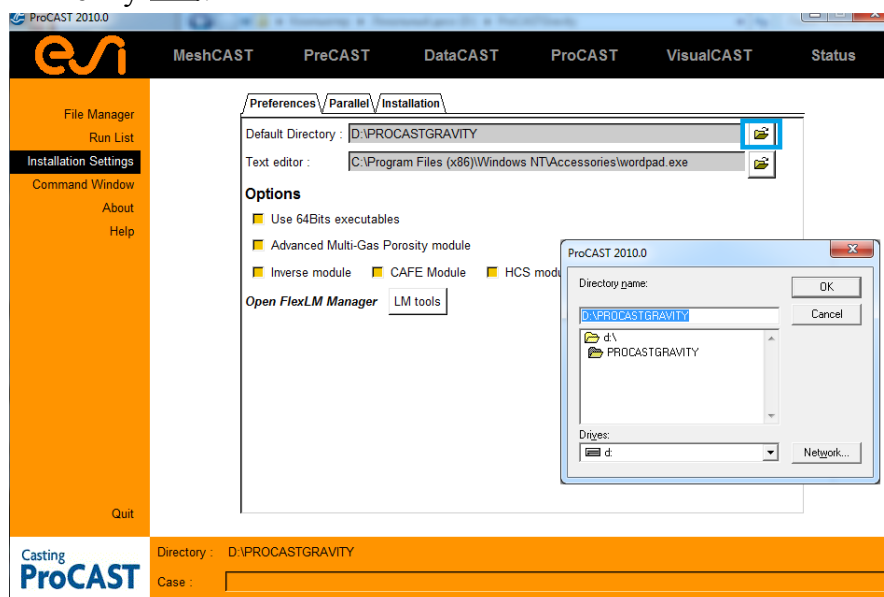
GS_Gravity_.mesh: 3D объемная конечно-элементная сетка модели.

GS_Gravity_.d.dat: Файл с готовыми данными.

GS_Gravity_.p.dat: Файл с готовыми расчетными параметрами.

1.1.1. Запуск нового проекта

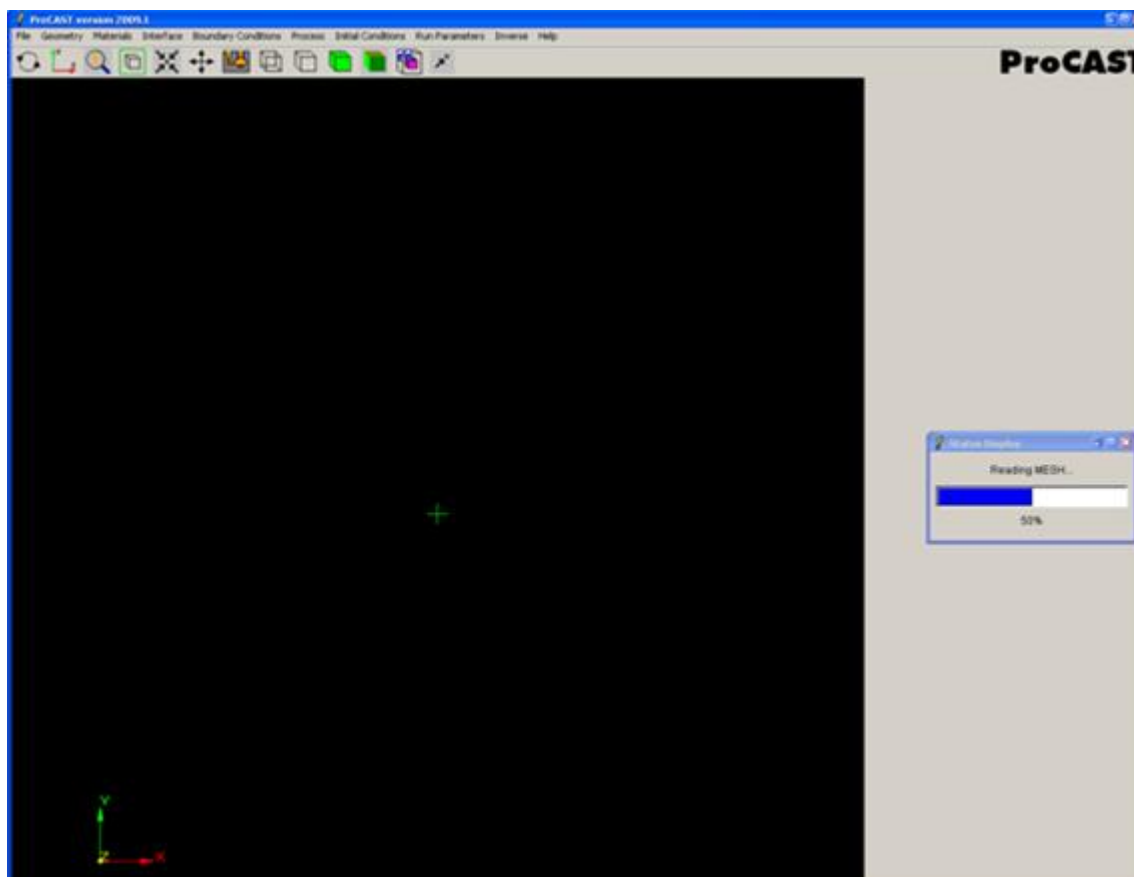
- Скопируйте файл GS_Gravity_mesh из директории ProCASTtrainings/Gravity в новую папку. Рекомендуется создавать отдельную папку для каждого нового проекта.
- Запустите ProCAST. Щелкните **Installation Setting** и укажите в строке **Default Directory** нужную папку, в которой будут располагаться ваши расчеты, нажав на кнопку .

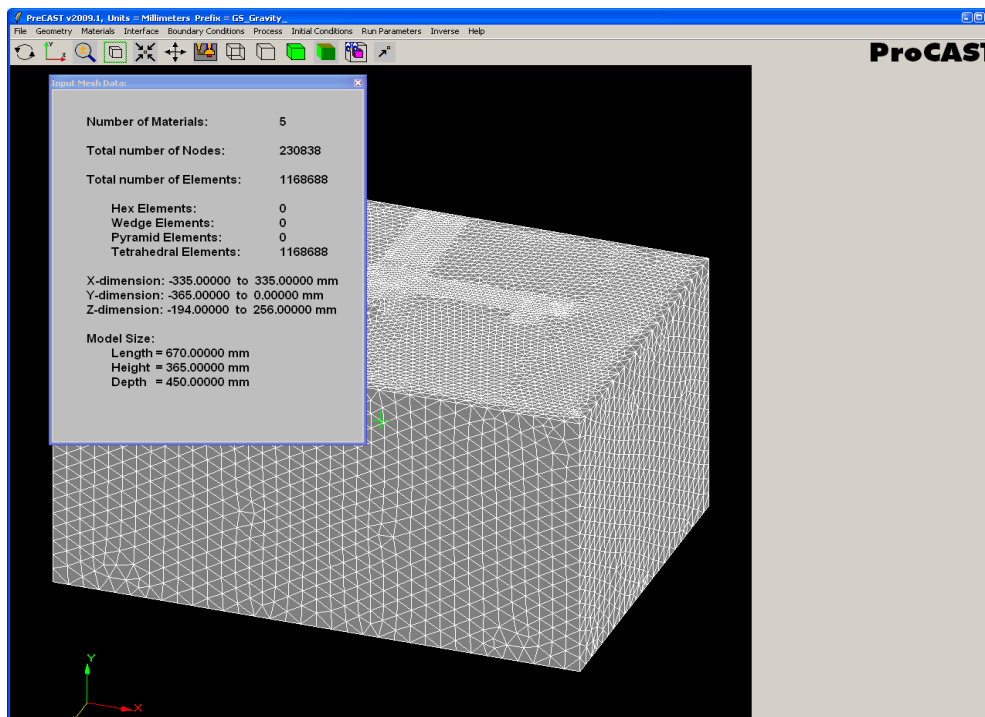


– Вернитесь в файловый менеджер (File Manager) и запустите **PreCAST**.



Из выбранного файла будет автоматически загружена сетка, а также появится окно с параметрами, описывающими сетку.

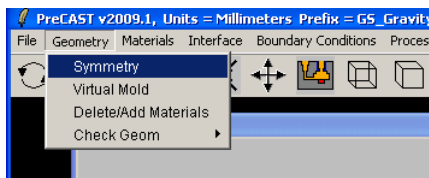




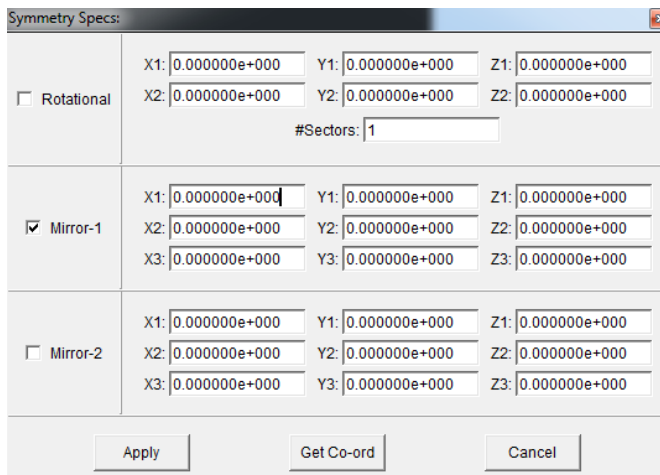
- Закройте окно с параметрами.

1.1.2. Определение плоскости симметрии

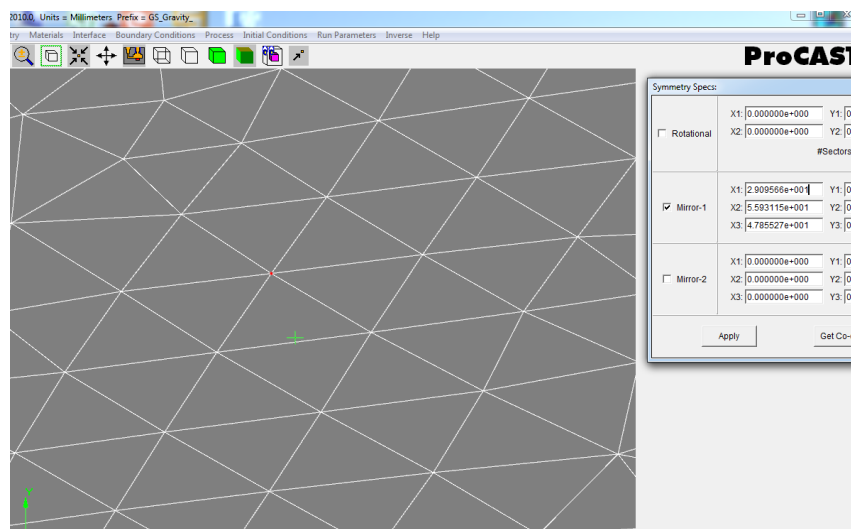
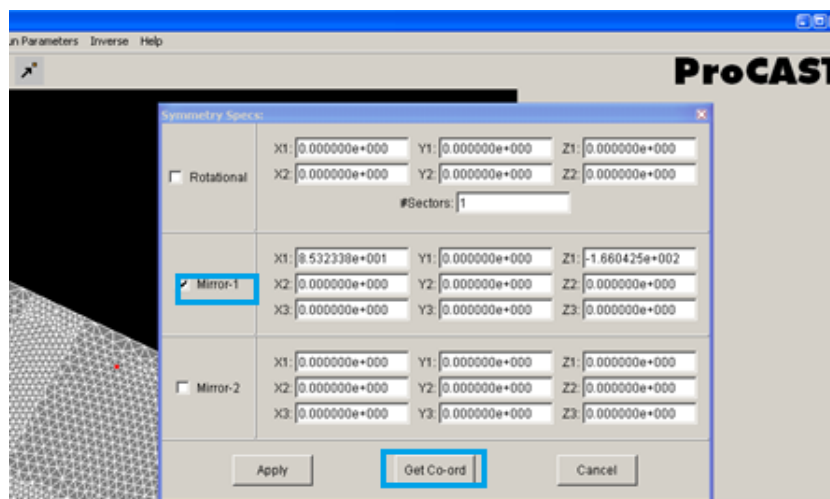
- Выберите пункт меню **Geometry /Symmetry**.



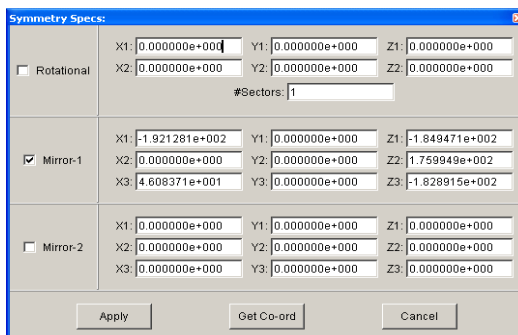
- Появится окно, где необходимо задать координаты узлов для построения плоскости симметрии.
- Поставьте галочку напротив **Mirror-1** и щелкните мышкой в поле **X1**.



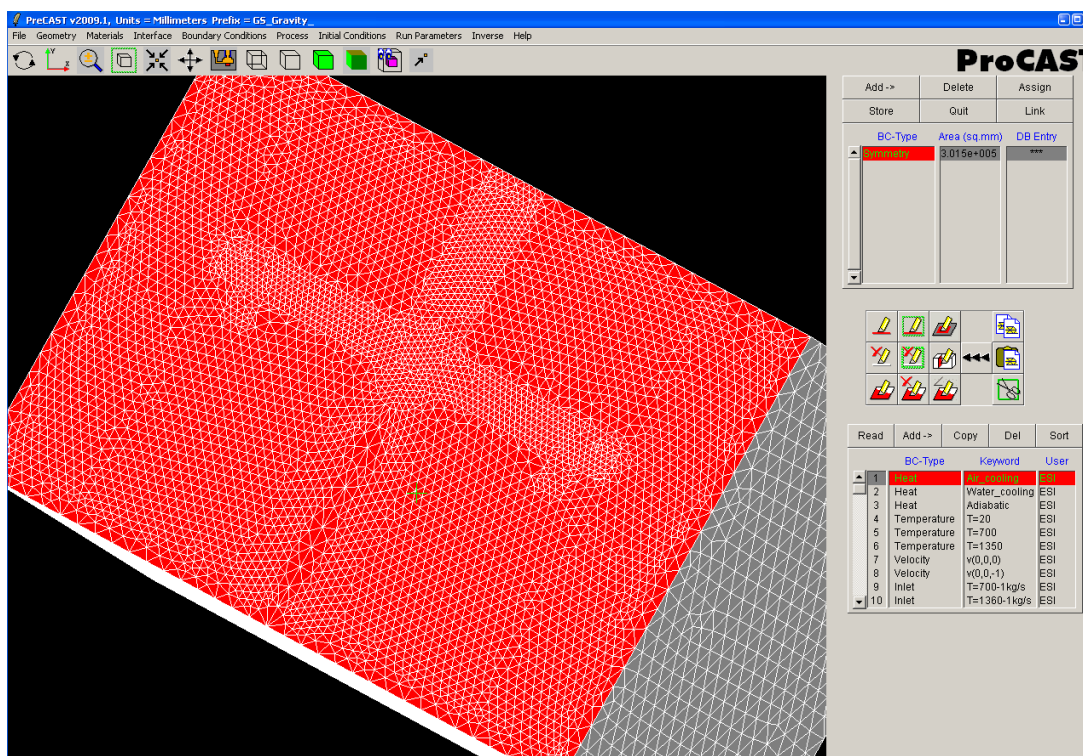
- Нажмите **Get Co-ord** и выделите любой узел, лежащий на поверхности, где должна проходить плоскость симметрии.
Для того чтобы выделить узел, приблизьте поверхность, на которой должна строиться плоскость симметрии. Подведите курсор близко к узлу и щелкните левой кнопкой мыши. Убедитесь, что выделился нужный вам узел.



- В первой строке появятся координаты данного узла.
- Укажите таким же образом координаты еще 2 узлов, лежащих на той же поверхности. В результате, все три строки должны быть заполнены координатами.

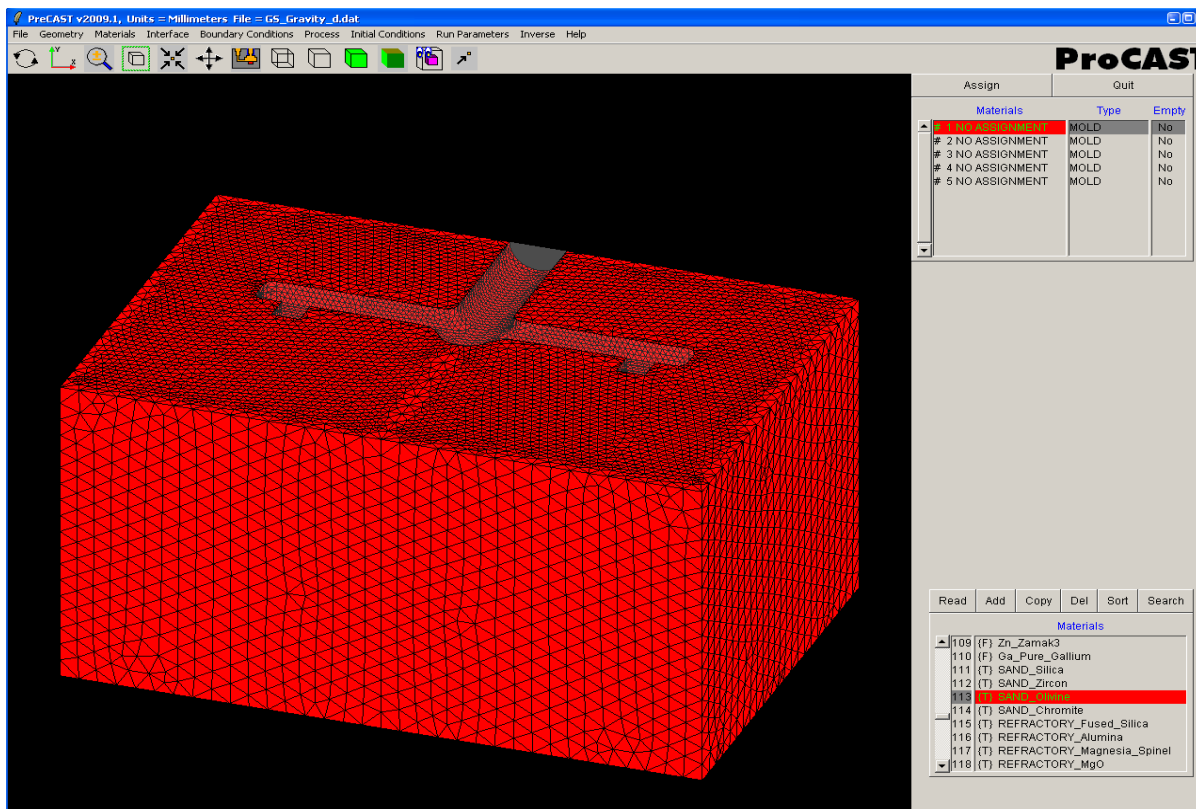


- Щелкните **Apply**.
- Выберите пункт меню **Boundary Conditions/Assigned Surface** в главном меню.
- На открывшейся панели щелкните **Symmetry** в столбце **BC-Type**. В результате красным цветом будет выделена плоскость симметрии.

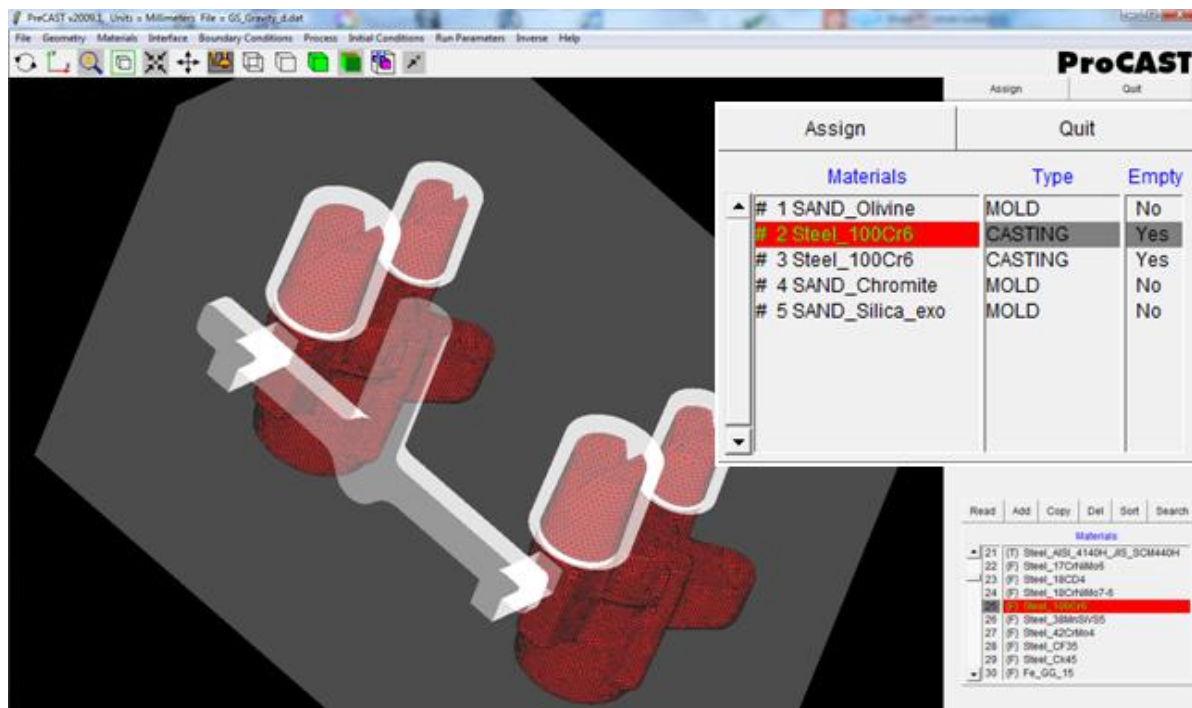


1.1.3. Задание материалов

- Выберите пункт меню **Materials/Assign**.
- Откроется новая панель, где имеются две таблицы. Верхняя таблица содержит перечень доменов модели, для которых задается материал. В нижней таблице представлена база данных материалов.
- Щелкните на первую строку в столбце **Materials**, будет выделена форма в модели.
- Выберите в нижней таблице материал **SAND_Olivine** и нажмите на кнопку **Assign**.
- В столбце **Type** выберите тип материала, **MOLD** (форма) или **CASTING** (отливка). В данном случае установите **MOLD**.
- В столбце **Empty** выберите **NO** для **MOLD** и **YES** для **CASTING**. Данная операция определяет, заполнен ли домен соответствующим материалом в начальный момент времени.

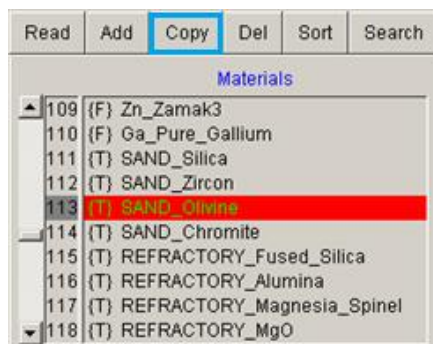


- Повторите выше описанные операции для определения материала остальных доменов. Пример заполнения таблицы приведен ниже.

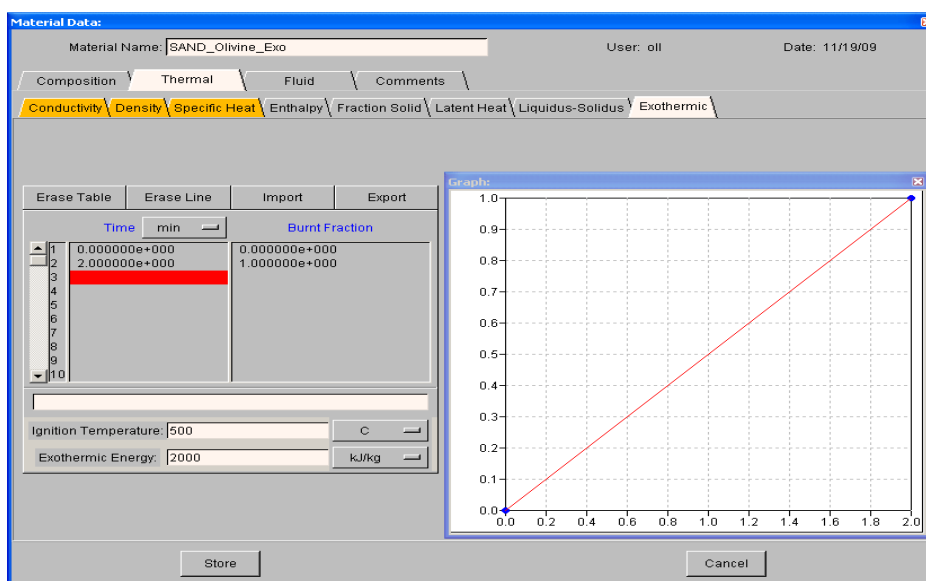


- Создайте новый материал в базе данных.
 - Для этого выберите в базе данных материал **Sand_Olivine**.

- Нажмите **Copy**.



- Появится новое окно. Измените имя на **Sand_Olivine_Exo**.
- Перейдите во вкладку **Exothermic**.
- Первая строка в первом столбце в таблице выделена красным. Введите в белой строке под таблицей значение 0. Нажмите **<Enter>**.
- Заполните остальные строки по примеру, показанному на рисунке.
- В поле **Ignition Temperature** (температура воспламенения) введите 500° C.
- В поле **Exothermic Energy** (энергия, выделяющаяся в виде тепла при экзотермической реакции) введите значение 2000 кДж/кг.



Введенные данные означают, что когда температура экзотермических прибылей достигнет 500° C, за 2 минуты горения выделится 2000 кДж/кг тепла.

Основным правилом при проверке экзотермических свойств является то, что время затвердевания в прибыли должно быть в два раза больше рассчитанного для обычных прибылей.

- Нажмите **Store**.

1.1.4. Выбор коэффициентов теплопередачи на границах раздела между материалами

- Щелкните **Interface** (границы раздела материалов).
- С правой стороны появятся два окна. В первом перечислены все возможные пары доменов и их характеристики.
- Для пары доменов «2 and 3» оставьте тип контакта **EQUIV**.
- Для всех остальных пар установите тип контакта **COINC**. Для того чтобы поменять тип контакта просто щелкайте левой кнопкой мыши по соответствующей строке. Узлы на границе раздела материалов будут продублированы для того, чтобы можно было задать коэффициент теплопередачи.

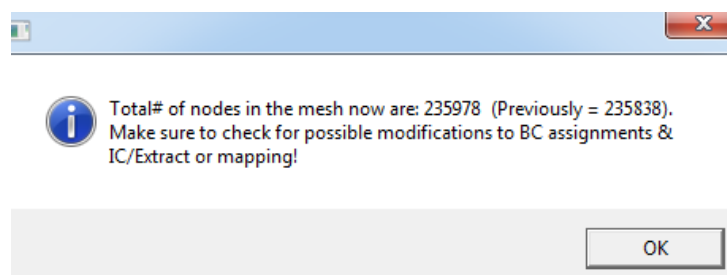
Примечание:

EQUIV – устанавливается для контакта типа отливка-отливка, т.е. никакого контакта вообще не подразумевается, теплового потока между телами нет. Коэффициент теплопередачи между телами не устанавливается. Собственно это единое тело, разделенное на домены с технической целью. В данном случае это контакт литниковой системы и отливок.

COINC - обычный контакт двух разных тел. Сетка сборки тел выполнена с совпадающими узлами. При таком варианте контактная поверхность определяется автоматически. MeshCAST строит сетку с совпадающими узлами, если использовать опцию в меню **File - Assemble**.

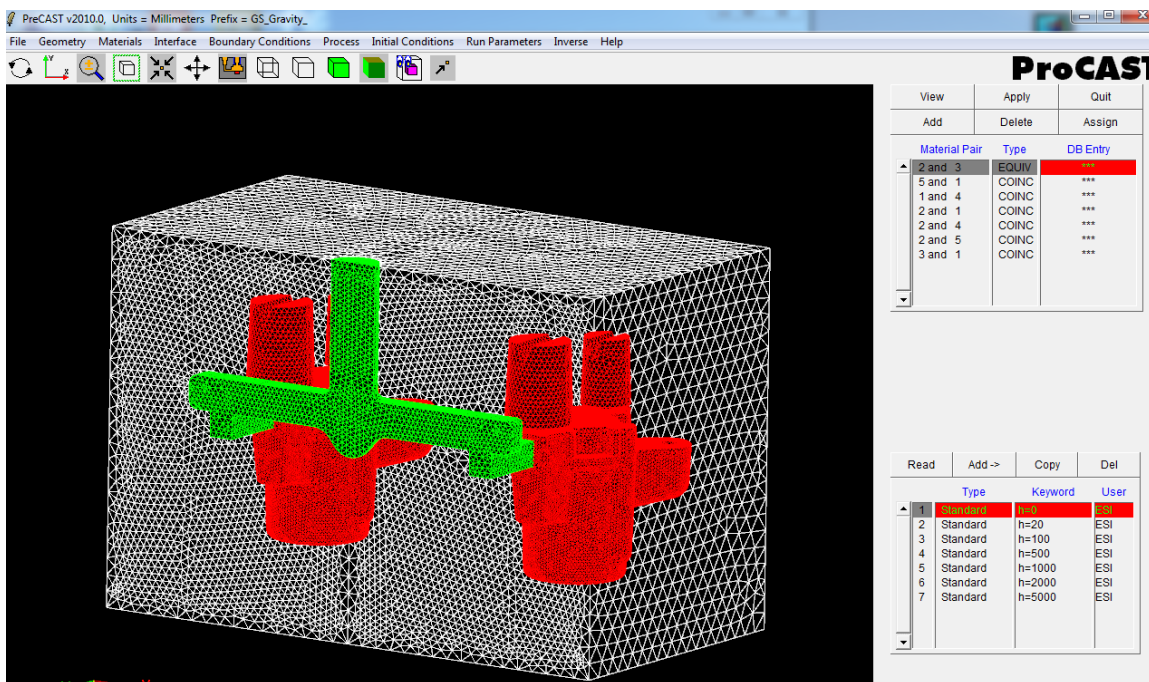
NCOINC - обычный контакт двух разных тел. Сетка сборки тел выполнена с несовпадающими узлами. Чтобы определить контактную поверхность в этом случае, необходимо ввести минимальное расстояние между телами.

- Щелкните **Apply**. Появится сообщение, которое предупреждает об увеличении количества узлов. Нажмите **OK**.




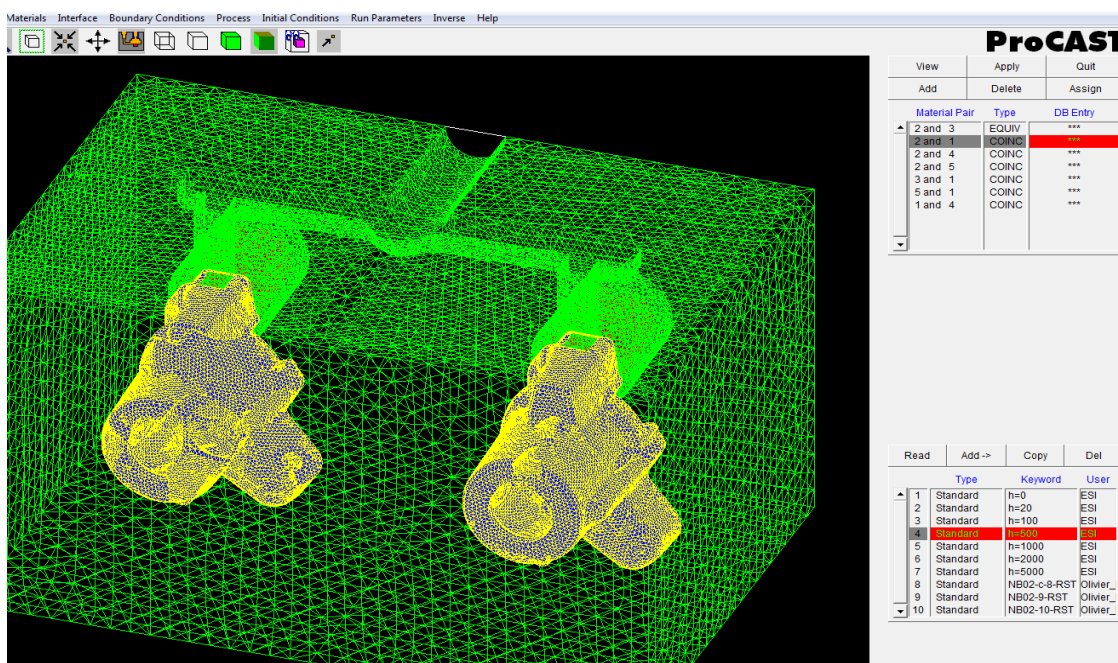
- Проверьте каждую пару доменов. Щелкните левой кнопкой мыши на любую строку в столбце **Material Pair**. На экране один домен выделится красным, другой зеленым цветом. Красным должны быть выделены области, соответствующие отливке, а зеленым остальные элементы модели. Если в каких-то случаях это не

так, значит, задана неверная последовательность в парах. Изменить ее можно, щелкнув правой кнопкой мыши по имени пары доменов.

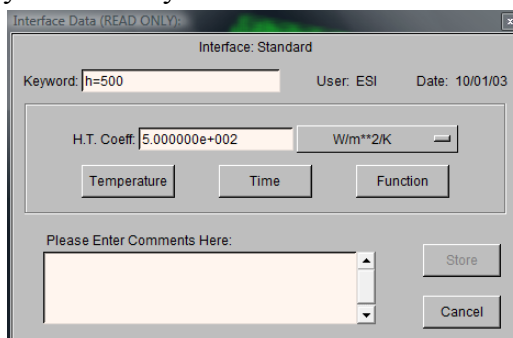


После определения типа контакта необходимо назначить соответствующие коэффициенты теплопередачи (только для COINC и NCOINC.)

- Нажмите на иконку  для отображения модели в каркасном виде.
- Щелкните на пару «2 and 1».
- Выберите «h=500» в базе данных в нижнем окне.
- Щелкните на кнопку **Assign**.



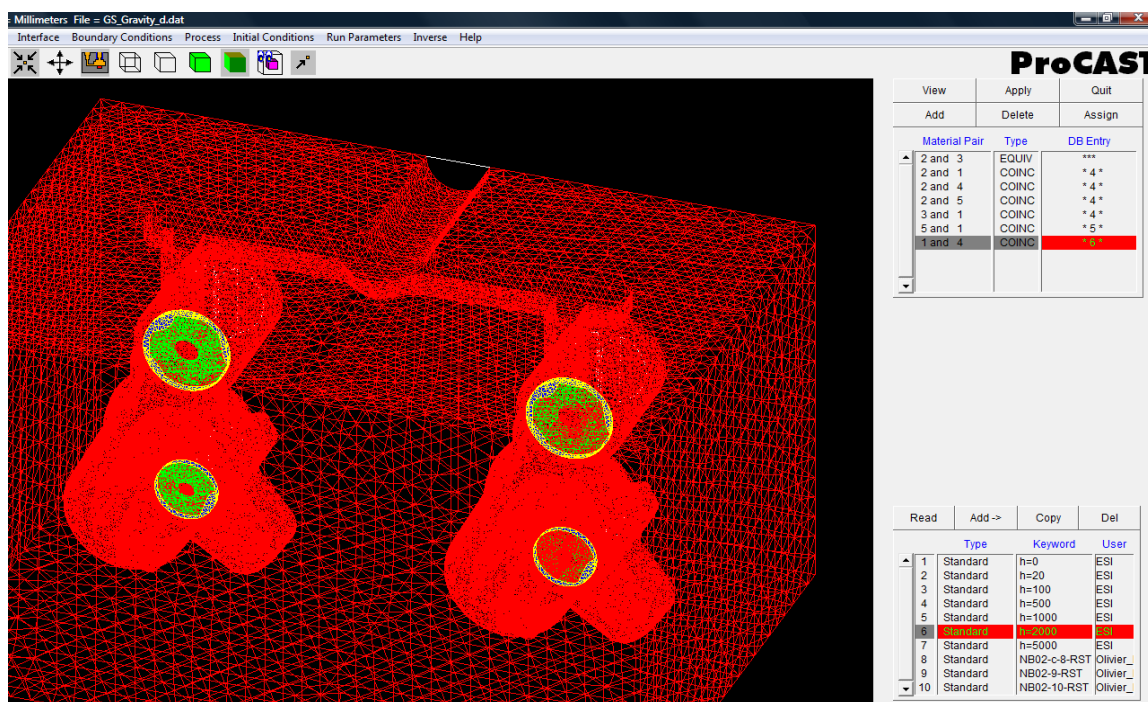
Если после выбора коэффициента нажать **Read**, появится информационное окно по выбранному коэффициенту теплопередачи. Можно добавить новый коэффициент теплопередачи, щелкнув на кнопку **Add** и заполнив соответствующие поля.



Характерные коэффициенты теплопередачи

Металл - металл	1 000 – 50 000
Металл - песок	300 – 1 000
Песок - песок	200 – 500
Тело - воздух	5 – 10
Тело – охлаждающий воздух	100 – 1 000
Тело - вода	3 000 – 40 000

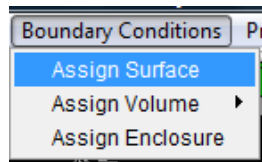
- Таким же образом задайте значения коэффициентов теплопередачи для других пар доменов, имеющих тип контакта COINC. Пример представлен на рисунке ниже.



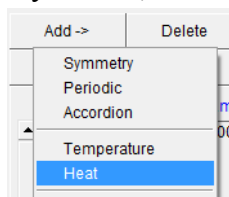
- Задайте **h=500** для других пар доменов Металл-Форма (2 and 4; 2 and 5; 3 and 1).
- Задайте **h=1000** для пары экзотермическая прибыль/форма (5 and 1).
- Задайте **h=2000** для пары песчаная форма/песчаный стержень (1 and 4).


1.1.5. Создание граничных условий на поверхностях модели

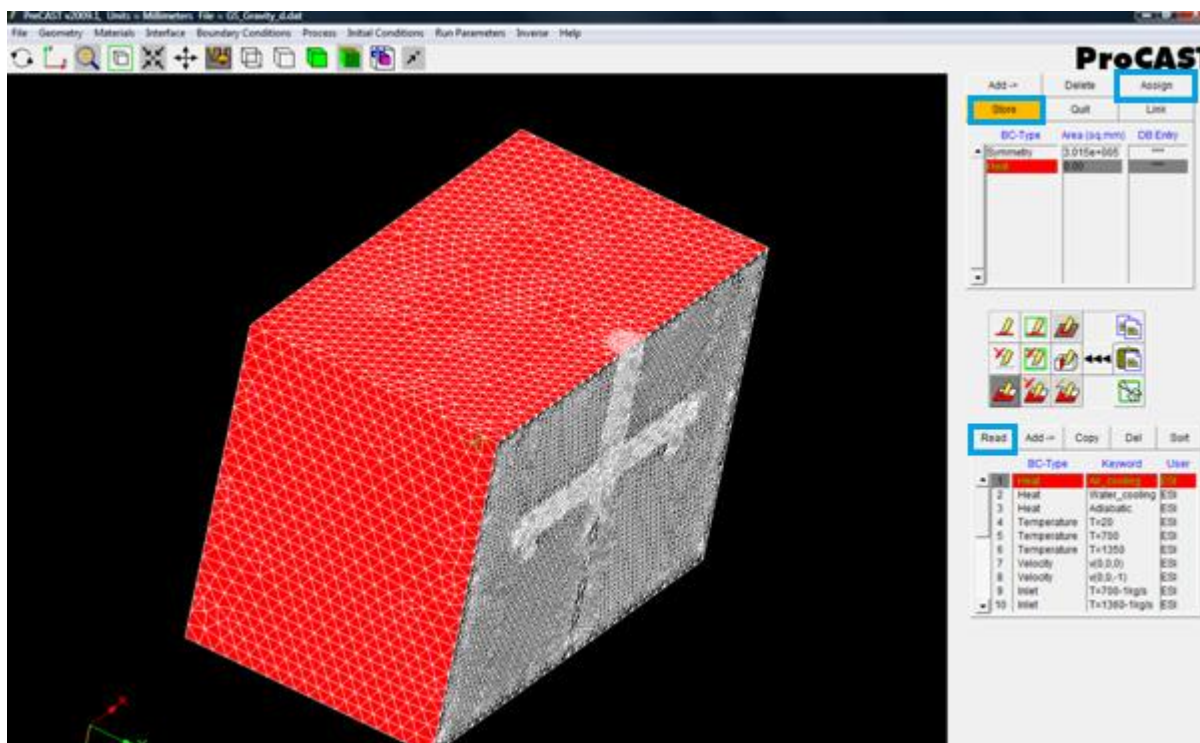
- Выберите пункт меню **Boundary Conditions/Assign Surface**.



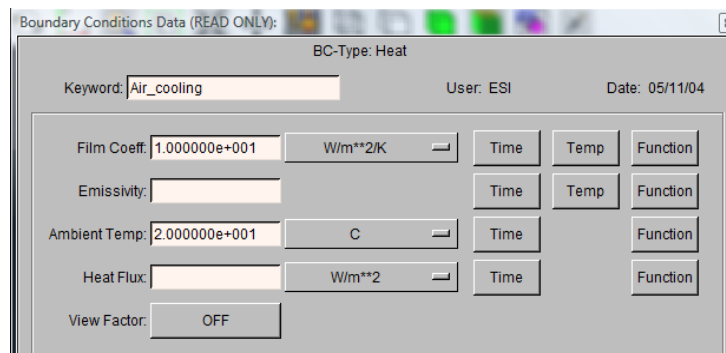
- Создайте тепловые граничные условия, щелкнув **Add/Heat**.



- Используйте для выделения внешних поверхностей формы (кроме плоскости симметрии) опцию **Propagate – Select**. Т.е. нажмите на кнопку  на вспомогательной панели инструментов и щелкните мышкой на любую точку поверхности.
- Щелкните на кнопку **Store**, чтобы сохранить выделение.

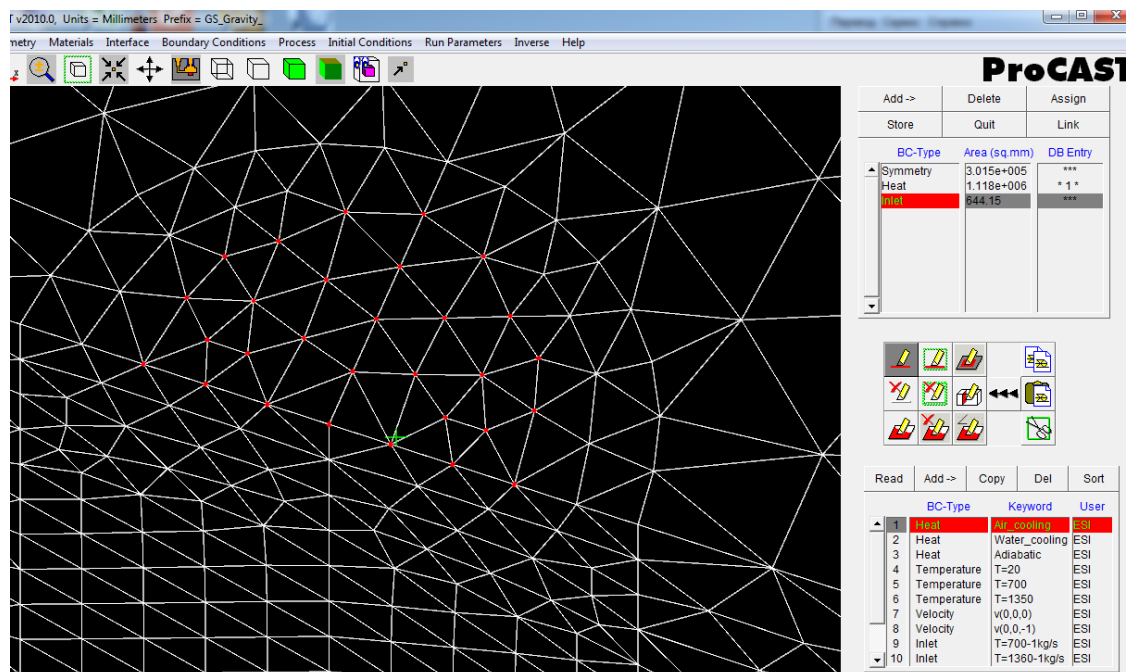


- Выберите в нижней таблице условие **Air Cooling** и нажмите **Assign**.
Если вы нажмете **Read**, откроется окно с данными относительно условия **Air Cooling**.

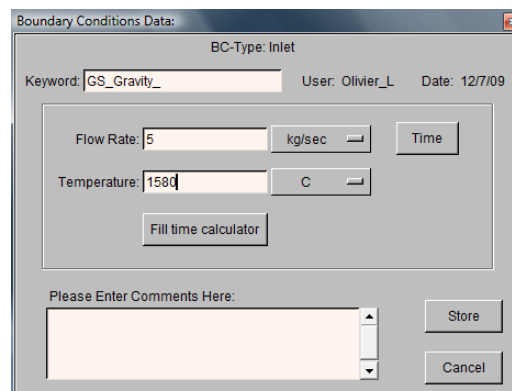


Можно создать новое условие теплопередачи, щелкнув на кнопку **Add** и заполнив соответствующие поля.

- Создайте граничные условия на входе.
- Выберите **Add/Inlet**.
- Выделите узлы на входе, используя опцию **Select**. Постарайтесь выделить узлы так, чтобы они описывали полукруг.

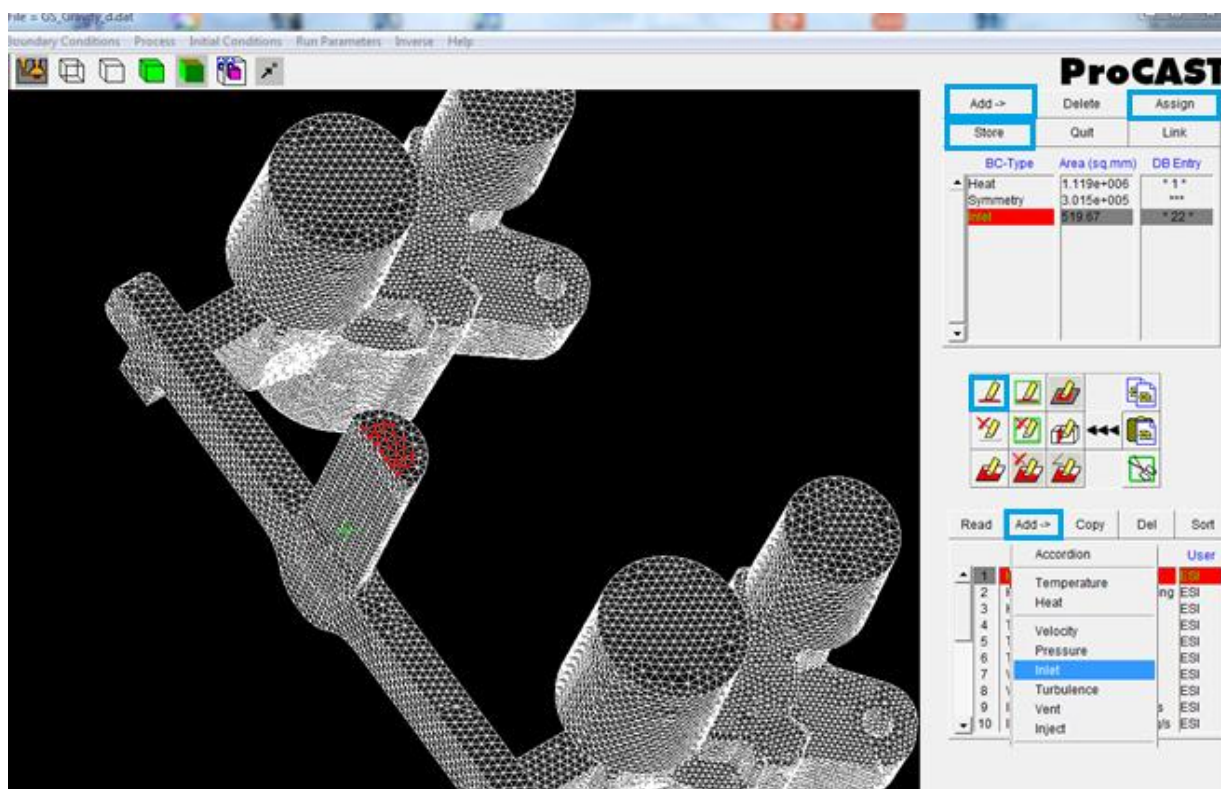


- Нажмите **Store** для того, чтобы сохранить выделенные узлы.
- Щелкните **Add** в нижнем окне, чтобы задать параметры нового граничного условия **Inlet** в базе данных. Появится окно **Boundary Condition Data**.
 - Введите в строку **Flow Rate** (скорость потока) 5 кг/с и в строку **Temperature** 1580°C.
 - Нажмите **Store**.
- Назначьте новые условия для объекта **Inlet** в верхней таблице.

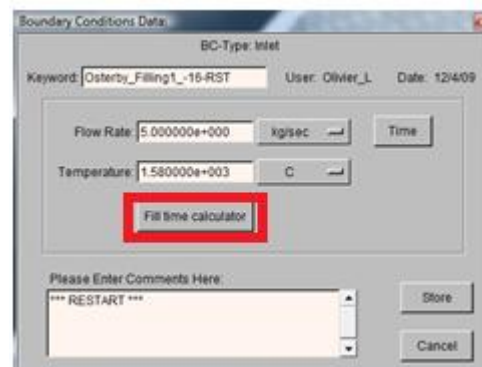


- Выберите только что созданные условия и щелкните на кнопку **Assign**.

Read	Add ->	Copy	Del	Sort
	BC-Type	Keyword	User	
▲	14	Velocity	MILE-ThF-14-R	Olivier_
	15	Accordion	MILE-ThF-15-R	Olivier_
	16	Inlet	Osterby_Filling	Olivier_
	17	Heat	NB02-c-17-RS	Olivier_
	18	Accordion	NB02-c-22-RS	Olivier_
	19	Temperature	NB02-c-20-RS	Olivier_
	20	Displacement	NB02-c-21-RS	Olivier_
	21	Heat	NB02-c-19-RS	Olivier_
	22	Heat	NB02-c-18-RS	Olivier_
▼	23	Inlet	GS_Gravity_	Olivier_



- Проверьте время заполнения, которое рассчитывается в зависимости от параметров условия **Inlet**.
- В окне **Boundary Conditions Data** щелкните на кнопку **Fill time calculator**.



- Появится новое окно **Select casting materials**. Выберите домены, которые будут заполняться. Проверьте, что выбрана опция **Fill Time**.
- Щелкните **Calculate**.

В результате рассчитанное время заполнения будет отображено в строке **Fill Time**.



Расчет времени-заполнения



Расчет скорости-потока

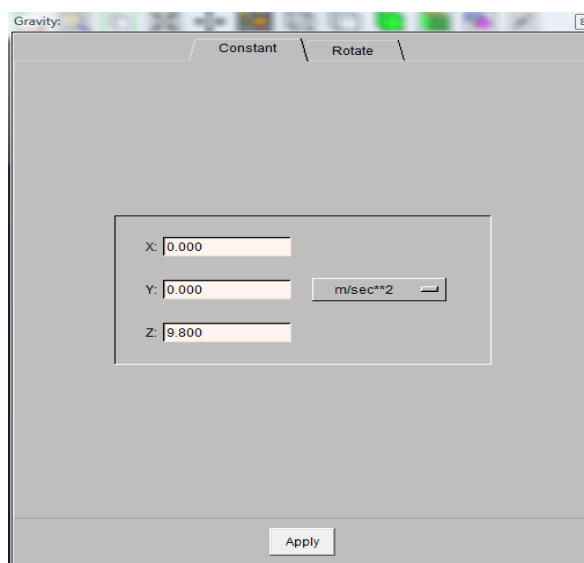
Также можно рассчитать скорость потока, необходимую для достижения заданного времени заполнения. Это выполняется по тому же принципу.

Проверьте, что теперь выбрана опция **Flow rate**. Введите время заполнения (Fill time) и щелкните **Calculate**.

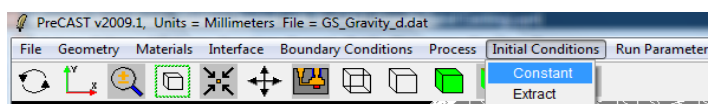
Выше приведен пример расчета. Для выполнения времени заполнения 8 с потребуется скорость потока 5.77 кг/с.

1.1.6. Определение вектора силы тяжести

- В меню выберите **Process/Gravity**. Появится окно **Gravity**.
- Определите направление вектора силы тяжести и установите значение гравитационной постоянной в соответствующем поле. Щелкните на букву **Z**: автоматически будет установлено значение 9.8 м/с^2 для **Z** составляющей. Имейте в виду, что двойной клик на литеру **Z** установит значение -9.8 м/с^2 .
- Для завершения щелкните **Apply**.



- Теперь можно задать значения начальных температур для доменов.
- В меню щелкните на **Initial Conditions/Constant**.



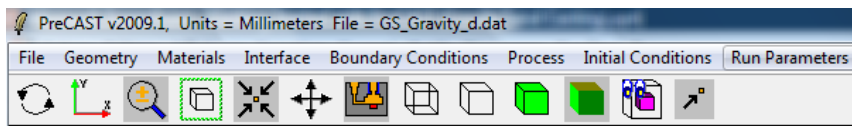
- Заполните таблицу температур. Вводите значение температуры в поле под таблицей и нажимайте **<Enter>**.
- Несмотря на то, что домены отливки изначально пустые, рекомендуется ввести для них значение начальной температуры равной температуре заливки.

Пример значений температур доменов приведен ниже.

Materials	Temperature	C
# 1 SAND_Olivine	20.00	
# 2 Steel_100Cr6	1580.00	
# 3 Steel_100Cr6	1580.00	
# 4 SAND_Chromite	20.00	
# 5 SAND_Silica_exo	20.00	

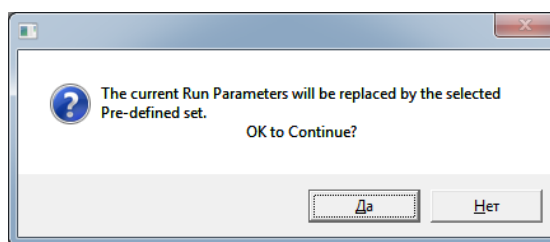
1.1.7. Настройка решателей ProCAST и запуск на расчет

- В меню щелкните **Run Parameters**.



Появится окно настройки решателей. Каждая вкладка отвечает за каждый модуль ProCAST:

1. **Preferences** - выбор предустановленных общих настроек для каждого вида расчета.
 2. **General** - основные настройки моделирования.
 3. **Thermal** - параметры расчета тепловой задачи (кристаллизация отливки и охлаждение).
 4. **Cycles** - параметры расчета циклической задачи (расчет нескольких циклов заливки и кристаллизации для литья в кокиль или под давлением с целью определения времени выхода на рабочий тепловой режим формы).
 5. **Flow** - параметры гидродинамической задачи.
 6. **Turbulence** - параметры расчета турбулентного течения при заливке формы.
 7. **Stress** - параметры расчета напряженно-деформированного состояния отливки.
 8. **Micro** - параметры расчета фазовой структуры отливки (модуль микроструктуры).
 9. **APM (Advanced Porosity Module)** - параметры расчета микропористости.
- Зайдите на вкладку **Preferences**, щелкните **Select Pre-defined Set**. Выберите **Gravity Filling**. Ответьте **Yes** в появившемся сообщении.

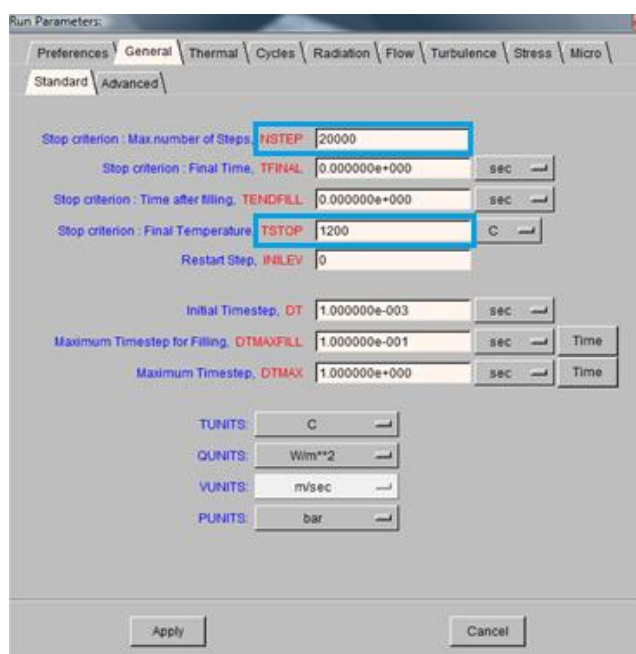


Программа будет использовать набор стандартных параметров для моделирования задачи заливки и кристаллизации для гравитационного литья.

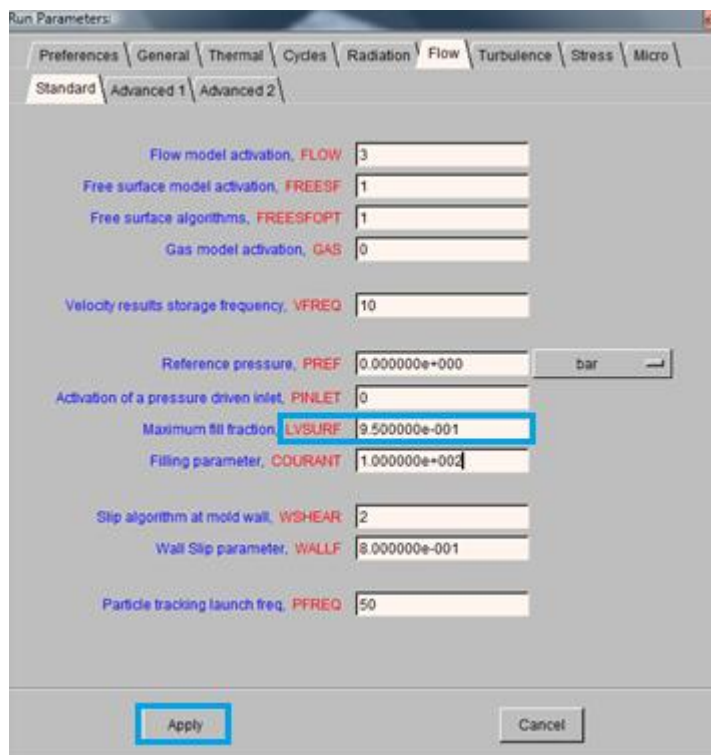
Данное меню содержит следующие виды расчетов:

1. **Default** - использование параметров всех решателей по умолчанию.
2. **Gravity Thermal** - расчет тепловой задачи для гравитационного литья (без расчета заливки). Гравитационное литье - это вид литья, при котором металл поступает в форму под собственным весом, без приложения дополнительных сил извне. К этому классу можно отнести литье в песчано-глинистые формы, литье в кокиль, по выплавляемым моделям, в оболочковые формы.
3. **Gravity Filling** - расчет заливки и кристаллизации для гравитационного литья.

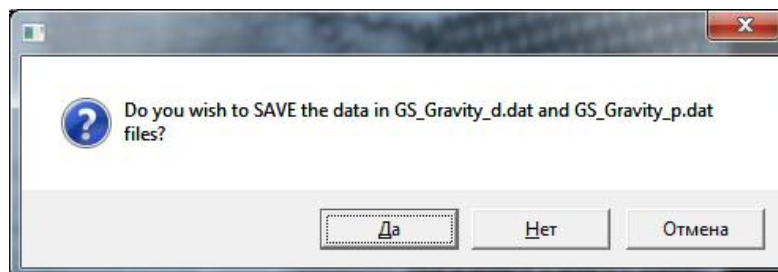
4. **HPDC Cycling** - расчет циклической задачи для литья под высоким давлением.
 5. **HPDC Filling** - расчет заливки и кристаллизации для литья под высоким давлением.
 6. **LPDC Filling** - расчет заливки и кристаллизации для литья под низким давлением.
 7. **Tilt** - расчет заливки литья с наклоном формы.
 8. **Centrifugal** - расчет центробежного литья.
- Перейдите во вкладку **General** для того, чтобы задать параметр остановки для процесса моделирования.
1. **TFINAL** - остановка расчета по реальному времени моделирования. Например, известно время выдержки отливки в форме по технологии, можно указать это время в качестве конечного, чтобы получить температуру отливки и окончательное распределение остаточных напряжений, при котором будет проходить выбивка отливки.
 2. **TENDFILL** - остановка расчета по времени после заливки. Этот параметр удобно использовать, если необходимо провести только расчет заливки формы. В этом случае можно, например, установить параметр TENDFILL=1. Будет проведено моделирование полной заливки формы и еще 1 секунды по времени, после чего расчет остановится.
 3. **TSTOP** - остановка расчета по температуре. Например, если необходимо провести заливку и кристаллизацию отливки, чтобы получить распределение усадочных дефектов, можно указать в качестве критерия остановки расчета температуру солидуса (или чуть ниже). При этом расчет остановится после полной кристаллизации отливки.
- Установите значение **NSTEP** (количество шагов), как показано ниже.
- Установите значение **TSTOP** (температура, при которой расчет останавливается), чтобы оно было меньше температуры солидуса.



- Перейдите во вкладку **Flow**.
- В поле **LVSURF** установите значение, соответствующее проценту заполнения полости формы. В данном примере цифра 0.95 означает, что процесс расчета заполнения остановится, когда 95% формы будет заполнено. После этого решатель **Flow** отключается и проводится только тепловой расчет.



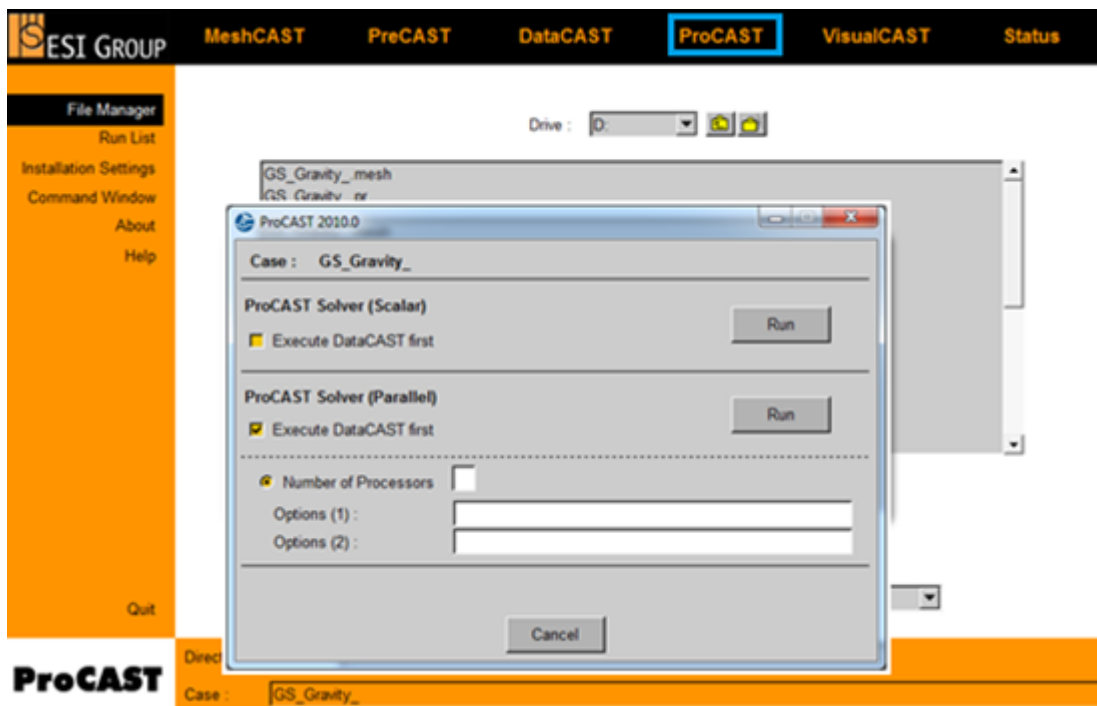
- Щелкните **Apply**.
- Сохраните данные и запустите расчет.
- Выберите пункт меню **File/Optimize**.
- Нажмите **File/Exit**. Сохраните файл, нажав **Да**.



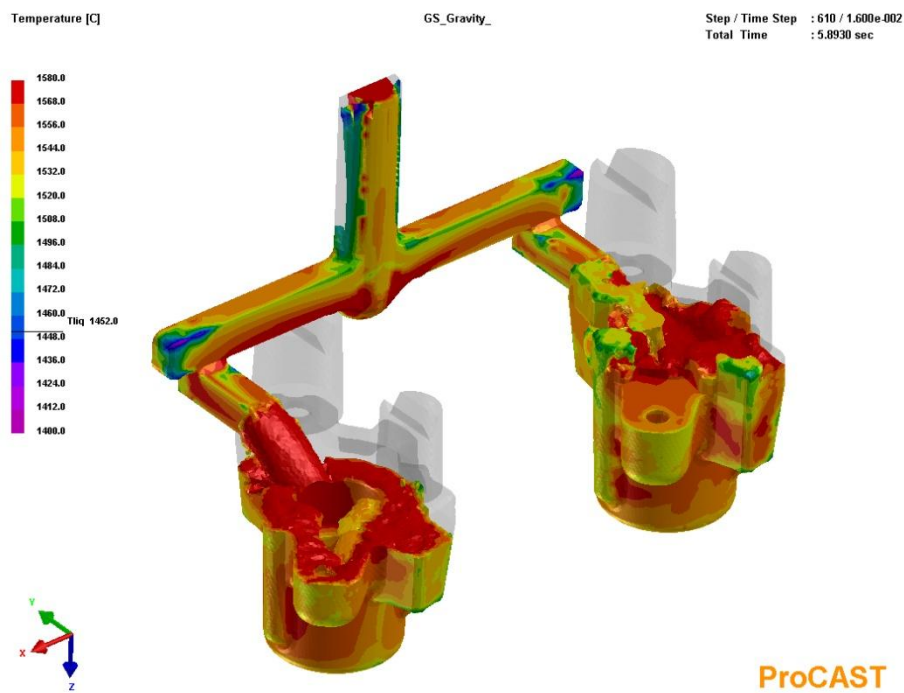
- Щелкните на кнопку **ProCAST**.
- Проверьте, что стоит галочка напротив **Execute DataCAST first** (только для первого запуска расчета проекта) и щелкните **Run**.

ProCAST Solver (Scalar) – для запуска однопроцессорного расчета.

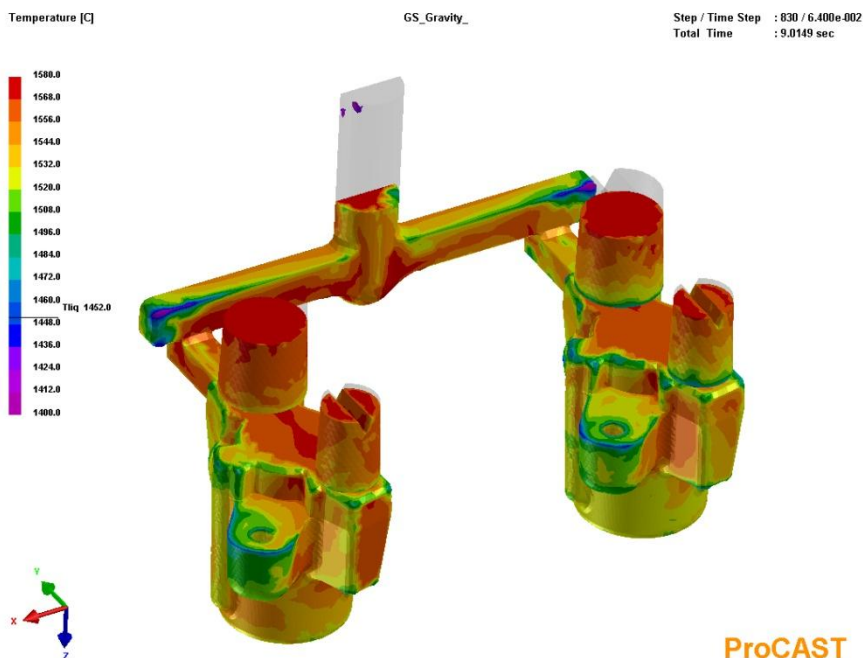
ProCAST Solver (Parallel) – для запуска параллельного вычисления. В этом случае также нужно указать в поле **Number of Processors** количество используемых в моделировании процессоров.



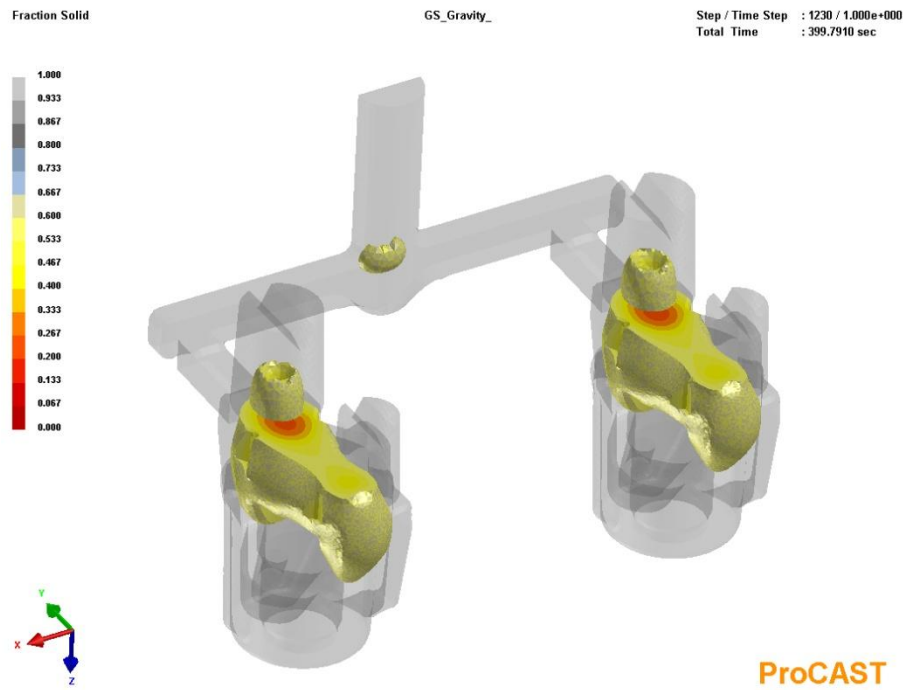
1.1.8. Результаты расчета



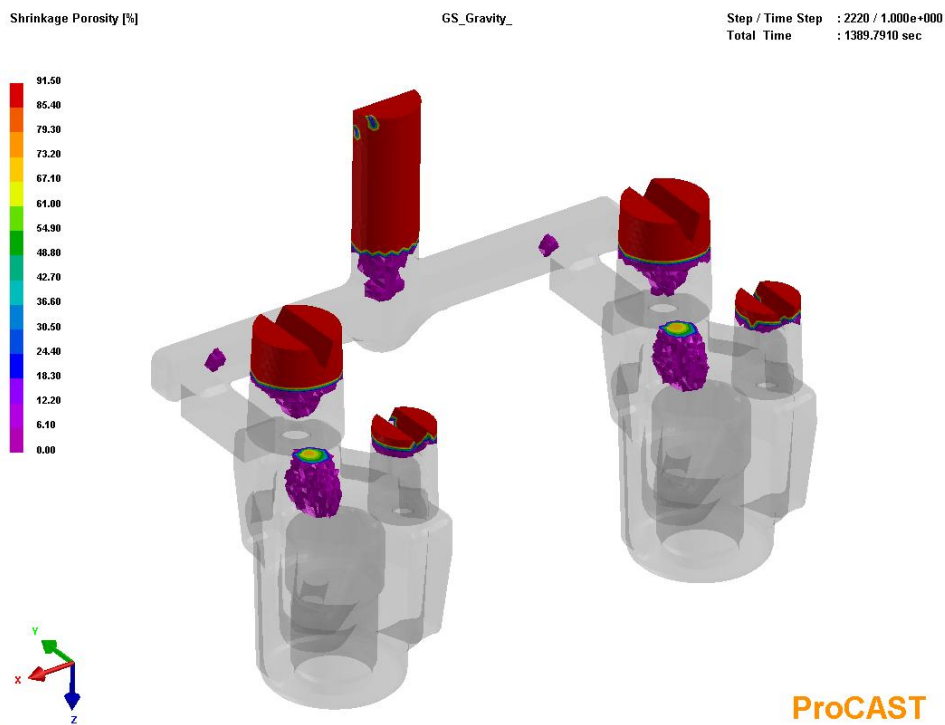
Температурное поле металла в процессе заполнения формы



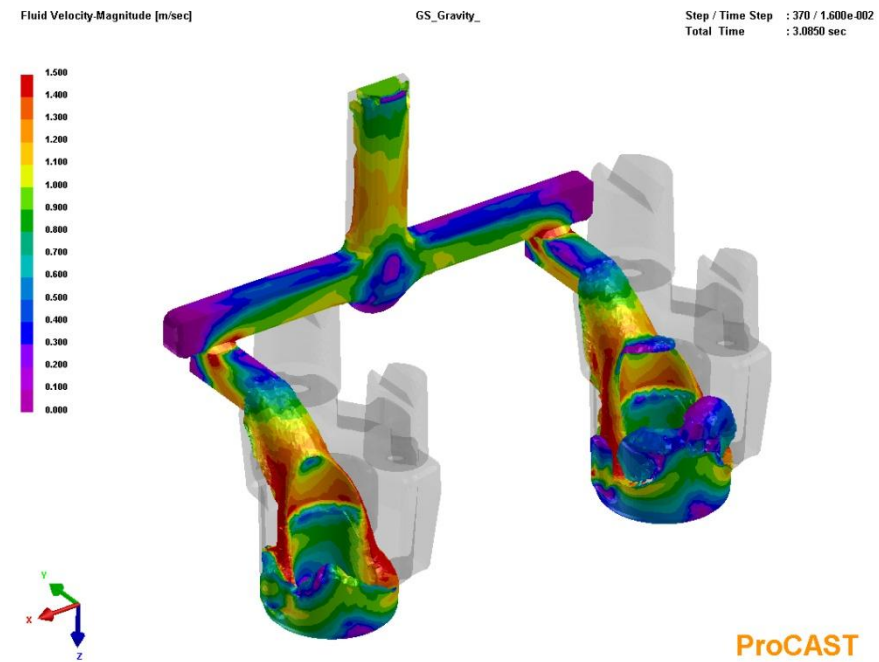
Температурное поле металла



Распределение твердой фазы в сплаве



Анализ усадочной пористости



Распределение скорости потока жидкого металла

1.2. РАСЧЕТ ЗАЛИВКИ С ВИРТУАЛЬНОЙ ФОРМОЙ

Для работы с задачей предлагаются следующие файлы:

Korpus.mesh: 3D объемная конечно-элементная сетка модели.

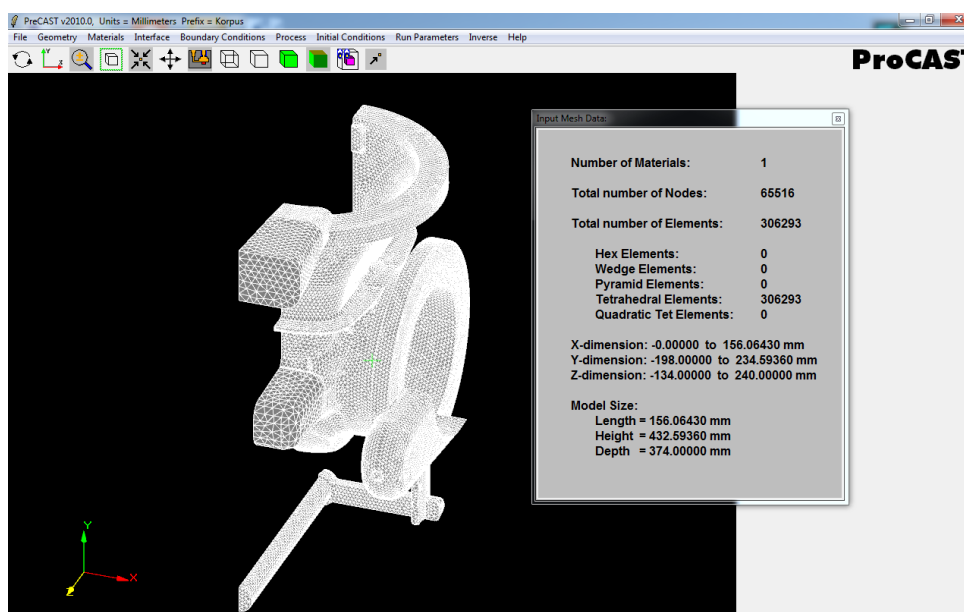
Korpusd.dat: Файл с готовыми данными.

Korpusp.dat: Файл с готовыми расчетными параметрами.

Виртуальная форма – это специальное граничное условие в ProCAST, которое определяет границы формы и условия охлаждения отливки в ней (при этом физически расчетной сетки формы не существует). Такой подход позволяет существенно сократить время моделирования, однако применение виртуальной формы накладывает ряд ограничений. Во-первых, использовать данное условие следует только при моделировании литья в объемные малотеплопроводные формы (ПГС, ХТС, ПСС, ЖСС и др.). При моделировании литья в кокиль или изложницу с виртуальной формой расчет будет проведен с большой погрешностью, т.к. данное условие не учитывает внешнее охлаждение стенки формы воздухом. Во-вторых, нельзя использовать виртуальную форму при расчете напряжено-деформированного состояния отливки, т.к. в таком случае не будет учитываться контактное взаимодействие отливки и формы.

- Скопируйте файл Korpus.mesh из директории **ProCASTtrainings/Korpus** в новую папку. Рекомендуется создавать отдельную папку для каждого нового проекта.
- Откройте в файловом менеджере (File Manager) созданную папку расчета.
- Запустите **PreCAST**.

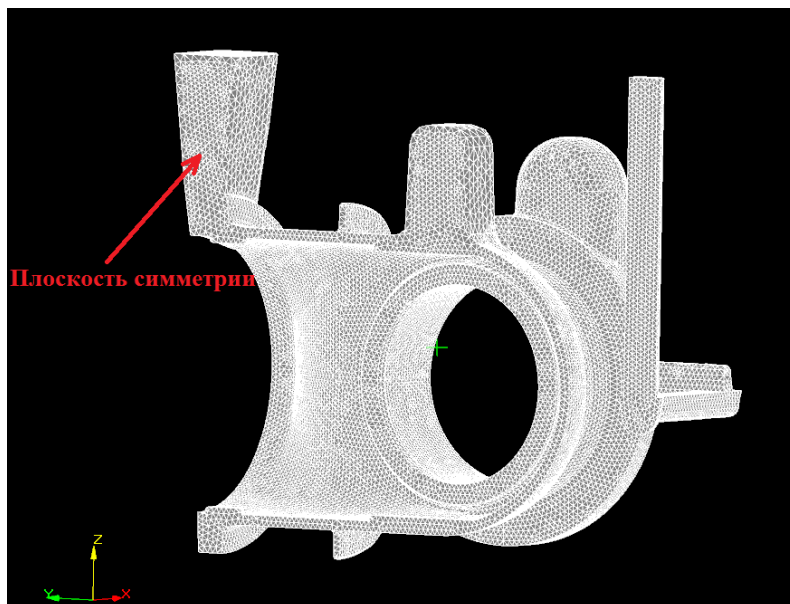
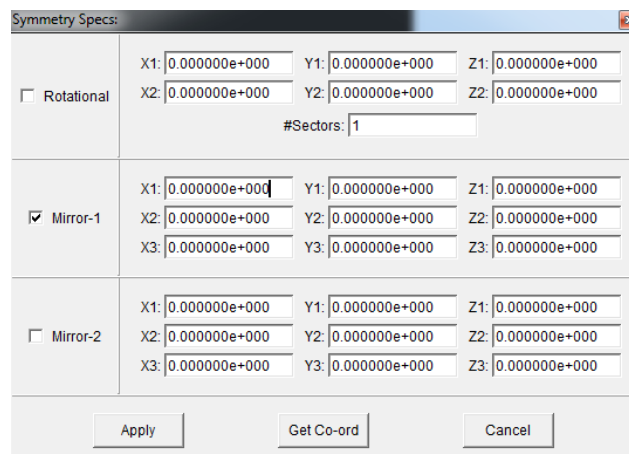
Из выбранного файла будет автоматически загружена сетка, а также появится окно с параметрами, описывающими сетку.



- Закройте окно **Input Mesh Data**.

1.2.1. Определение плоскости симметрии


- Укажите плоскость симметрии в модели.
- Выберите пункт меню **Geometry /Symmetry**.
- Появится окно, где необходимо задать координаты узлов для построения плоскости симметрии.
- Поставьте галочку напротив **Mirror-1** и щелкните мышкой в поле **X1**.
- Нажмите **Get Co-ord** и выделите любой узел, лежащий на поверхности, где должна проходить плоскость симметрии. Для того чтобы выделить узел, приблизьте поверхность, на которой должна строиться плоскость симметрии. Подведите курсор близко к узлу и щелкните левой кнопкой мыши. Убедитесь, что выделился нужный вам узел.
- В первой строке появятся координаты выбранного узла.
- Укажите таким же образом координаты еще 2 узлов, лежащих на той же поверхности. В результате все три строки должны быть заполнены координатами.
- Щелкните **Apply**.



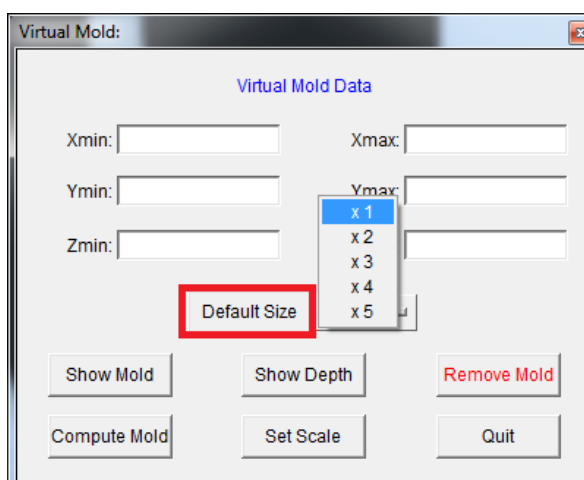
- Проверьте итоговую поверхность в граничном условии **Symmetry** в меню **Boundary Conditions/Assigned Surface**.

1.2.2. Создание виртуальной формы

- Выберите пункт **Geometry/Virtual Mold**.
- Появится окно **Virtual Mold**. В разделе **Virtual Mold Data** необходимо задать координаты для построения формы.
Существует несколько способов определения координат.
- Использование автоматической опции.

Щелкните на кнопку  и выберите из выпадающего списка значение толщины стенки формы, кратное габаритному размеру отливки.

Для отображения границ виртуальной формы нажмите кнопку **Show Mold**.



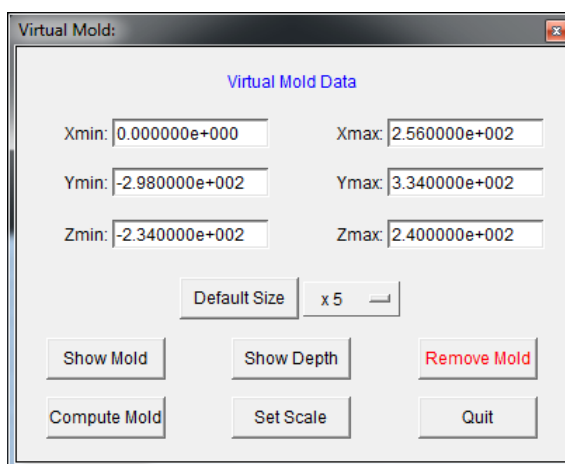
- Самостоятельный выбор размеров формы
Данный метод заключается в самостоятельном определении координат крайних точек формы, исходя из заданных размеров отливки и необходимой толщины стенки формы.
- Выберите пункт меню **Geometry/Check geom/ Min-Max**.
Появится окно **Min-Max for Active Set**, где в столбцах **Min** и **Max**, соответственно указаны минимальная и максимальная точки отливки по каждой оси.

	Min	Max	Size
X:	-7.243173e-008	1.560643e+002	1.560643e+002
Y:	-1.980000e+002	2.345936e+002	4.325936e+002
Z:	-1.340000e+002	2.400000e+002	3.740000e+002

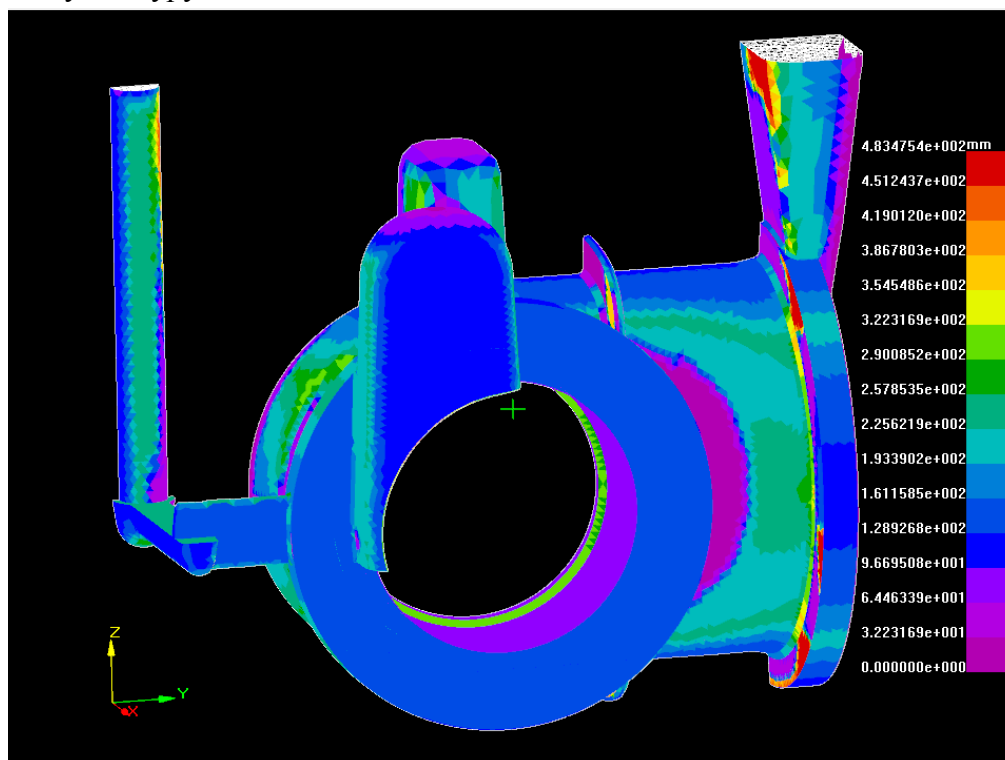
Units: Millimeters
Min-Max Data for Current Active Set

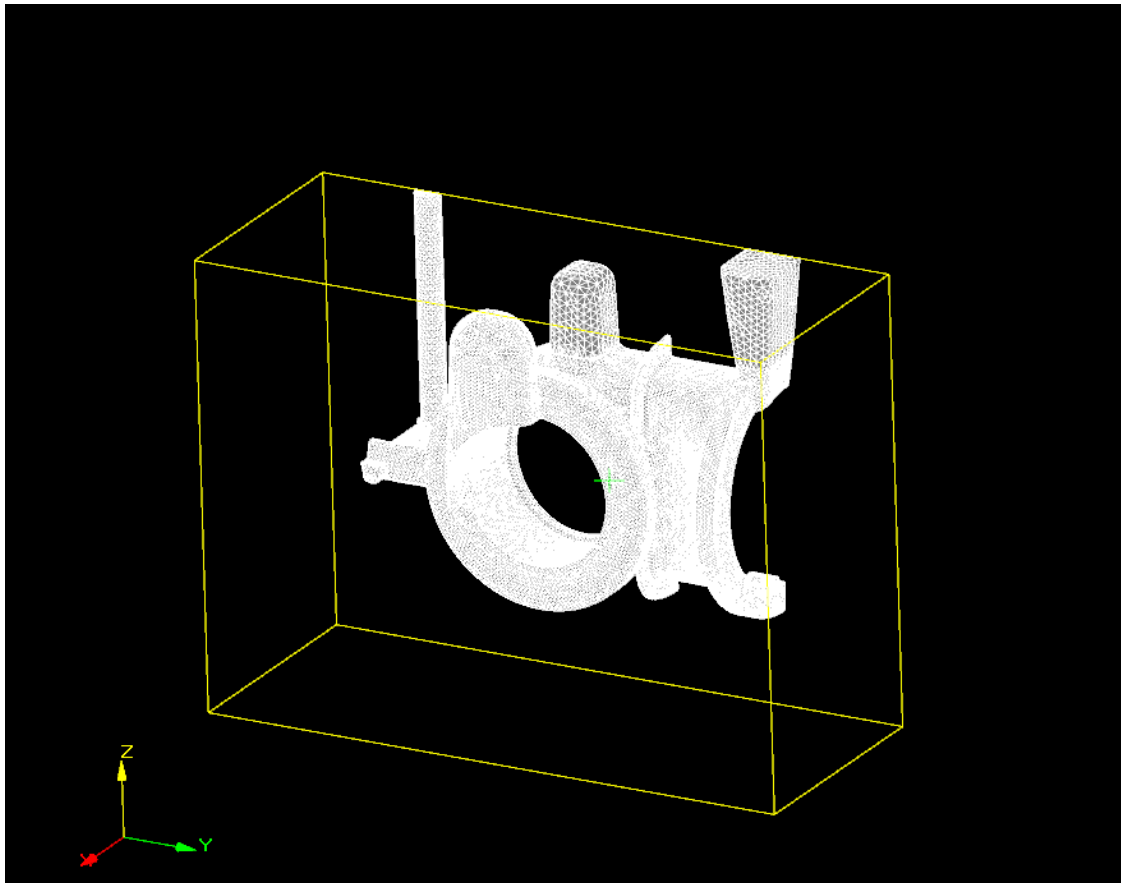
В данном случае толщина стенки формы будет равна 100 мм.

- В окне **Virtual Mold** введите в поле **Xmin** значение 0, поскольку эта точка соответствует плоскости симметрии, а значит можно взять значение для Xmin формы = Xmin отливки ≈ 0 .
- В поле Xmax введите значение равное Xmax отливки + 100 мм (ширина стенки формы). Т.е. введите **256**.
- В поле Ymin введите **-298**, а в поле Ymax значение **334**.
- В поле Zmin необходимо ввести **-234**, а в поле Zmax укажите значение **240**. В данном случае значение не изменяется, поскольку верхняя грань формы совпадает с верхними поверхностями прибыли и стояка.



- Нажмите **Compute Mold**.
Автоматически будет построена форма и рассчитана глубина нагрева формы по всему контуру отливки.

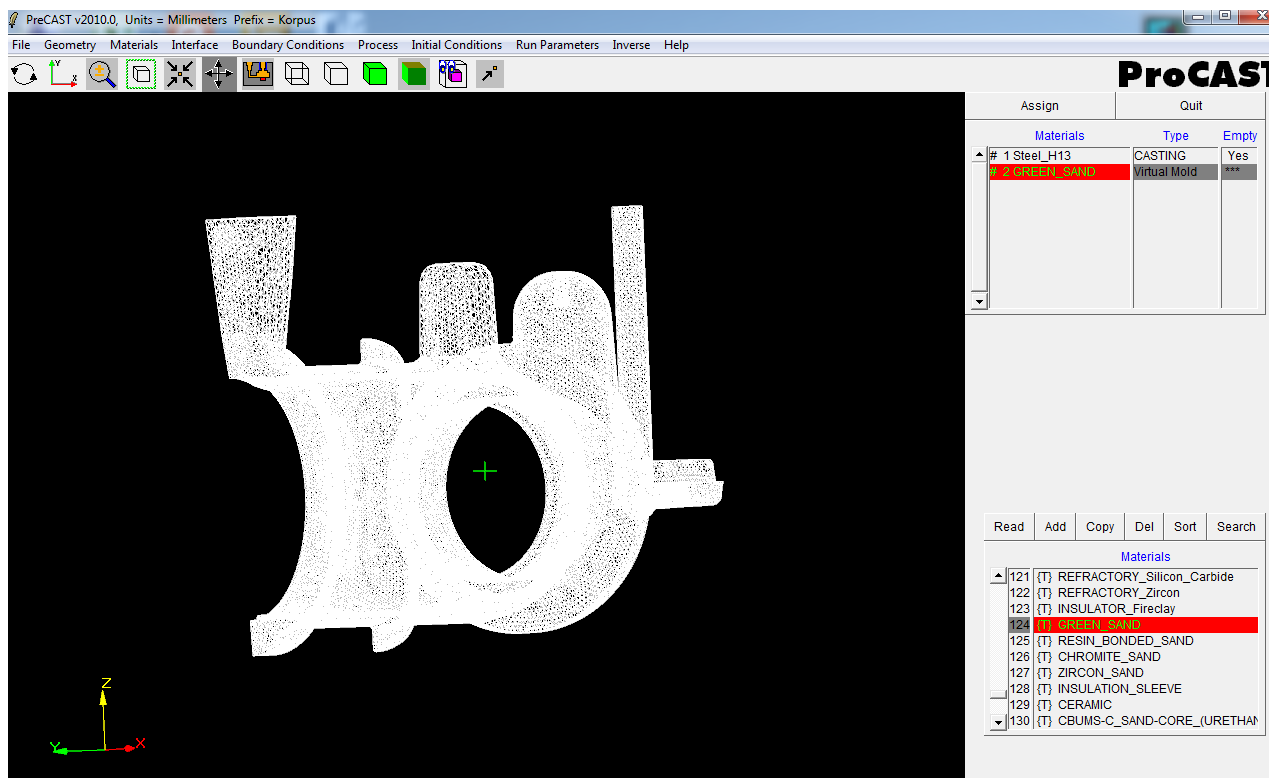




- Щелкните на кнопку **Quit** в окне **Virtual Mold**.

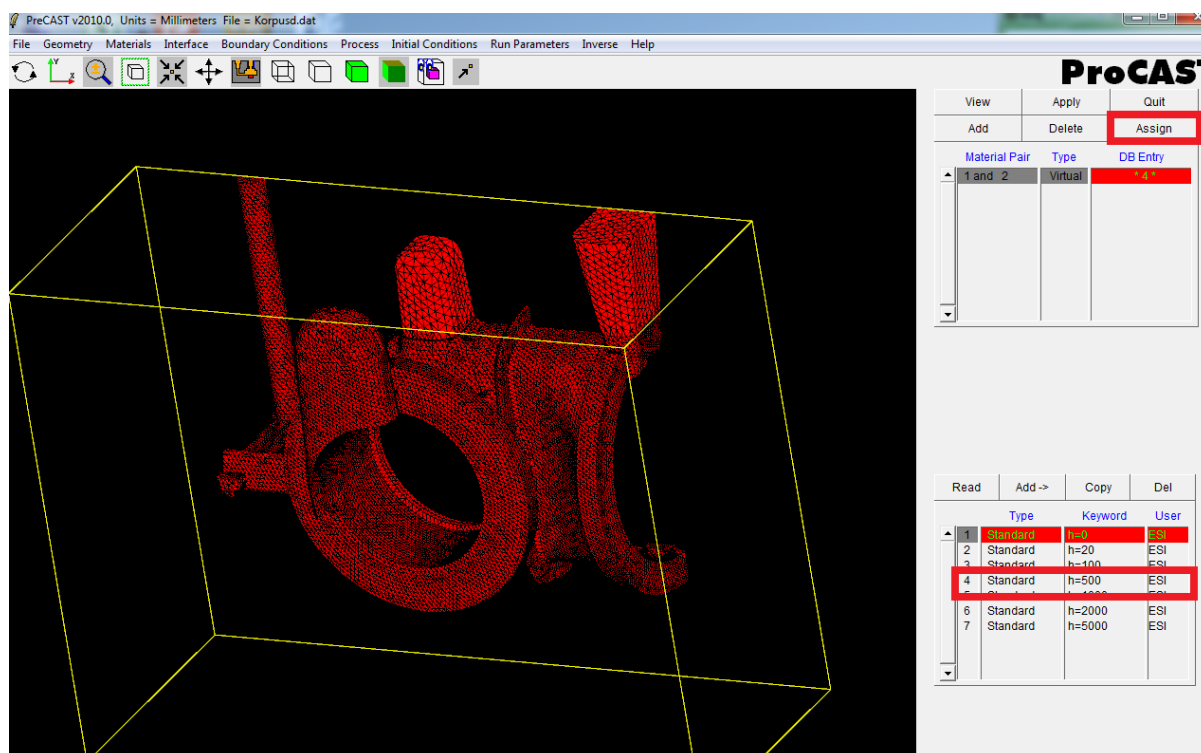
1.2.3. Задание материалов

- Выберите пункт меню **Materials/Assign**.
- Откроется новая панель, где имеются две таблицы. Верхняя таблица содержит перечень доменов модели, для которых задается материал. В нижней таблице представлена база данных материалов.
- Щелкните на первую строку в столбце **Materials**, будет выделена модель отливки.
- Выберите в нижней таблице материал **Steel_H13** и нажмите на кнопку **Assign**.
- В столбце **Type** выберите тип материала **CASTING** (отливка).
- В столбце **Empty** выберите **YES**. Данная операция определяет, заполнен ли домен соответствующим материалом в начальный момент времени.
- Для второго домена, соответствующего форме, выберите материал **Green_Sand** (влажная песчано-глинистая смесь).



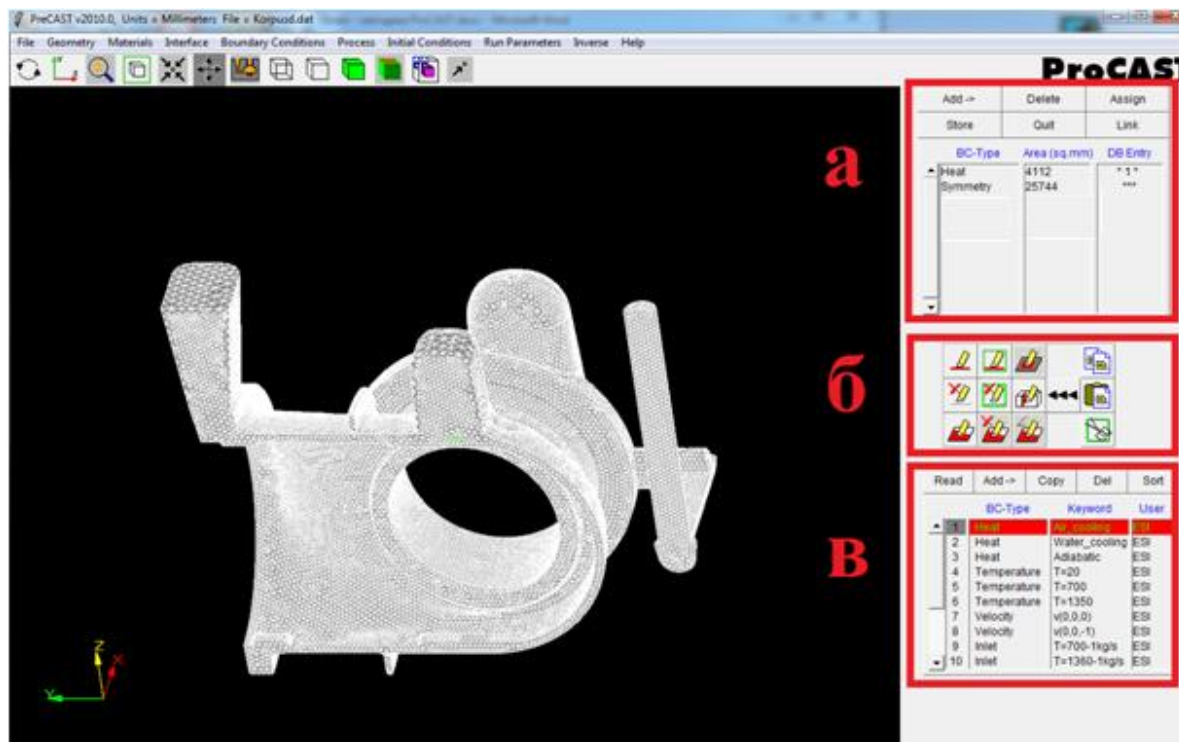
1.2.4. Установка коэффициентов теплопередачи для контактов двух тел

- Выберите пункт меню **Interface**. Здесь необходимо установить коэффициент теплопередачи для имеющейся контактной пары.
- Укажите коэффициент из нижней таблицы $h = 500$, соответственно выберите 4 строку и нажмите **Assign**.



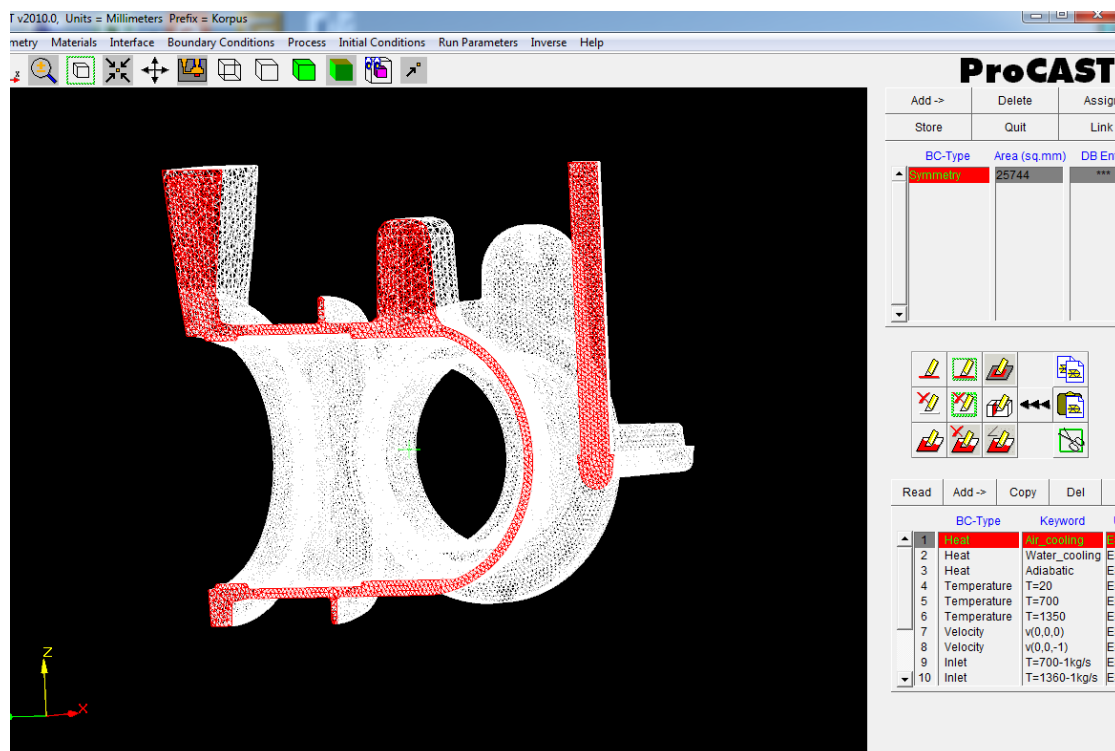
Далее следует задать граничные условия охлаждения отливки и параметров заливки металла.

- Откройте пункт меню **Boundary Conditions / Assign Surface**.
Требуется в верхней таблице добавить необходимые граничные условия для текущего расчета, затем в окне модели выделить поверхность действия каждого граничного условия при помощи инструментов выделения и указать его значение из базы данных в нижней таблице.

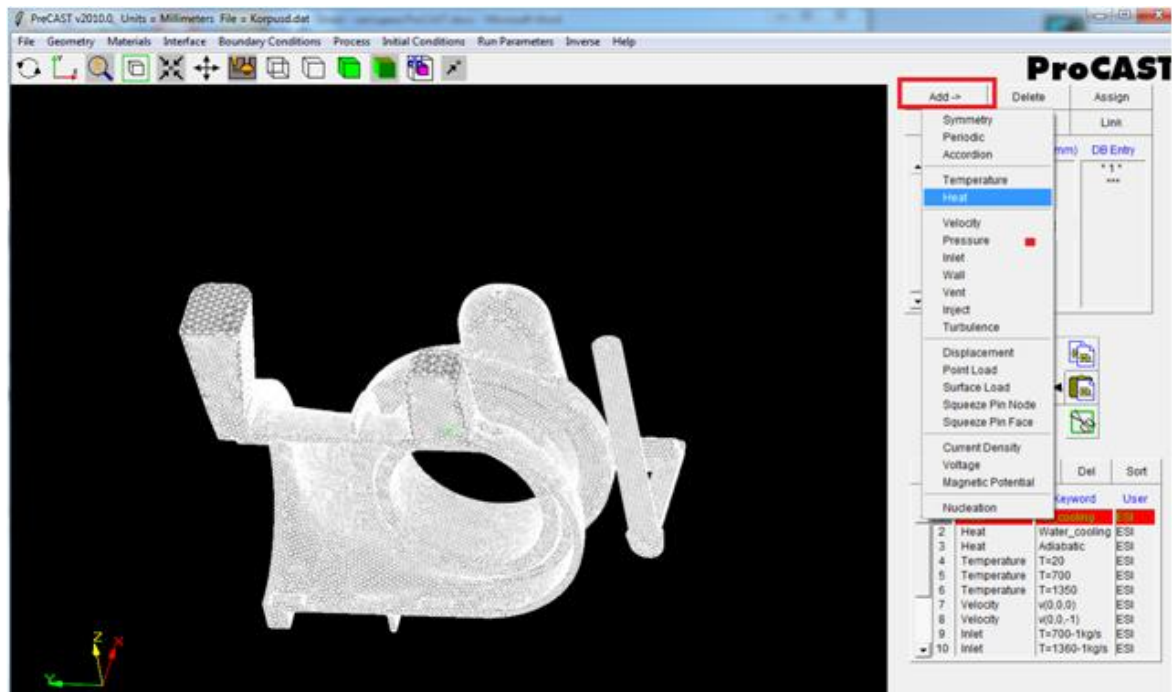


а) список граничных условий текущего процесса; б) инструменты выделения; в) база данных значений параметров граничных условий

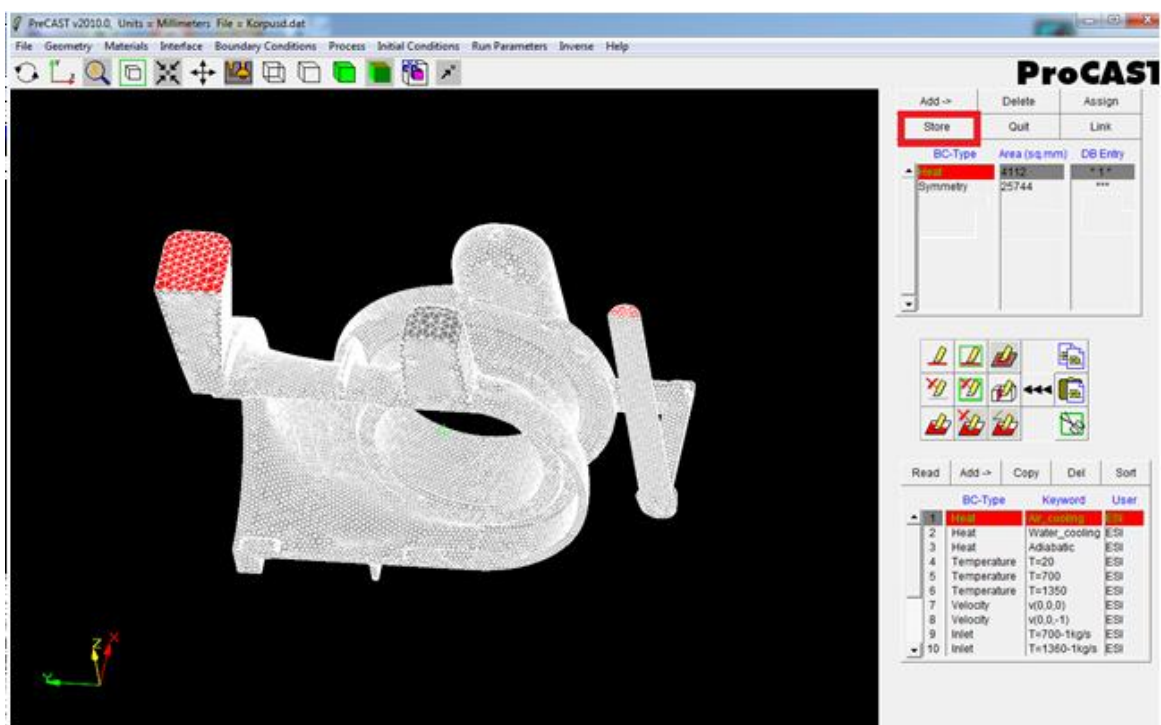
В списке граничных условий уже стоит условие **Symmetry**. Щелкните на строку. На модели отобразится область, где действует данное условие. Никаких дополнительных параметров устанавливать не требуется.



- Определите условия охлаждения внешних стенок отливки воздухом.
 - Для этого в верхней таблице нажмите кнопку **Add**, во всплывающем окне выберите параметр **Heat**. В списке граничных условий появится параметр **Heat**.




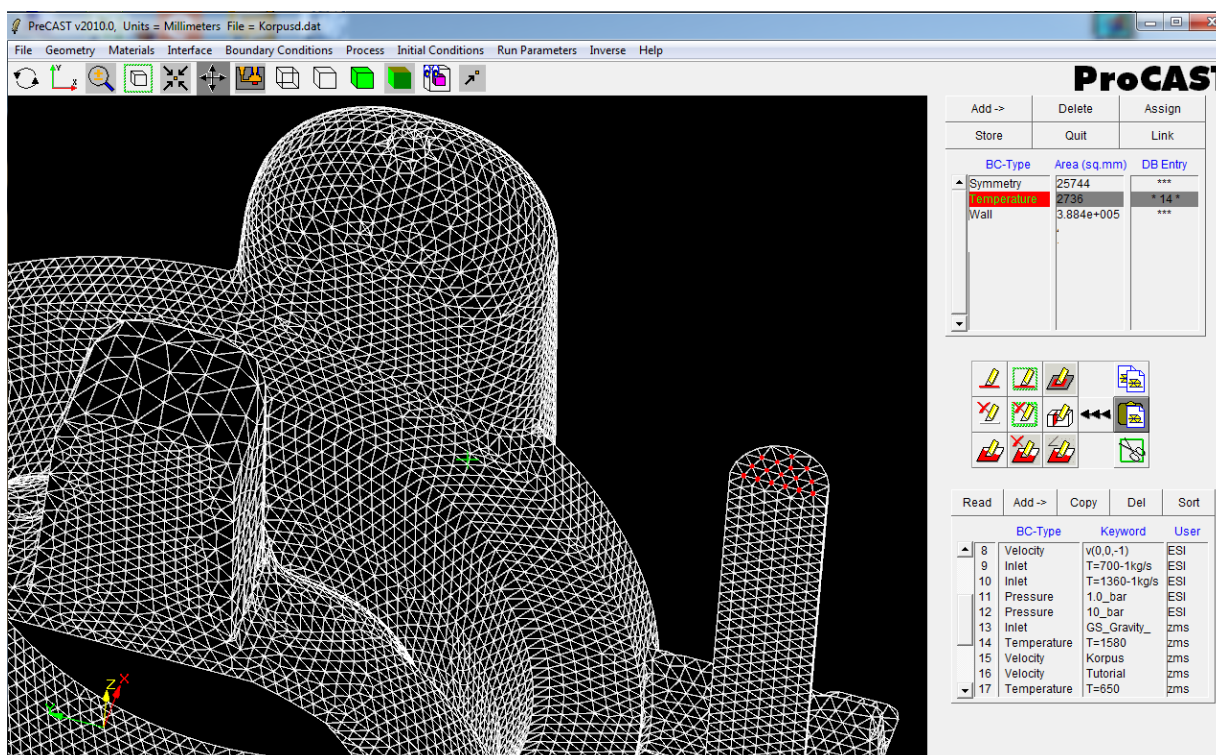
- Выделите этот параметр в верхней таблице и укажите на модели поверхность действия граничного условия - все внешние стенки отливки, которые будут охлаждаться воздухом (см. рисунок ниже).



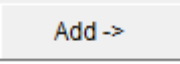
- Сохраните выделенную поверхность для условия **Heat**, нажмите кнопку **Store** (она также будет подсвечена в этот момент желтым цветом). В столбце **Area (sq. mm)** появится значение площади выделенной поверхности.
- Укажите значение воздушного охлаждения для граничного условия **Heat**. Для этого выберите в нижней таблице базы данных параметр **Heat / Air Cooling**, также укажите параметр **Heat** в верхней таблице и нажмите кнопку **Assign**. При этом в столбце **DB Entry** появится номер записи из базы данных для текущего параметра.

Add ->	Delete	Assign
Store	Quit	Link
BC-Type	Area (sq.mm)	DB Entry
Heat	4112	* 1 *
Symmetry	25744	***

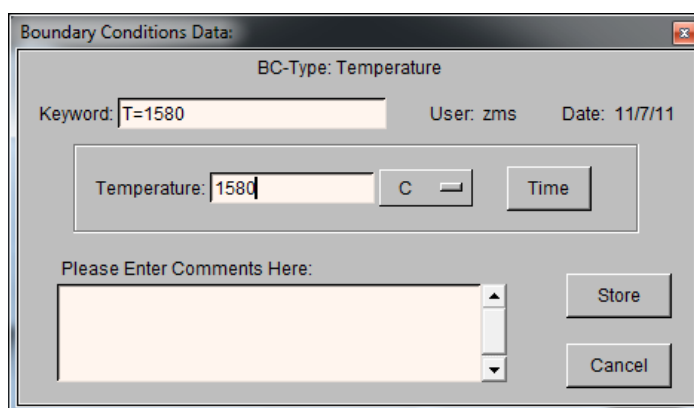
- Задайте место подвода металла в форму. Это проще всего сделать при помощи граничных условий **Temperature** (температура) и **Velocity** (скорость).
 - Добавьте в верхней таблице граничных условий параметр **Temperature** (Add - Temperature). Для этого граничного условия выделите поверхность внешней грани стояка, там, где будет поступать металл в форму при заливке. Для выделения всех узлов верхнего сечения стояка удобно воспользоваться инструментом **Select** (иконка ). Нажмите кнопку **Store** для сохранения выделенной поверхности.



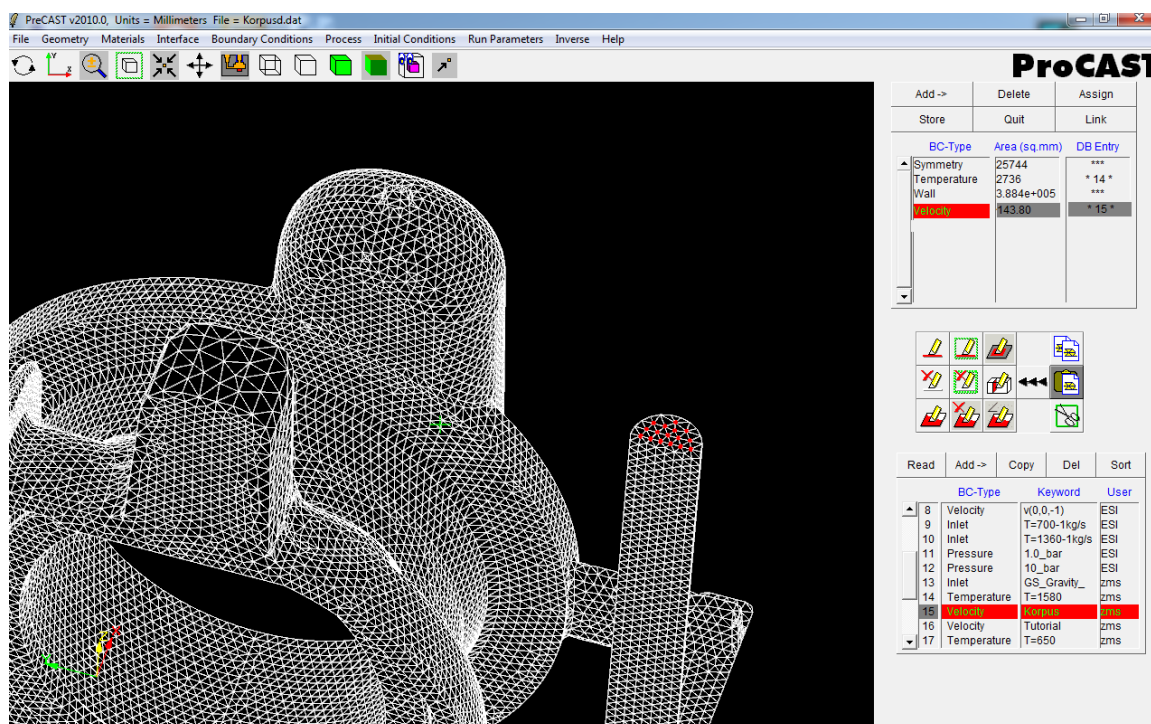
- Теперь укажите значение температуры для граничного условия. Оно должно соответствовать температуре заливки металла. В данном случае температура заливки составляет 1580 °C. Такого значения в базе данных нет, поэтому необходимо добавить новую запись. Для этого в нижней таблице базы данных

нажмите кнопку  и выберите во всплывающем меню **Temperature**. Откроется пустое окно **Boundary Enter Comments Here**. Введите в поле **Keyword: T=1580**, в поле **Temperature** значение 1580.

Нажмите кнопку **Store**, чтобы сохранить новый параметр в базу данных.



- Выберите в базе данных только что созданное значение температуры, укажите в списке граничных условий (верхняя таблица) параметр **Temperature** и нажмите кнопку **Assign**. Температура потока металла задана.
- Добавьте граничное условие **Velocity** (Add - Velocity) в верхней таблице. Укажите для этого условия точно такую же поверхность, как и для **Temperature**.



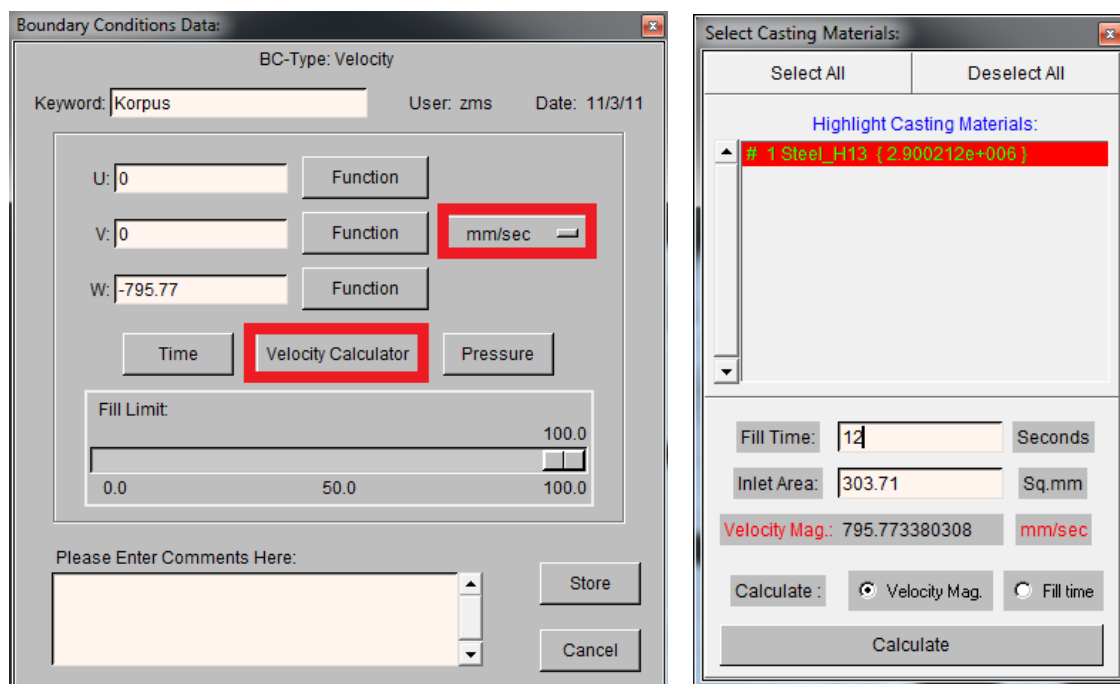
- Добавьте новое значение скорости в базу данных: нажмите в нижней таблице кнопку **Add - Velocity**.

Откроется окно **Boundary Conditions Data**.

- В поле **U**, **V**, и **W** необходимо ввести значение скорости потока по каждой составляющей оси X, Y и Z соответственно.
- Используйте опцию **Velocity Calculator**. Данный инструмент позволяет рассчитать среднюю скорость потока, исходя из общего времени заливки. Нажмите кнопку **Velocity Calculator**, откроется новое окно (см. рисунок ниже). В поле **Fill Time** введите время заливки формы = 12 сек. и нажмите кнопку **Calculate**. Расчетная скорость поток металла будет отображена в поле **Velocity Mag**. В данном случае **795,77 мм/с**.

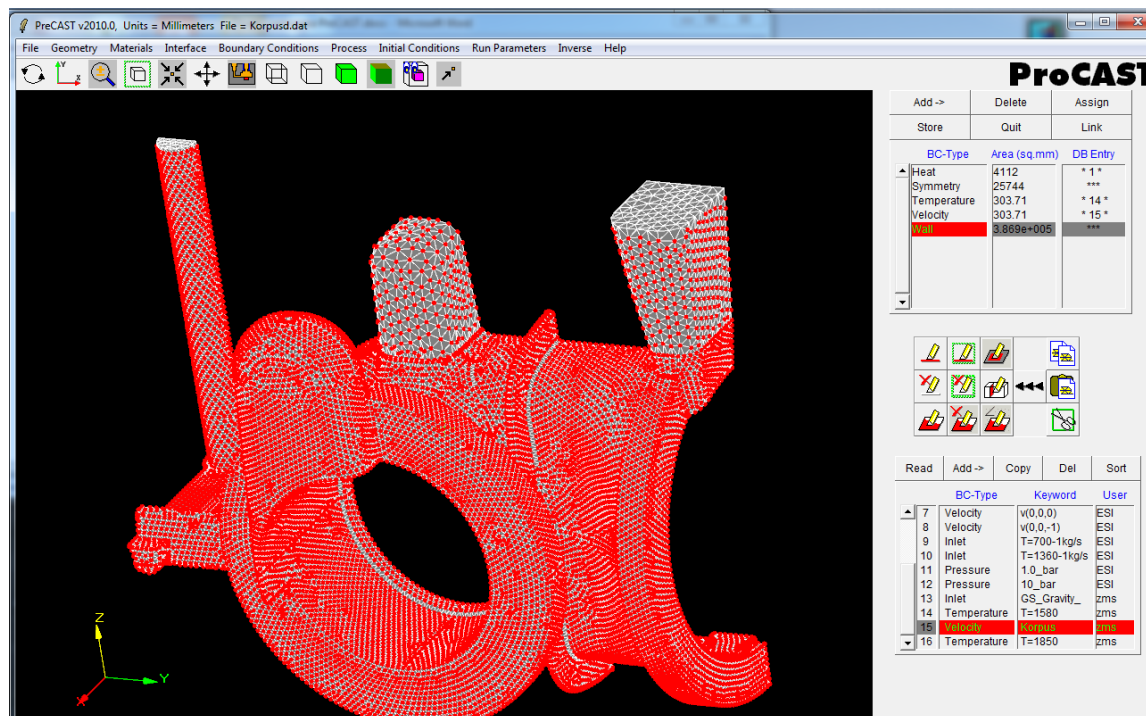
Скорость потока будет направлена вдоль стояка, т.е. против оси Z. Поэтому введите отрицательное значение скорости потока в поле **W**. По остальным осям необходимо установить значение скорости, равное 0 мм/с.

Обратите внимание, что скорость была рассчитана в единицах измерения мм/с, поэтому справа от введенного значения скорости необходимо указать те же единицы (mm/sec).



- Нажмите кнопку **Store**, чтобы сохранить введенное значение скорости и добавьте его к установленному граничному условию **Velocity** при помощи кнопки **Assign**.
- Добавьте в верхней таблице последнее граничное условие **Wall** (Add - Wall). Для этого граничного условия выделите всю поверхность отливки кроме внешних граней стояка и прибыли, т.е. поверхность, где будет происходить теплообмен с формой.

Параметр **Wall** определяет нулевую скорость потока металла в пристеночном слое. Данный параметр необходимо устанавливать только при использовании виртуальной формы в расчете.

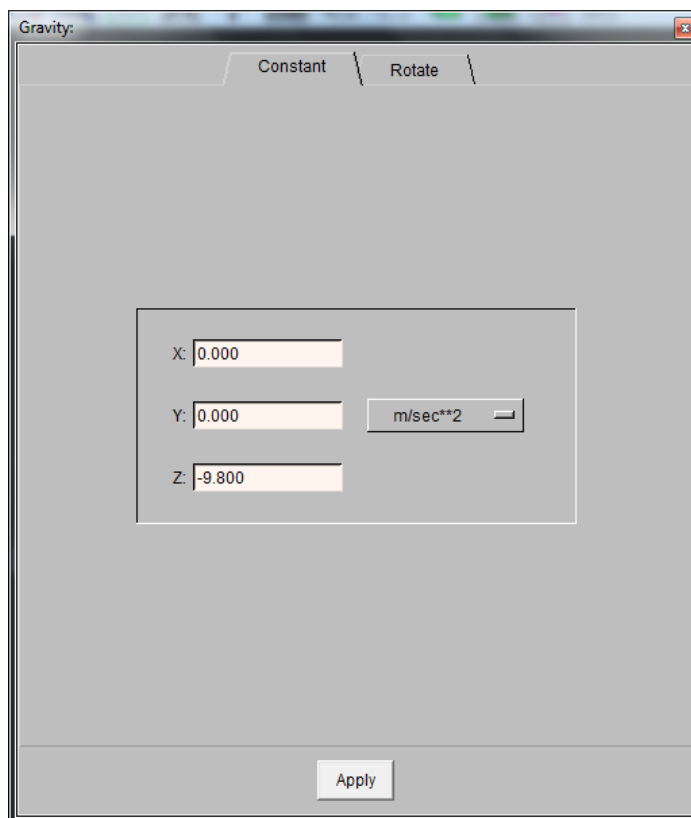


- Никаких дополнительных параметров для данного граничного условия задавать не надо.

1.2.5. Определение вектора силы тяжести

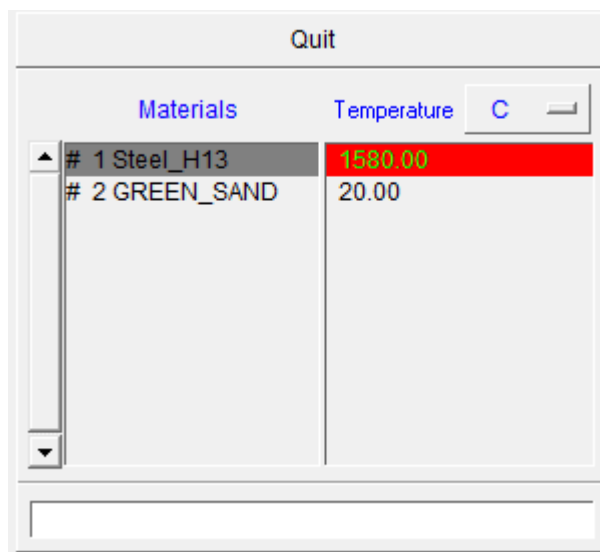
После выбора и настройки граничных условий необходимо определить положение модели в пространстве. Для этого выберите пункт меню **Process/Gravity**.

- Установите модель в правильном положении и определите направление вектора гравитации. В данном случае вектор гравитации будет направлен против оси Z, поэтому в окне **Gravity** необходимо ввести отрицательное значение гравитационной постоянной в поле Z.
- Нажмите два раза левой кнопкой мыши по литере Z (один щелчок дает положительное значение, два - отрицательное).
- Нажмите **Apply** для подтверждения.



1.2.6. Установка начальной температуры материалов

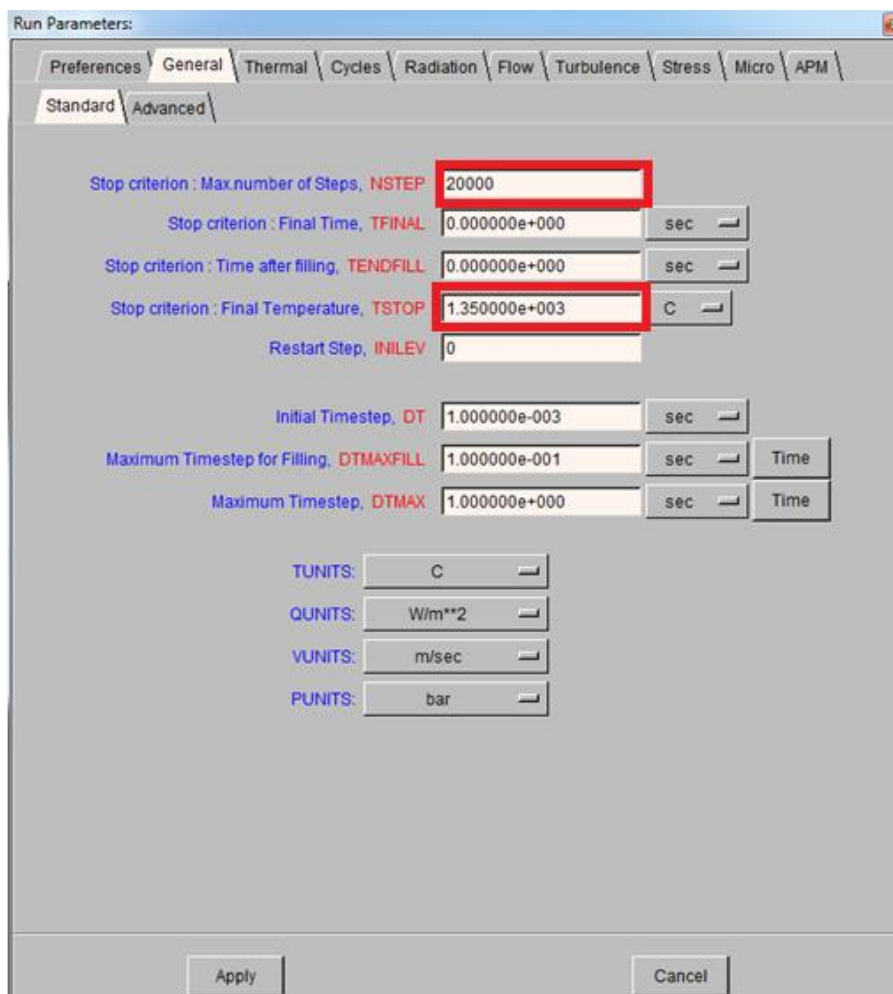
- Откройте меню **Initial Conditions / Constant**.
- В появившейся таблице необходимо для каждого материала выбрать соответствующую ему начальную температуру: для отливки это будет температура заливки, для формы - температура окружающей среды (т.к. форма не нагревается и не сушится перед заливкой). Используя строку ввода внизу списка, установите температуру каждого материала как показано на рисунке.



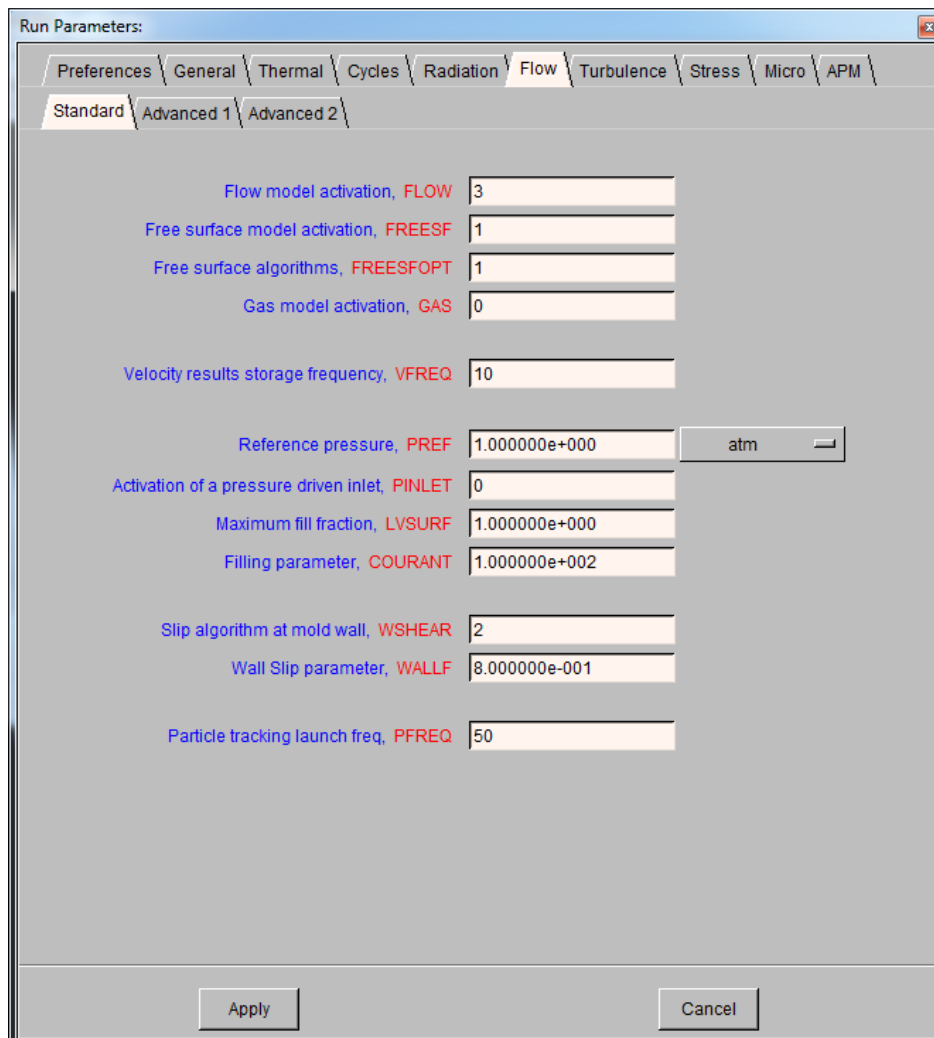
1.2.7. Настройка решателей ProCAST и запуск расчета

После установки всех данных процесса нужно настроить необходимые модули ProCAST для выполнения расчета. Откройте меню **Run Parameters**. Появится окно настройки решателей.

- Откройте вкладку **Preferences** и выберите в выпадающем меню параметр **Gravity Filling**.
- Откройте вкладку **General**.
 - В поле **NSTEP** укажите общее количество расчетных шагов моделирования, которых точно хватит для проведения расчета всей задачи. Значение по умолчанию - 2000. Как правило, 2000 шагов хватает только для небольшого расчета, поэтому введите 20000 расчетных шагов.
 - В поле **TSTOP** укажите температуру остановки расчета, которая ниже температуры Солидуса = 1350°C.



- Откройте вкладку **Flow**. Измените параметр **LVSURF** с 0,98 на 1. Параметр **LVSURF** указывает максимальный объем заполнения отливки, при значении 1 форма будет залита на 100% .



- Теперь можно сохранить проект, однако перед этим проведите оптимизацию сеточной модели. Для этого выберите в меню **File / Optimize**. Затем закройте окно PreCAST и подтвердите сохранение проекта. Перед выходом будет проведена оптимизация сетки, т.е. произойдет переименование и систематизация всех узлов и элементов сетки для более быстрого обращения к ним при расчете. Это в конечном итоге увеличит скорость расчета.

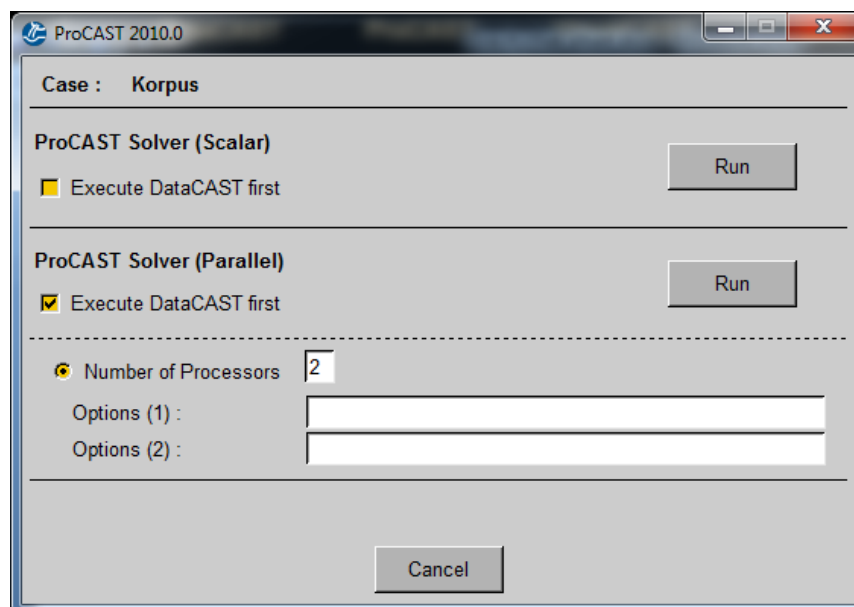
При сохранении проекта в PreCAST появляются два расчетных файла: *.dat и *d.dat. Они содержат всю необходимую информацию для запуска расчета: расчетную сетку проекта, материалы, граничные и начальные условия, параметры расчета.

- Запустите расчет: в файловом менеджере нажмите кнопку ProCAST в верхней части окна. Откроется окно запуска расчета. Если вы установили в настройках файлового менеджера использование многопроцессорной версии, то окно запуска будет включать два варианта запуска расчета:
 - ProCAST Solver (Scalar) - запуск однопроцессорной версии расчета;
 - ProCAST Solver (Parallel) - запуск многопроцессорной версии расчета.
- Поставьте галочку напротив **Execute DataCAST first**, относящегося к запуску нужного решателя.

Примечание:

Функция **Execute DataCAST first** используется для компиляции введенных в PreCAST данных в машинный код, необходимый для запуска расчета. Данная операция полностью повторяет действие модуля DataCAST. Использовать её необходимо только при первом запуске расчета; при перезапуске расчета с последнего сохраненного шага ставить галочку в поле **Execute DataCAST first** не нужно (иначе будут удалены все полученные ранее данные).

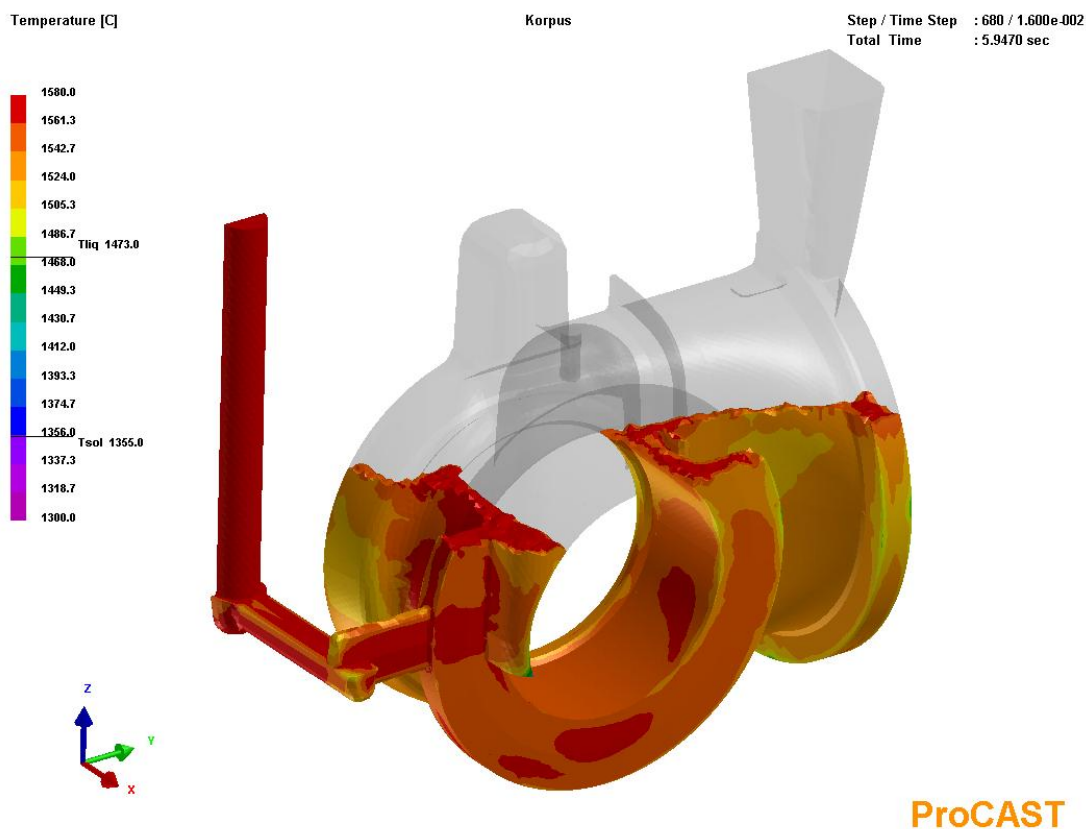
- В поле **Number of Processors** поставьте число участвующих в расчете процессоров. Для запуска расчета нажмите кнопку **Run**, относящейся к выбранному решателю (ProCAST Solver (Parallel)).



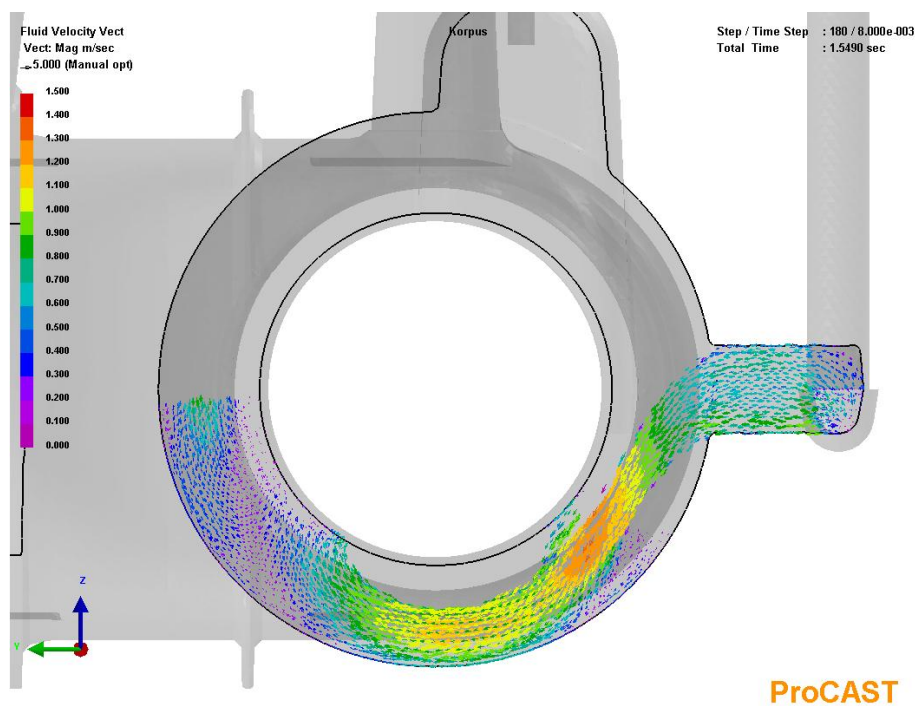
Примечание:

После вышеперечисленных действий будет запущено моделирование той модели, имя которой указано в поле **Case** файлового менеджера. Поэтому перед запуском убедитесь в правильности введенного имени в этой строке.

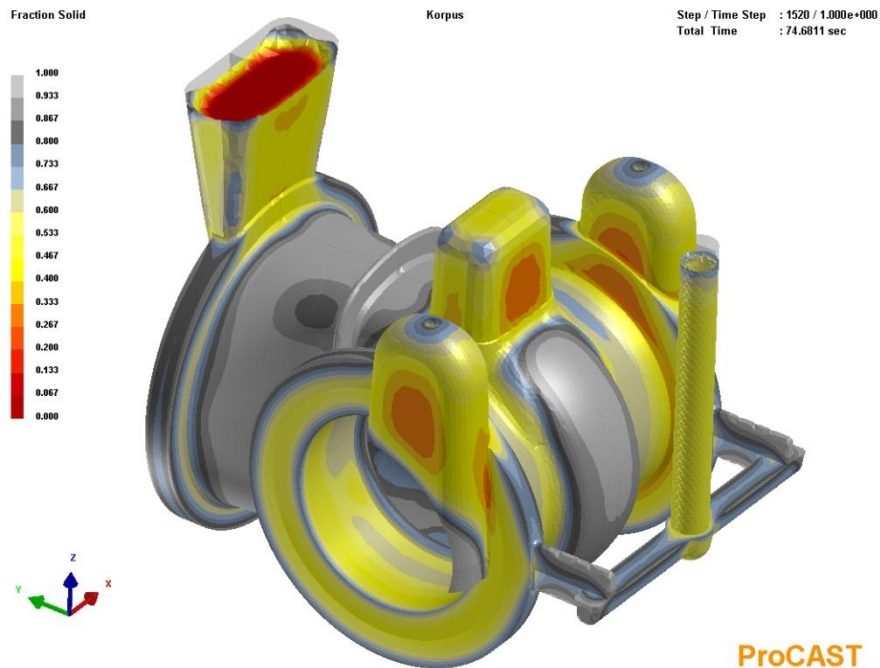
1.2.8. Результаты моделирования



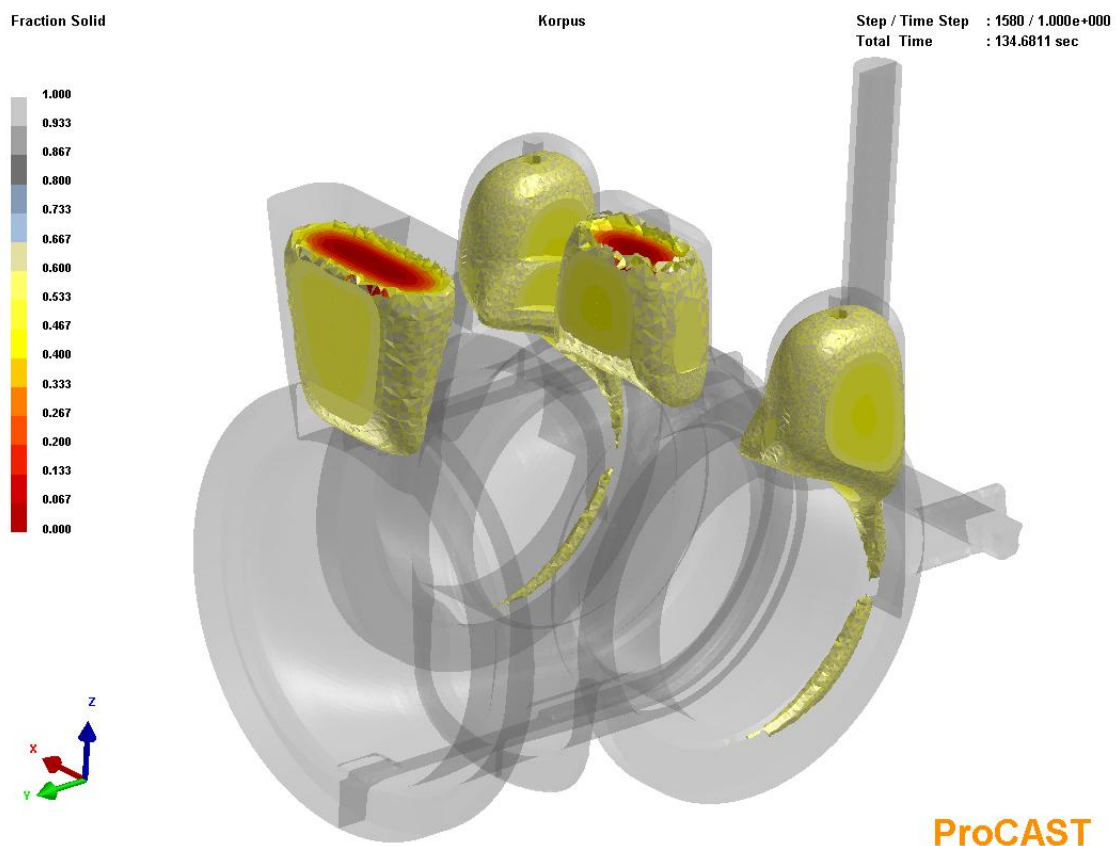
Поле распределения температуры



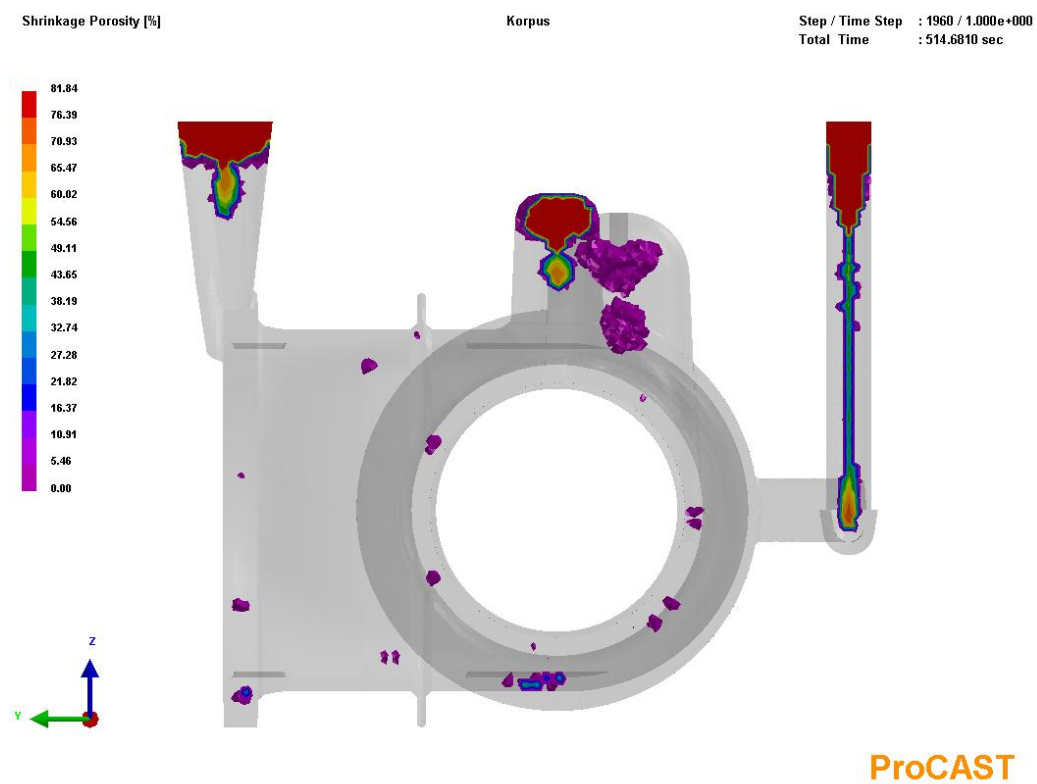
Векторное отображение течения потока жидкого металла



Распределение твердой фазы в сплаве



Распределение твердой фазы в сплаве



Анализ усадочной пористости

2. ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

2.1. РАСЧЕТ ЗАПОЛНЕНИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПРИ ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Для работы с задачей предлагаются следующие файлы:

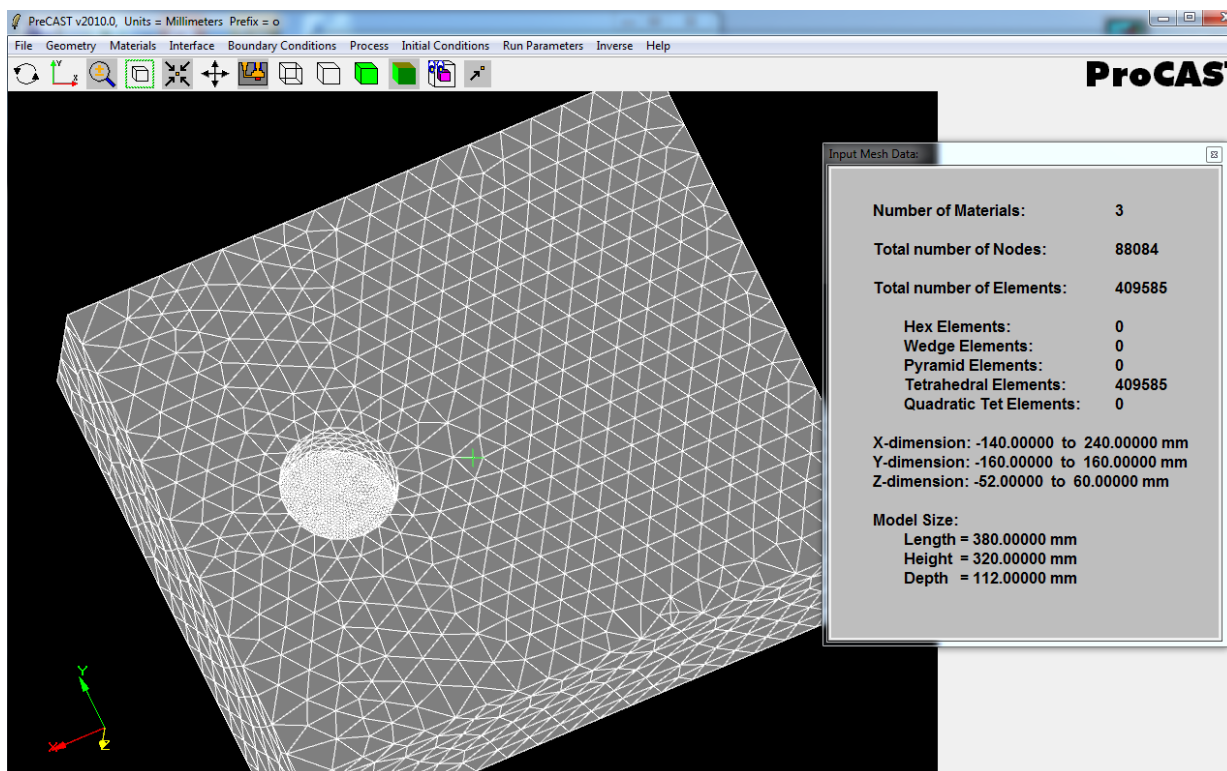
o.mesh: 3D объемная конечно-элементная сетка модели.

od.dat: Файл с готовыми данными.

op.dat: Файл с готовыми расчетными параметрами.

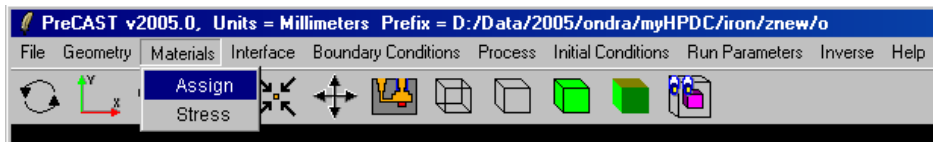
- Скопируйте файл o.mesh из директории **ProCASTtrainings/Filling** в новую папку.
- Запустите **ProCAST**. В файловом менеджере откройте только что созданную папку.
- Запустите **PreCAST**.

Из выбранного файла будет автоматически загружена сетка, а также появится окно с параметрами, описывающими сетку.

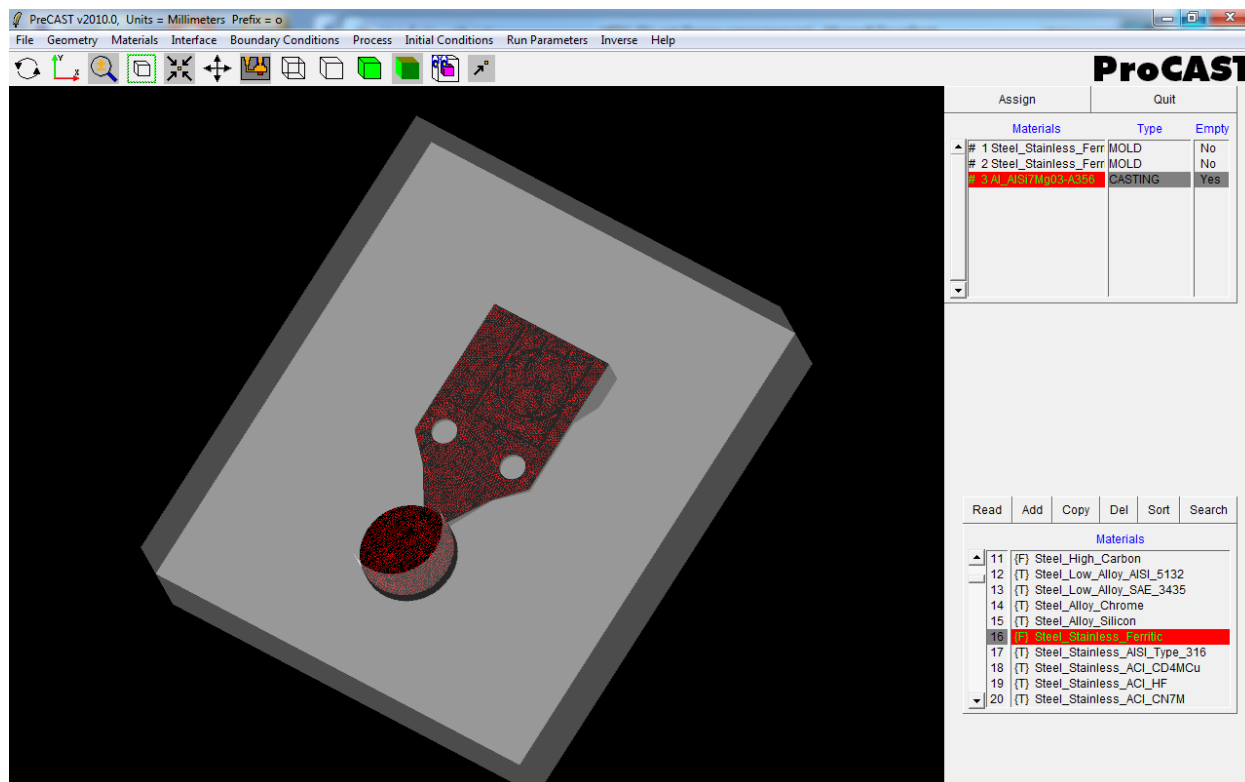


2.1.1. Задание материалов

- Выберите пункт меню **Materials/Assign**.

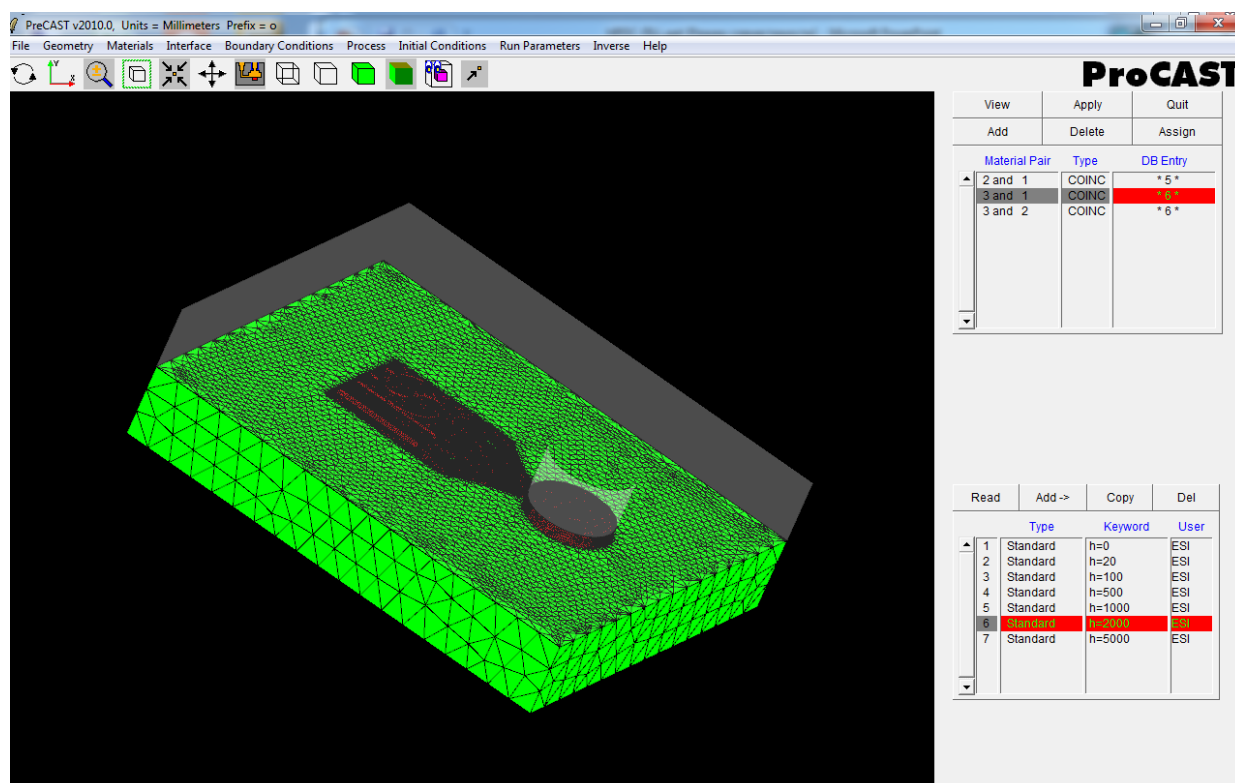


- Откроется новая панель, где имеются две таблицы. Верхняя таблица содержит перечень доменов модели, для которых задается материал. В нижней таблице представлена база данных материалов.
- Выберите для каждого домена соответствующий материал. В столбце **Type** установите тип материала и в столбце **Empty** укажите, заполнен ли домен соответствующим материалом в начальный момент времени (см. рисунок ниже).
 - Для формы задайте материал **Steel_Stainless_Ferritic**. Для отливки укажите материал **Al_AISi7Mg03-A356**.
 - В столбце **Empty** для отливки необходимо установить **Yes**, поскольку этот домен не заполнен в начальный момент времени.



2.1.2. Установка коэффициентов теплопередачи для контактов двух тел

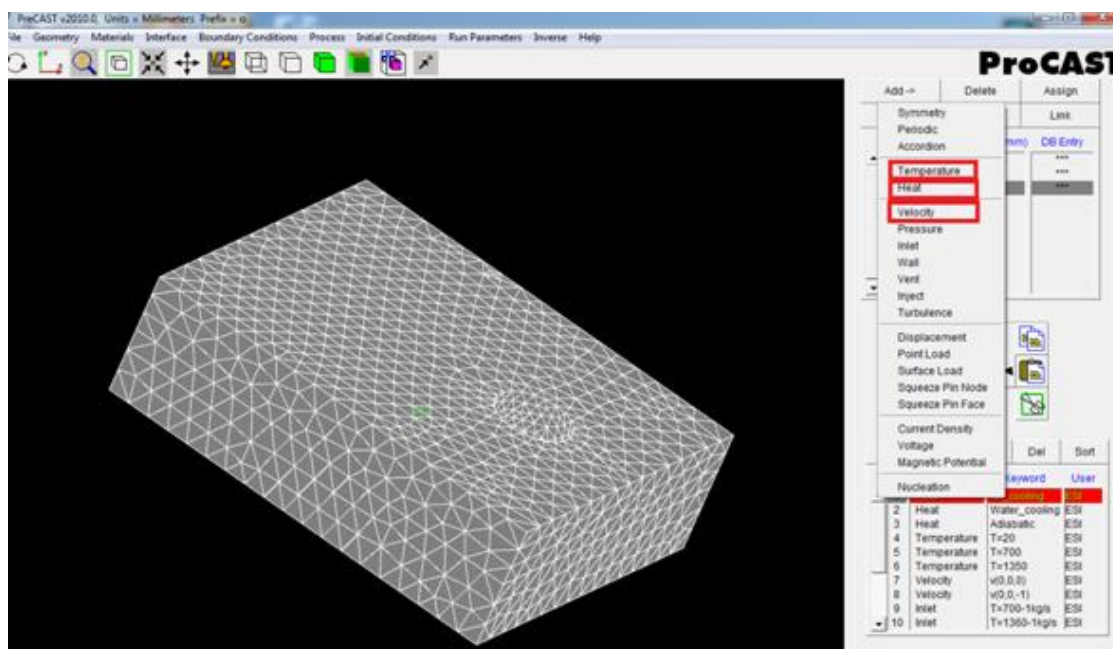
- Выберите пункт меню **Interface**. Здесь необходимо установить коэффициент теплопередачи для имеющихся контактных пар.
- В столбце **Type** должен быть установлен тип контакта **COINC**, поскольку описывается контакт разных тел, а не контакт типа отливка – отливка.
- Установите верную последовательность в доменах. Щелкните левой кнопкой мыши на любую строку в столбце **Material Pair**. На экране один домен выделится красным, другой зеленым цветом. Красным должны быть выделены области, соответствующие отливке, а зеленым остальные элементы модели. Если в каких-то случаях это не так, значит, задана неверная последовательность в парах. Изменить ее можно, щелкнув правой кнопкой мыши по имени пары доменов.
- В данном примере для поверхности раздела форма-форма установите коэффициент $h=1000$, а для поверхностей раздела форма – отливка выберите коэффициент $h=2000$.



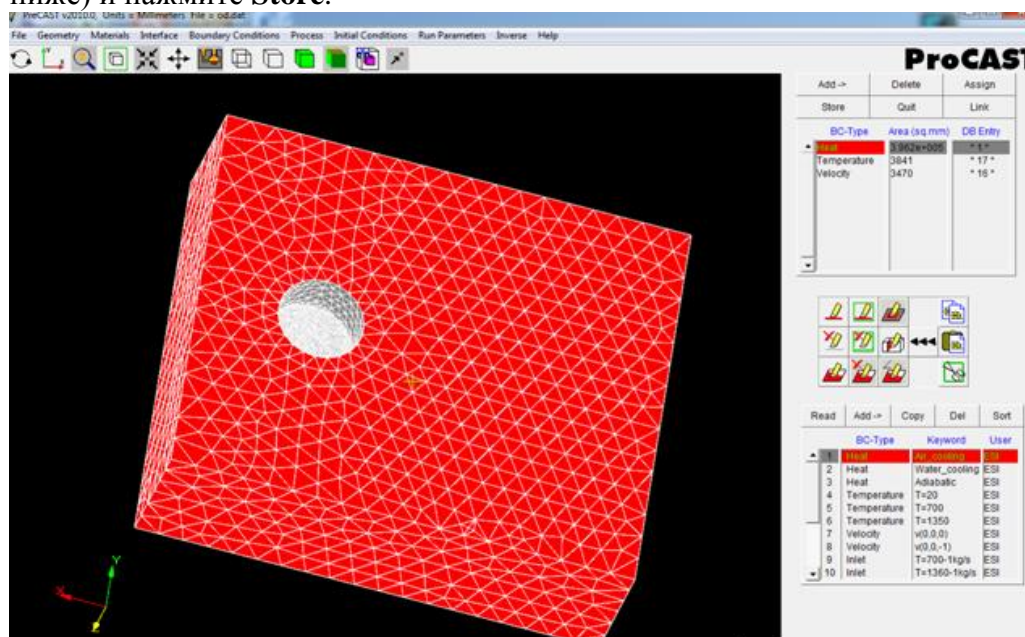
2.1.3. Установка граничных условий процесса

Далее следует задать граничные условия охлаждения формы и параметров заливки металла.

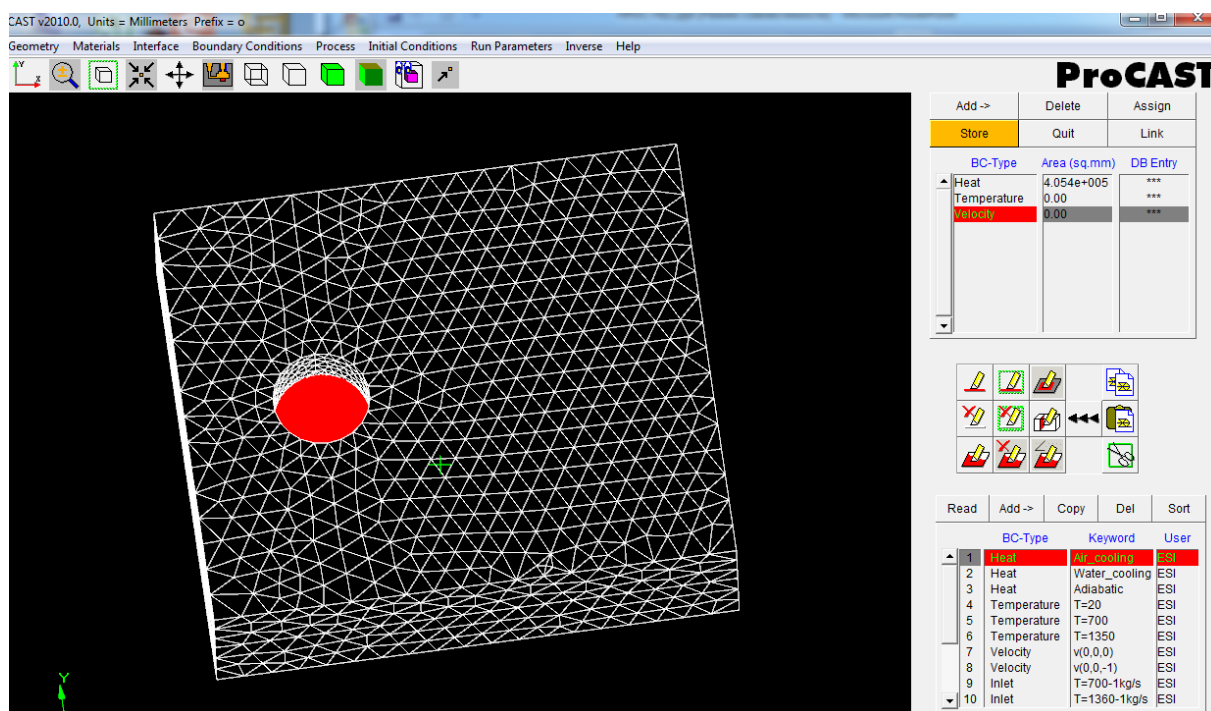
- Откройте пункт меню **Boundary Conditions / Assign Surface**.
- В верхней таблице добавьте граничные условия охлаждения внешних стенок формы (**Heat**), скорости (**Velocity**) и температуры (**Temperature**). Для этого щелкните на кнопку **Add** и выберите нужные условия.



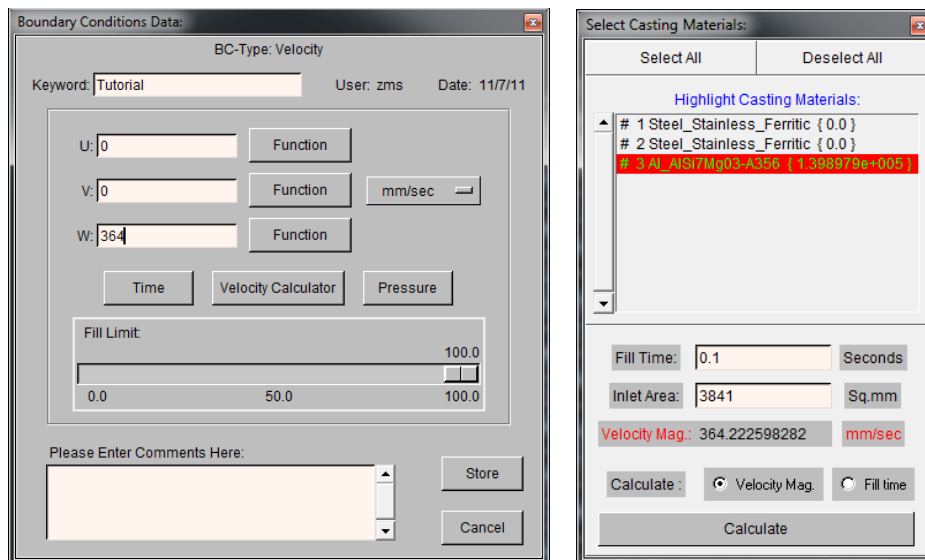
- Определите для каждого граничного условия поверхности, на которых они будут действовать.
- Для условия **Heat** выделите все внешние стороны формы (как показано на рисунке ниже) и нажмите **Store**.





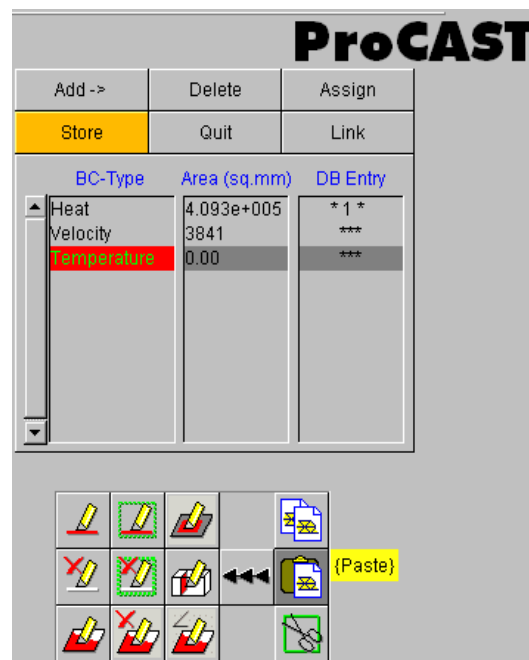
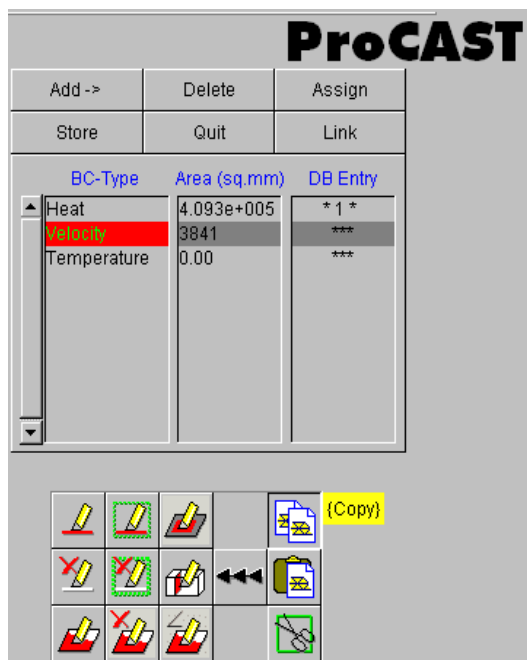
- Укажите значение воздушного охлаждения для граничного условия **Heat**. Для этого выберите в нижней таблице базы данных параметр **Heat / Air Cooling**, также укажите условие **Heat** в верхней таблице и нажмите кнопку **Assign**.
- Задайте поверхность для условия **Velocity** (выделите поверхность как показано ниже и щелкните **Store**).



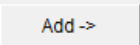
- Добавьте новое значение скорости в базу данных: нажмите в нижней таблице кнопку **Add / Velocity**.
 - Откроется окно **Boundary Conditions Data**.
 - В поле **U**, **V**, и **W** необходимо ввести значение скорости потока по каждой составляющей оси **X**, **Y** и **Z** соответственно. В данном случае вектор скорости потока будет направлен по ходу движения поршня.
 - Используйте опцию **Velocity Calculator**. Данный инструмент позволяет рассчитать среднюю скорость потока, исходя из общего времени заливки. Нажмите кнопку **Velocity Calculator**, откроется новое окно (см. рисунок ниже). В поле **Fill Time** введите время заливки формы = 0.1 с и нажмите кнопку **Calculate**. Расчетная скорость потока металла будет отображена в поле **Velocity Mag**. В данном случае **364 мм/с**.
Обратите внимание, что скорость была рассчитана в единицах измерения мм/с, поэтому справа от введенного значения скорости необходимо указать те же единицы (mm/sec).



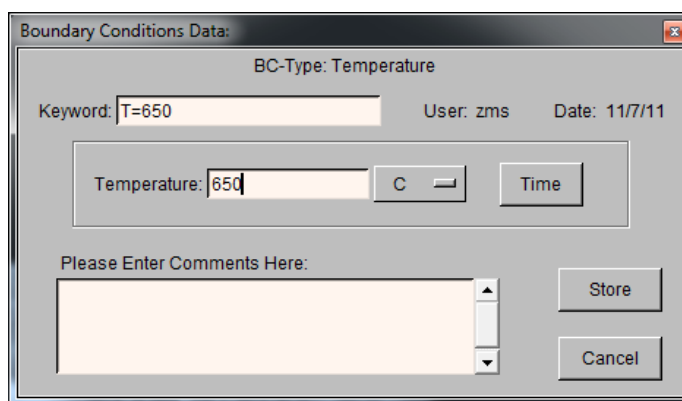
- Нажмите кнопку **Store**, чтобы сохранить введенное значение скорости и добавьте его к установленному граничному условию **Velocity**, используя кнопку **Assign**.
- Укажите поверхность для условия **Temperature** (та же что и для условия **Velocity**). Для того чтобы заново не выделять поверхность щелкните на строку **Velocity** и нажмите на кнопку **Copy** (иконка ). Далее щелкните на строку **Temperature**, нажмите на кнопку **Paste** (иконка ) и **Store**.



- Теперь укажите значение температуры для этого граничного условия. Оно должно соответствовать температуре заливки металла. В данном случае температура

заливки составляет 650 °С. Такого значения в базе данных нет, поэтому необходимо добавить новую запись. Для этого в нижней таблице базы данных нажмите кнопку  и выберите во всплывающем меню параметр **Temperature**. Откроется пустое окно **Boundary Enter Comments Here**. Введите в поле **Keyword: T=650**, в поле **Temperature** значение 650.

- Нажмите кнопку **Store**, чтобы сохранить новый параметр в базу данных.

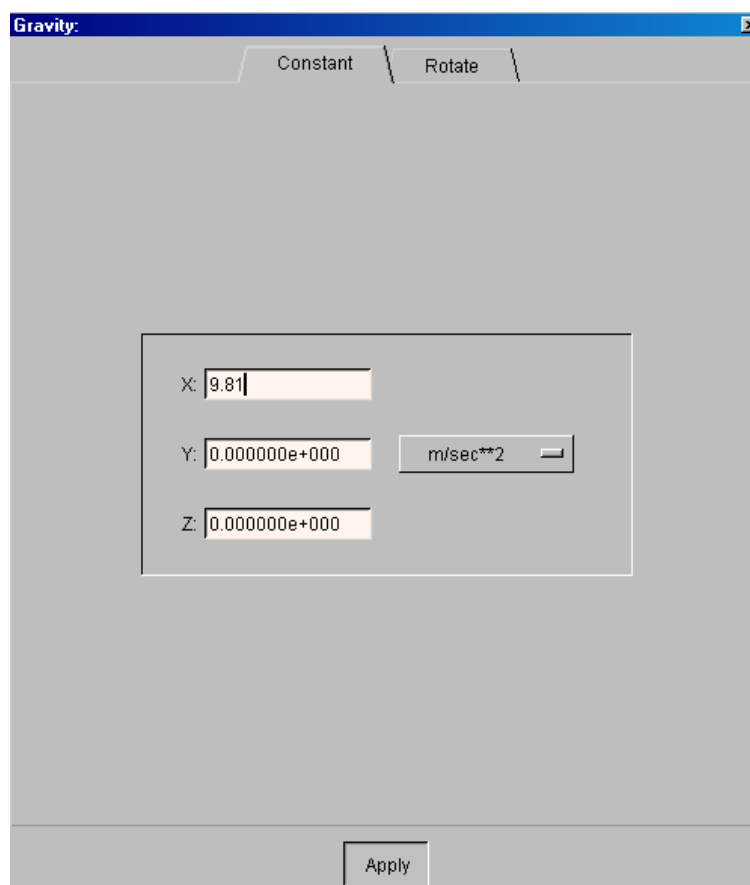


- Выберите в базе данных только что созданное значение температуры, укажите в списке граничных условий (верхняя таблица) параметр **Temperature** и нажмите кнопку **Assign**. Температура потока металла задана.

2.1.4. Определение вектора силы тяжести

После выбора и настройки граничных условий необходимо определить положение модели в пространстве. Для этого выберите пункт меню **Process – Gravity**.

- Установите модель в правильном положении и определите направление вектора гравитации. В данном случае вектор гравитации будет направлен вдоль оси **X**, поэтому в окне **Gravity** необходимо ввести положительное значение гравитационной постоянной в поле **X**.
- Нажмите один раз левой кнопкой мыши по литере **X**.
- Нажмите **Apply**.



2.1.5. Определение начальных температур материалов

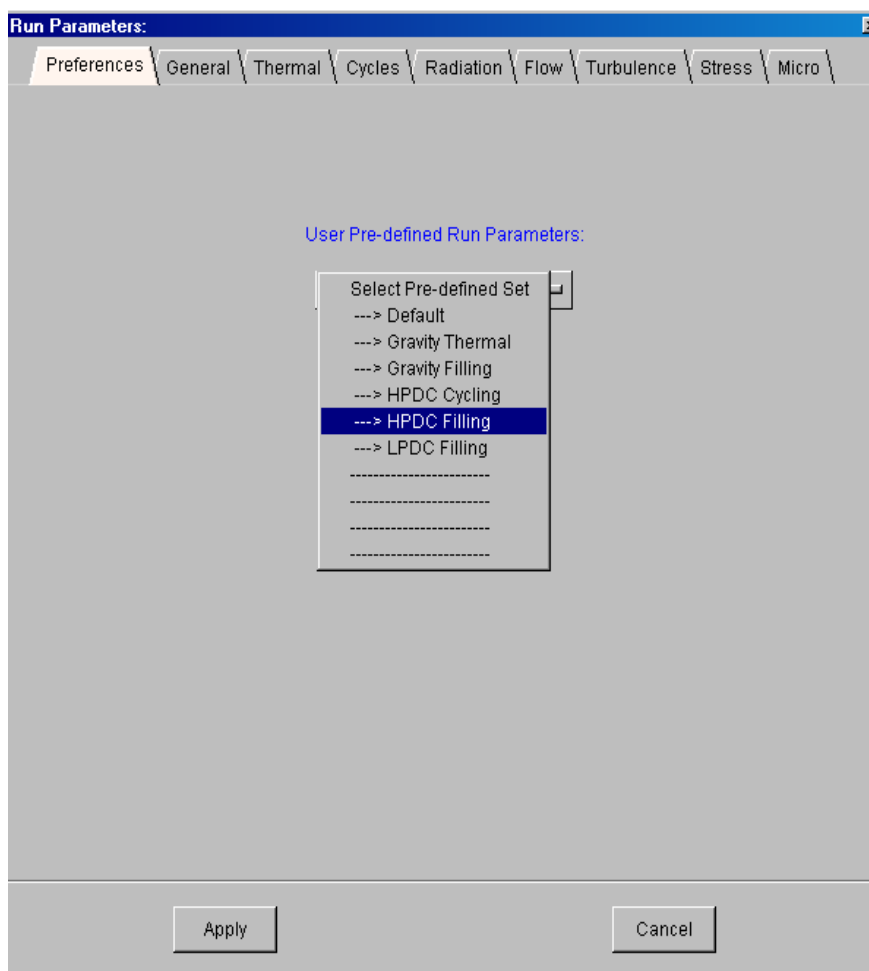
- Откройте меню **Initial Conditions / Constant**.
- В появившейся таблице необходимо для каждого материала выбрать соответствующую ему начальную температуру: для отливки это будет температура заливки, для формы – температура нагрева формы перед заливкой = 140 °С. Используя строку ввода внизу списка, установите температуру каждого материала как показано ниже.

Materials	Temperature
# 1 Steel_Stainless_Fi	140.00
# 2 Steel_Stainless_Fi	140.00
# 3 Al_AlSi7Mg03-A35k	650.00

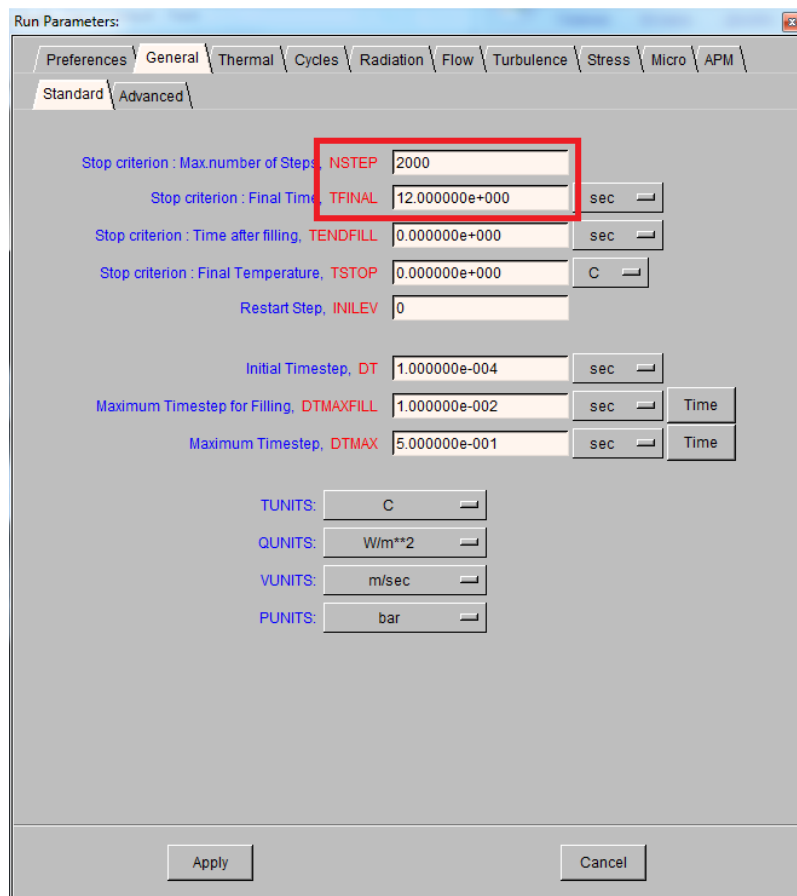
2.1.6. Настройка решателей ProCAST и запуск расчета

После установки всех данных процесса необходимо настроить необходимые модули ProCAST для выполнения расчета. Откройте меню **Run Parameters**, появится окно настройки решателей.

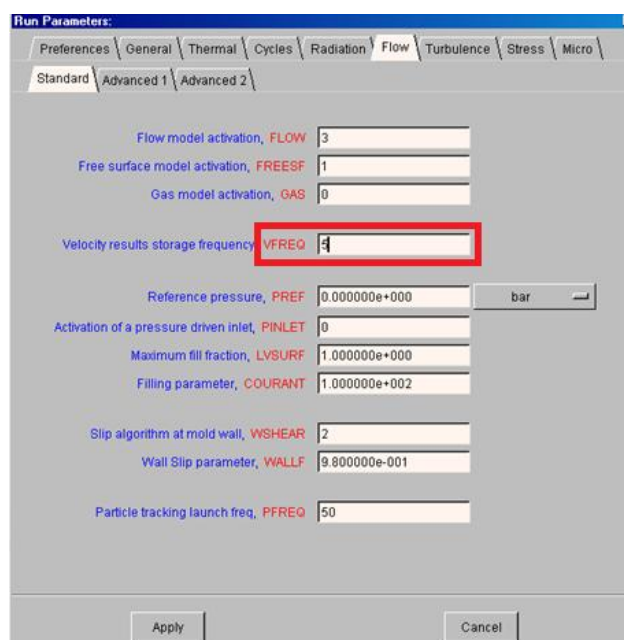
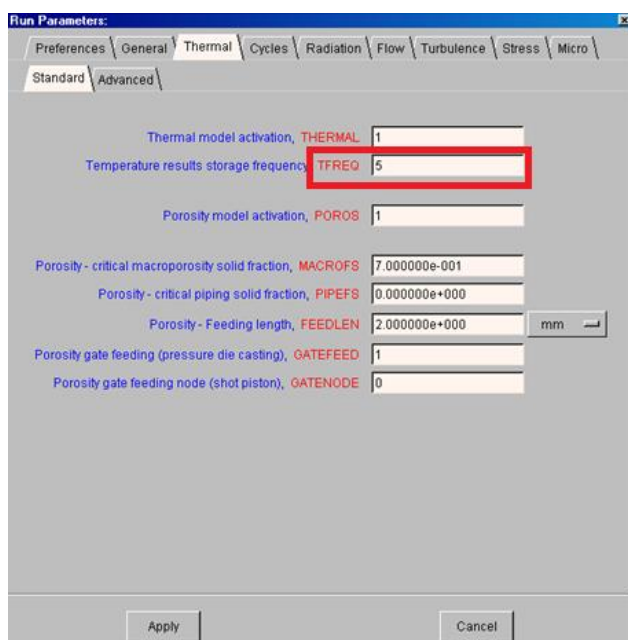
- Откройте вкладку **Preferences** и выберите в выпадающем меню параметр **HPDC Filling** (расчет заливки и кристаллизации для литья под высоким давлением).



- Откройте вкладку **General**.
 - В поле **NSTEP** укажите общее количество расчетных шагов моделирования, которых точно хватит для проведения всего расчета. Не изменяйте установленное по умолчанию значение 2000.
 - В поле **TFINAL** введите значение **12 с** (время извлечения отливки из формы).

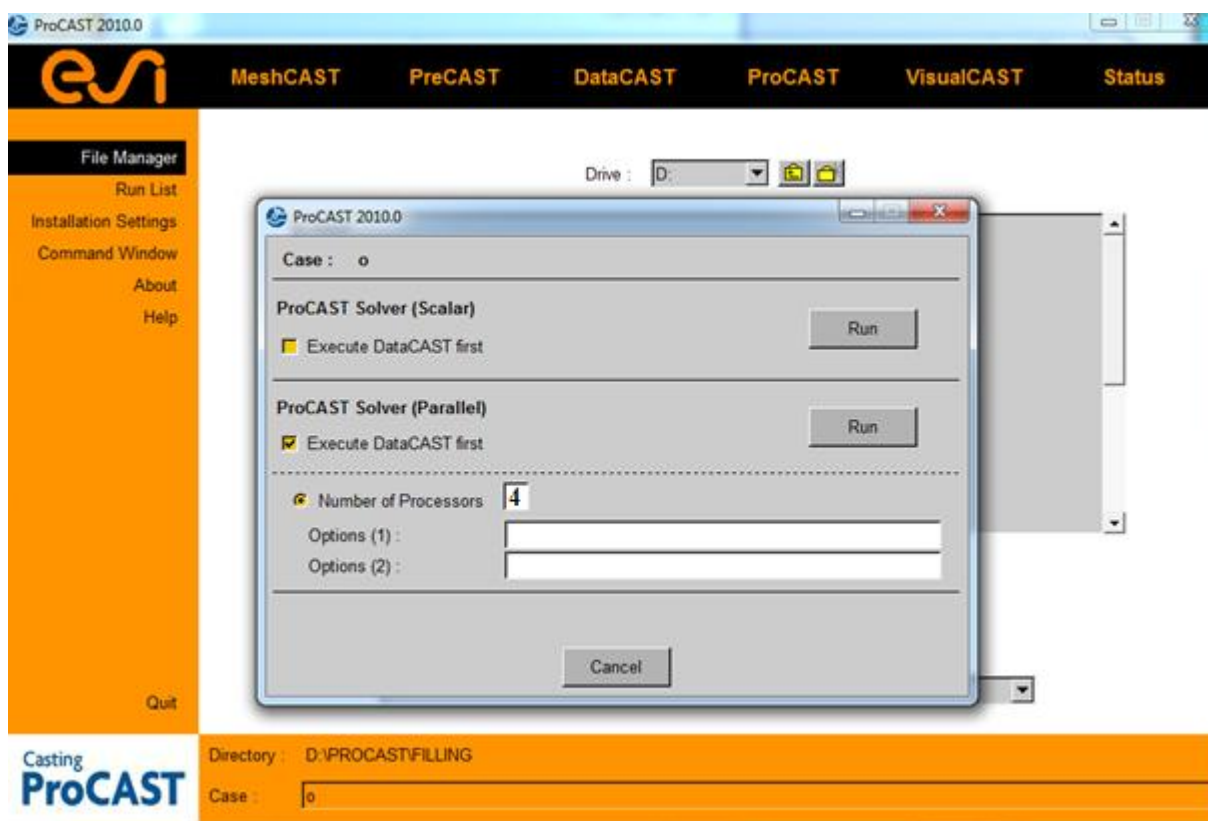


- Во вкладке **Flow** в поле **VFREQ** и во вкладке **Thermal** в поле **TFREQ** измените установленное по умолчанию число шагов, после которых происходит сохранение расчета (10). Введите значение 5. Это необходимо для получения более полной картины заполнения и кристаллизации вследствие небольшого времени протекания самого процесса.



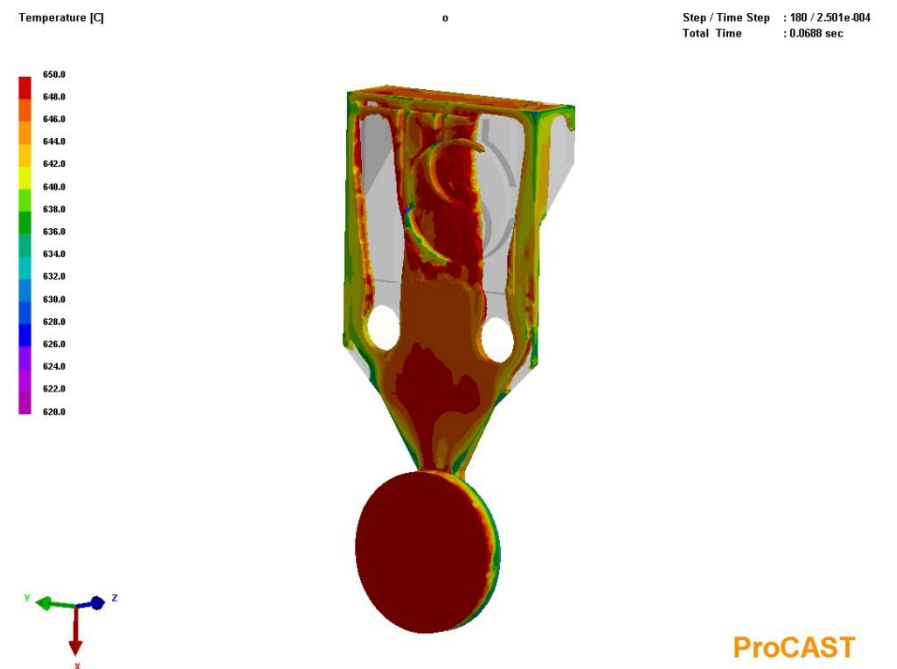
- Нажмите **Apply** для сохранения всех установок.

- Теперь можно сохранить проект, однако перед этим проведите оптимизацию сеточной модели. Для этого выберите в меню **File / Optimize**. Затем закройте окно PreCAST и подтвердите сохранение проекта.
- Запустите расчет: в файловом менеджере нажмите кнопку ProCAST в верхней части окна. Откроется окно запуска расчета. Если вы установили в настройках файлового менеджера использование многопроцессорной версии, то окно запуска будет включать два варианта запуска расчета:
 - ProCAST Solver (Scalar) - запуск однопроцессорной версии расчета;
 - ProCAST Solver (Parallel) - запуск многопроцессорной версии расчета.
- Поставьте галочку напротив **Execute DataCAST first**, относящейся к запуску нужного решателя.

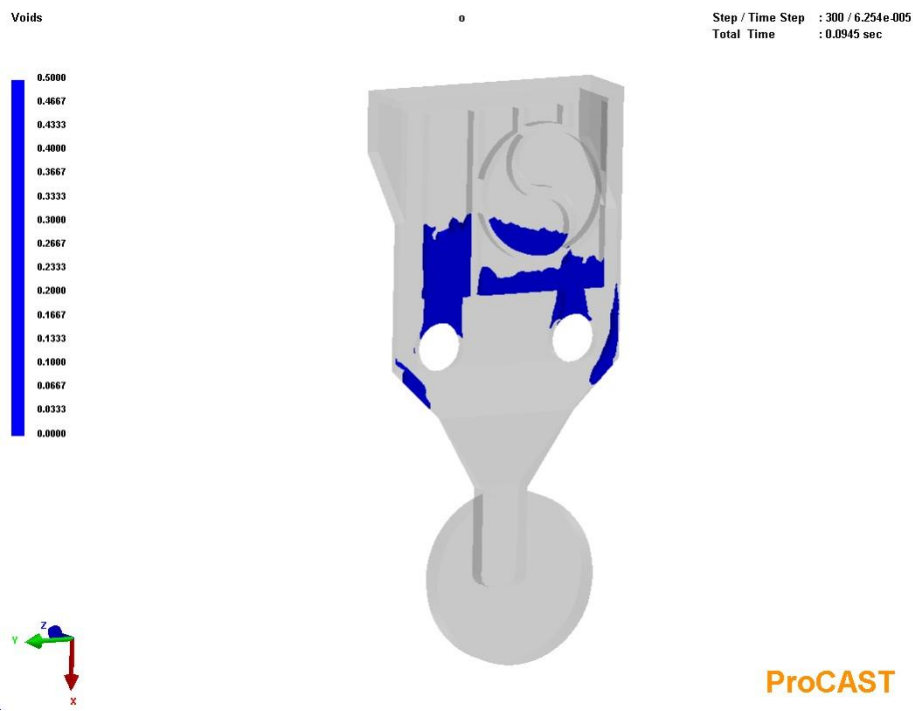


- В поле **Number of Processors** поставьте число участвующих в расчете процессоров. Для запуска расчета нажмите кнопку **Run**, относящейся к выбранному решателю (ProCAST Solver (Parallel)).

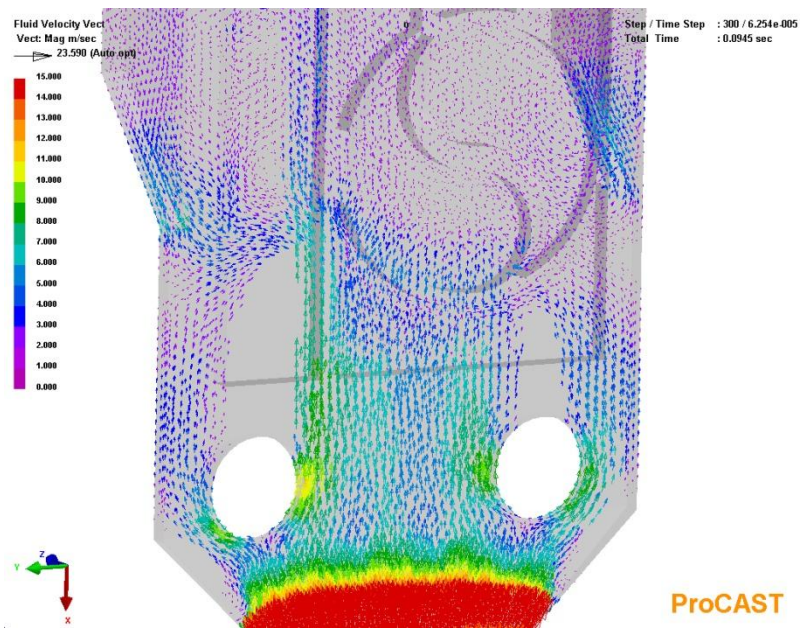
2.1.7. Результаты расчета



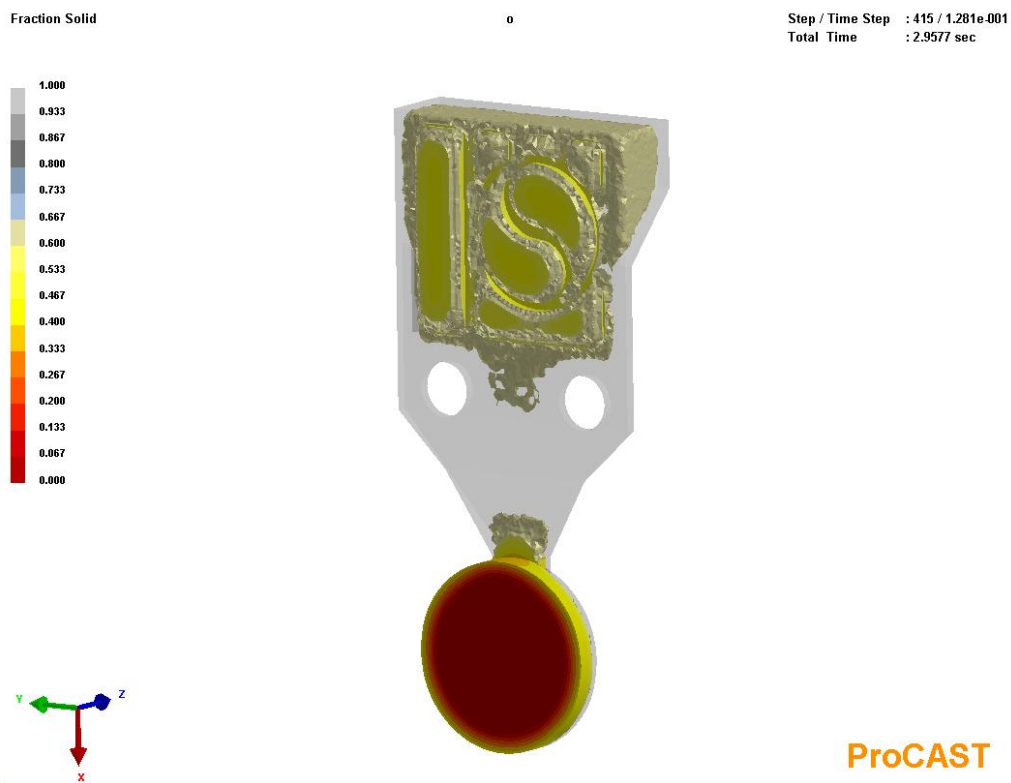
Температурное поле



Анализ эвакуации воздуха из полости пресс-формы



Вектора течения потока металла



Распределение твердой фазы в сплаве



Образование усадочной пористости

2.2. РАСЧЕТ С УЧЕТОМ ДВИЖЕНИЯ ПОРШНЯ

Для работы с задачей предлагаются следующие файлы:

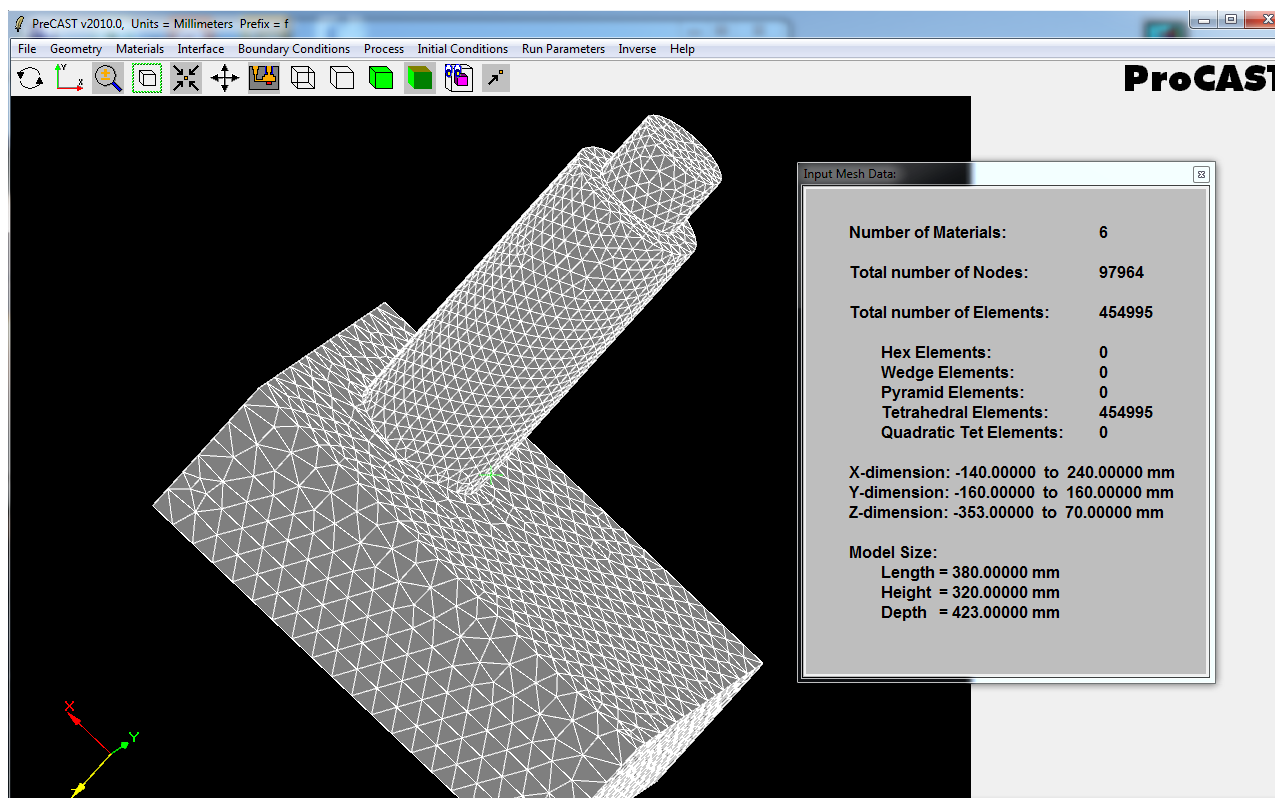
piston.mesh: 3D объемная конечно-элементная сетка модели.

pistond.dat: Файл с готовыми данными.

pistonp.dat: Файл с готовыми расчетными параметрами.

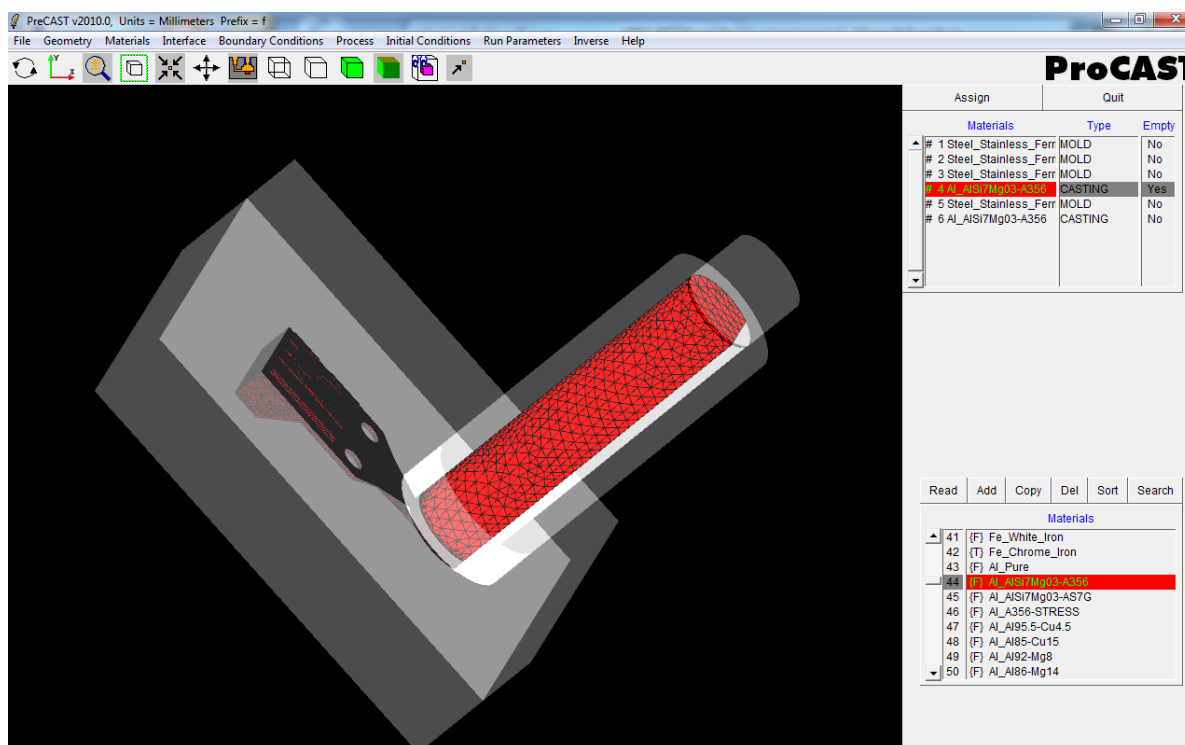
- Скопируйте файл piston.mesh из директории **ProCASTtrainings/Piston** в новую папку.
- Откройте в файловом менеджере (File Manager) созданную папку.
- Запустите **PreCAST**.

Из выбранного файла будет автоматически загружена сетка, а также появится окно с параметрами, описывающими сетку.



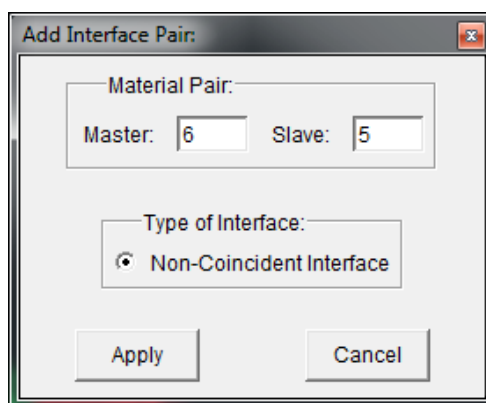
2.2.1. Задание материалов

- Выберите пункт меню **Materials/Assign**.
- Выберите для каждого домена подходящий материал. В столбце **Type** установите тип материала и в столбце **Empty** укажите, заполнен ли домен материалом в начальный момент времени.
 - Для всех доменов, относящихся к форме, задайте материал **Steel_Stainless_Ferritic**. Для полости и жидкого металла укажите материал отливки **Al_AISi7Mg03-A356**.
 - В столбце **Type** выберите **Mold** для элементов формы и **Casting** для доменов жидкого металла и полости.
 - В столбце **Empty** необходимо установить **Yes** только для полости, поскольку только данный домен не заполнен материалом в начальный момент времени.



2.2.2. Установка коэффициентов теплопередачи для контактов двух тел

- Выберите пункт меню **Interface**. Здесь необходимо установить коэффициент теплопередачи для имеющихся контактных пар.
- Создайте дополнительно еще три контактных пары NCOINC: жидкий металл – поршень, полость формы – поршень, стакан – поршень.
- Для этого нажмите **Add**. Введите в поля **Master** и **Slave** соответствующие номера доменов (поршень – 5, полость – 4, жидкий металл – 6, стакан – 1).
- После заполнения полей нажмите **Apply**. Точно также создайте еще 2 пары (1 и 5; 4 и 5).



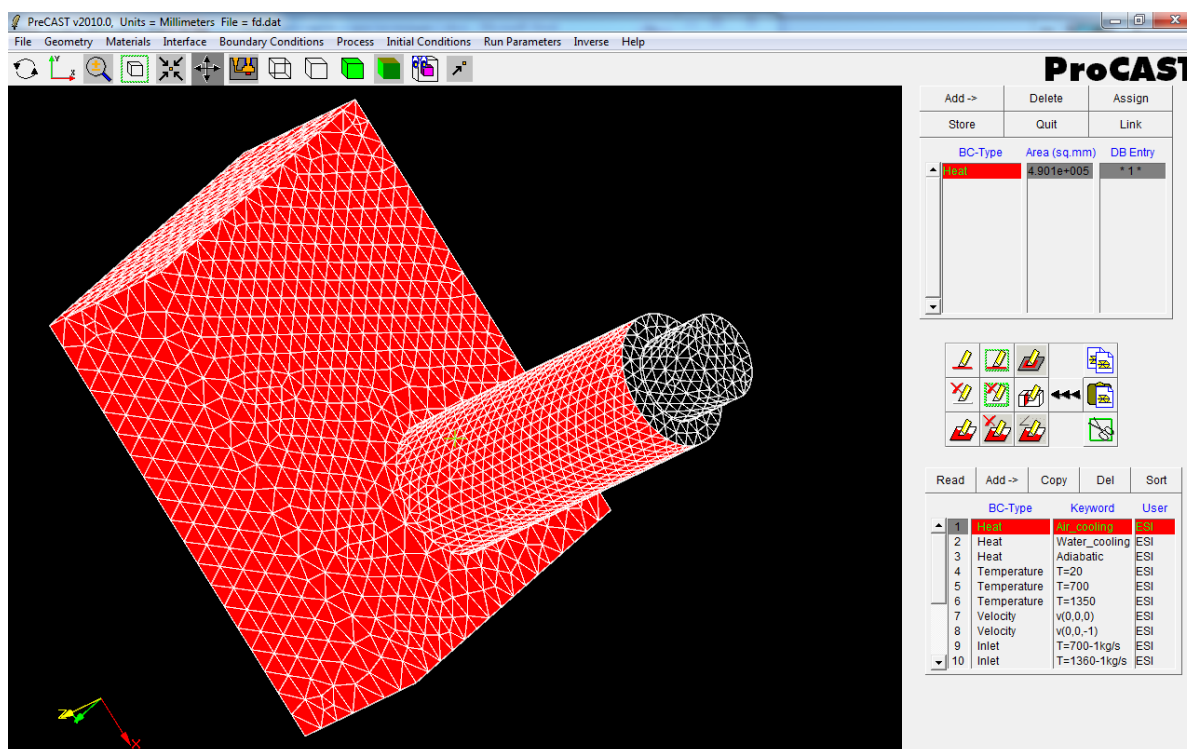
- Установите верную последовательность в доменах. Щелкните левой кнопкой мыши на любую строку в столбце **Material Pair**. На экране один домен выделится красным, другой зеленым цветом. Красным должны быть выделены области, соответствующие отливке, а зеленым остальные элементы модели. Если в каких-то случаях это не так, значит, задана неверная последовательность в парах. Изменить ее можно, щелкнув правой кнопкой мыши по имени пары доменов.
- В столбце **Type** должен быть установлен тип **COINC** для контактов типа форма – отливка, тип **EQUIV** для контакта типа отливка – отливка (в данном случае контакт между доменами металла и полости) и тип **NCOINC** для трех вновь созданных пар.
- В данном примере для поверхности раздела форма-форма установите коэффициент $h=1000$, а для поверхностей раздела форма – отливка (стакан - поршень) выберите коэффициент $h=2000$.

View	Apply	Quit
Add	Delete	Assign
Material Pair	Type	DB Entry
6 and 4	EQUIV	***
2 and 1	COINC	* 5 *
4 and 2	COINC	* 6 *
2 and 3	COINC	* 5 *
6 and 2	COINC	* 6 *
4 and 1	COINC	* 6 *
6 and 1	COINC	* 6 *
4 and 3	COINC	* 6 *
6 and 3	COINC	* 6 *
6 and 5	NCOINC	* 6 *
1 and 5	NCOINC	* 5 *
4 and 5	NCOINC	* 6 *

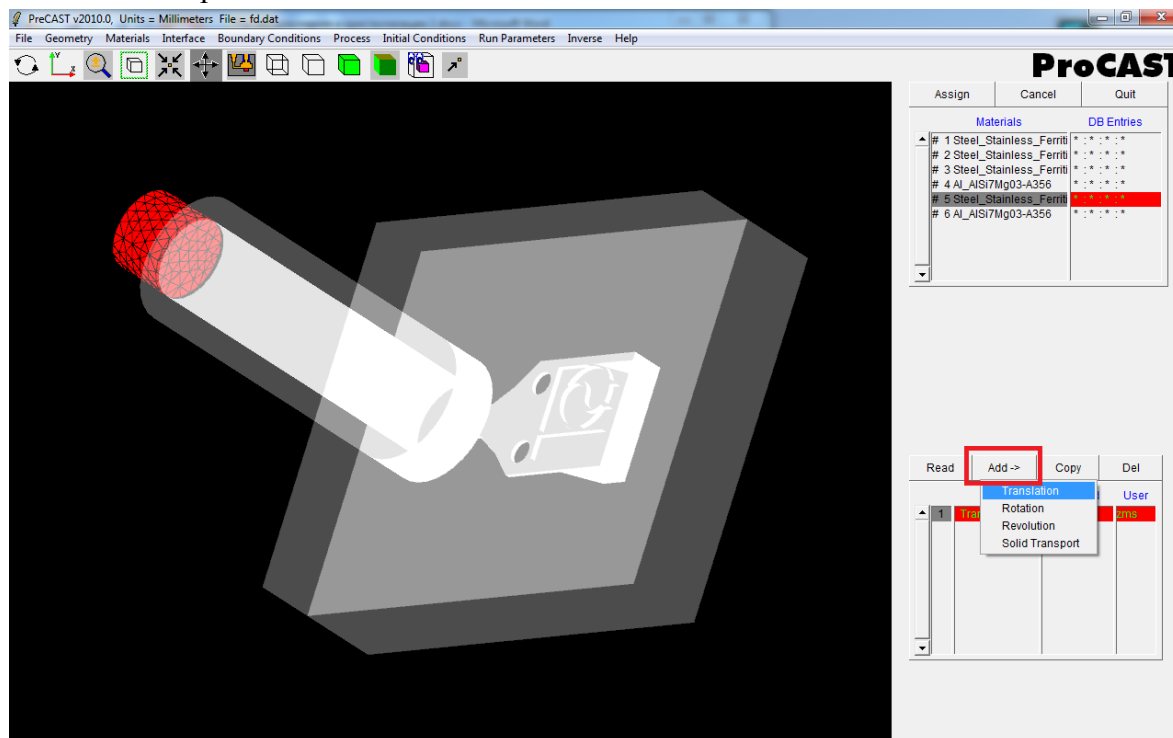
2.2.3. Установка граничных условий процесса

Далее следует задать граничные условия охлаждения формы.

- Откройте пункт меню **Boundary Conditions / Assign Surface**.
- В верхней таблице добавьте граничное условие охлаждения внешних стенок формы (**Heat**). Для этого щелкните на кнопку **Add** и выберите **Heat**.
- Определите поверхность, на которой будет действовать новое условие. Выделите все внешние стороны формы (как показано на рисунке ниже) и нажмите **Store**.
- Укажите значение воздушного охлаждения для граничного условия **Heat**. Для этого выберите в нижней таблице базы данных параметр **Heat / Air Cooling**, также укажите параметр **Heat** в верхней таблице и нажмите кнопку **Assign**.



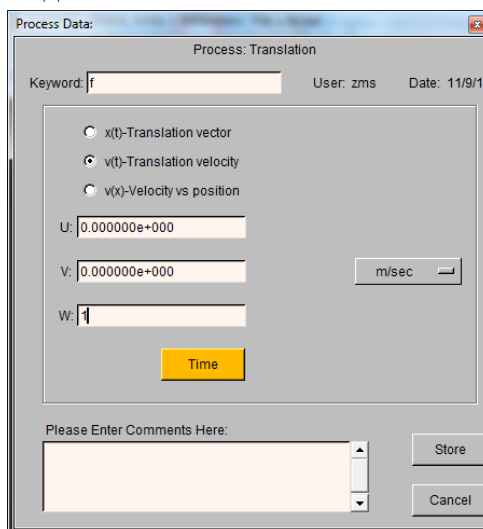
- Назначьте для поршня условие перемещения.
 - Выберите пункт меню **Process / Assign Volume**.
 - Выберите в верхней таблице 5 домен (поршень). В нижней таблице нажмите **Add** и выберите **Translation**.



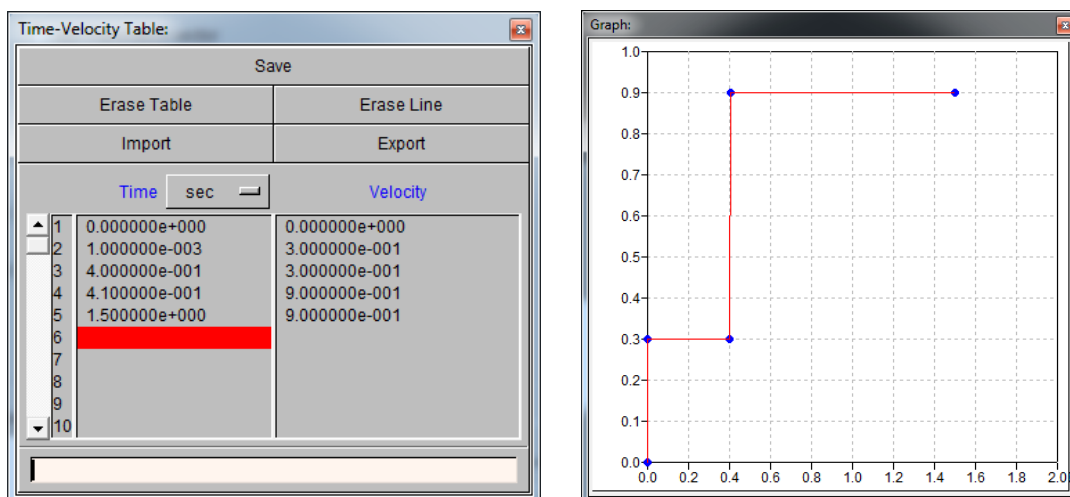
- Откроется окно **Process Data**, где устанавливается значение скорости перемещения поршня.

Можно задать постоянную (ввести значение скорости в поле U, V или W, соответствующие направлению по оси X, Y и Z) либо переменную скорость. Для учета трех стадий заполнения формы при литье под высоким давлением, необходимо задать переменную скорость движения поршня.

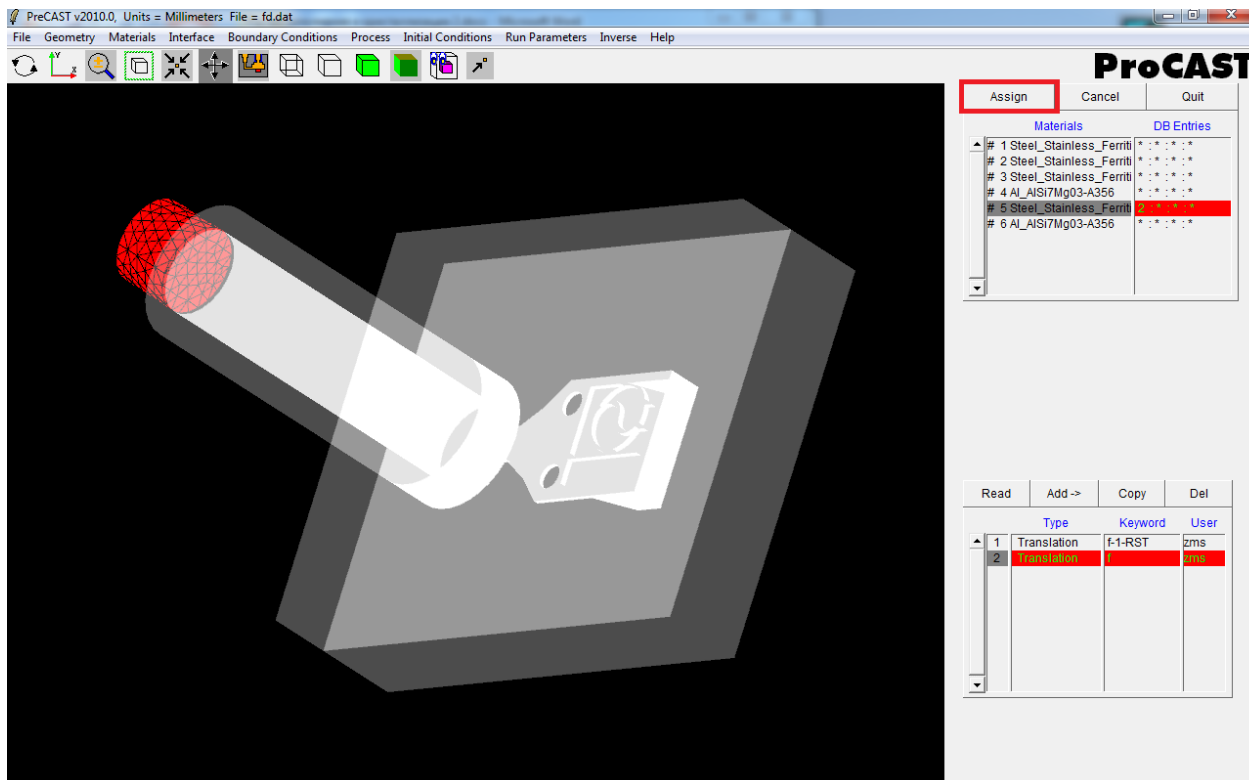
 - Задайте направление вектора скорости движения поршня (в данном случае вдоль оси Z). Для этого введите 1 в поле **W**.



- Нажмите на кнопку **Time**. Появятся два новых окна: **Time-Velocity table** (вводятся значения времени и скорости для каждого момента времени) и **Graph** (строит график зависимости скорости от времени).
- Введите данные в таблицу **Time-Velocity table** как показано ниже (для ввода используйте строку под таблицей).



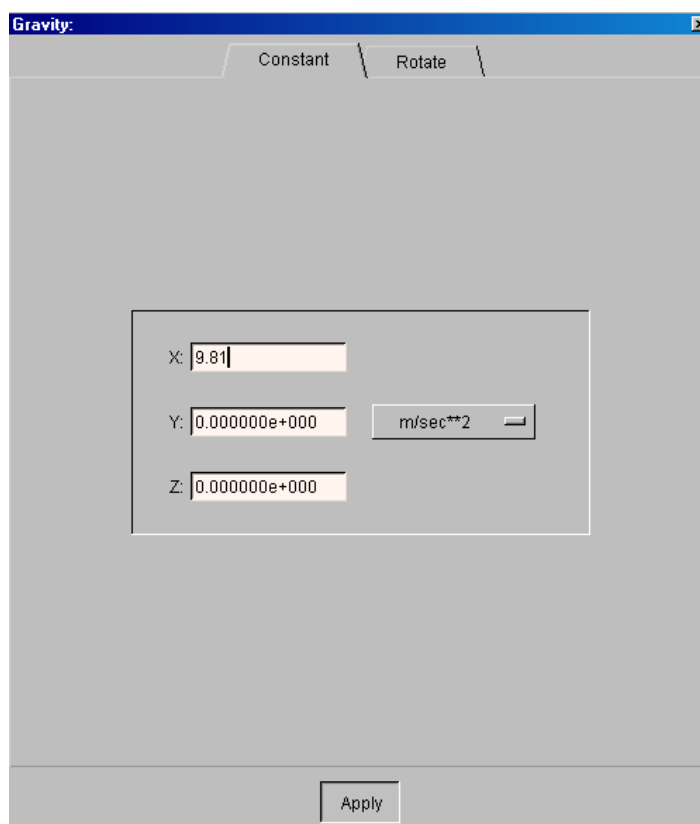
- После ввода всех значений нажмите **Save**, для сохранения параметров.
- Нажмите **Store** в окне **Process Data** для сохранения новых условий.
- В нижней таблице выберите только что созданное условие и щелкните **Assign**.



2.2.4. Определение вектора силы тяжести

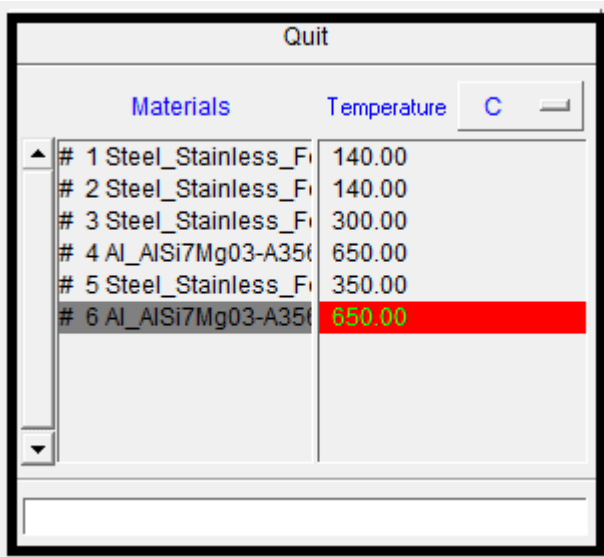
После выбора и настройки граничных условий необходимо определить положение модели в пространстве. Для этого выберите пункт меню **Process – Gravity**.

- Установите модель в правильном положении и определите направление вектора гравитации. В данном случае вектор гравитации будет направлен вдоль оси **X**, поэтому в окне **Gravity** необходимо ввести положительное значение гравитационной постоянной в поле **X**.
- Нажмите один раз левой кнопкой мыши по литере **X**.
- Нажмите **Apply**.



2.2.5. Определение начальных температур материалов

- Откройте меню **Initial Conditions / Constant**.
- В появившейся таблице необходимо для каждого материала выбрать соответствующую ему начальную температуру: для отливки это будет температура заливки $T = 650\text{ }^{\circ}\text{C}$, для формы – температура нагрева формы = $140\text{ }^{\circ}\text{C}$, для стакана $T = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$, для поршня $T = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$. Используя строку ввода внизу списка, установите температуру каждого материала как показано ниже.

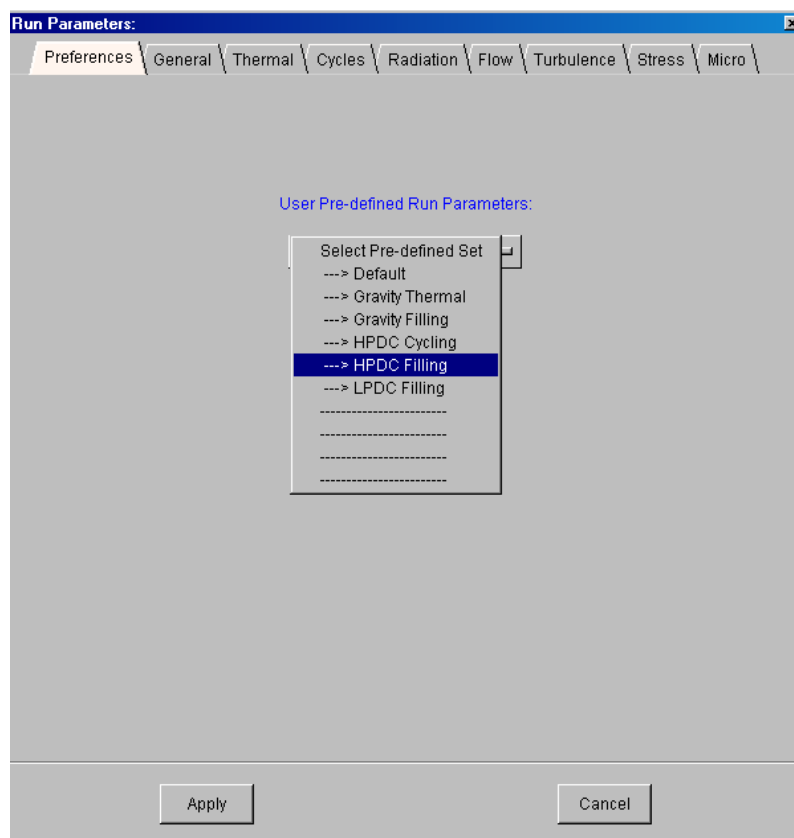


Materials	Temperature	C
# 1 Steel_Stainless_Fi	140.00	
# 2 Steel_Stainless_Fi	140.00	
# 3 Steel_Stainless_Fi	300.00	
# 4 Al_AlSi7Mg03-A356	650.00	
# 5 Steel_Stainless_Fi	350.00	
# 6 Al_AlSi7Mg03-A356	650.00	

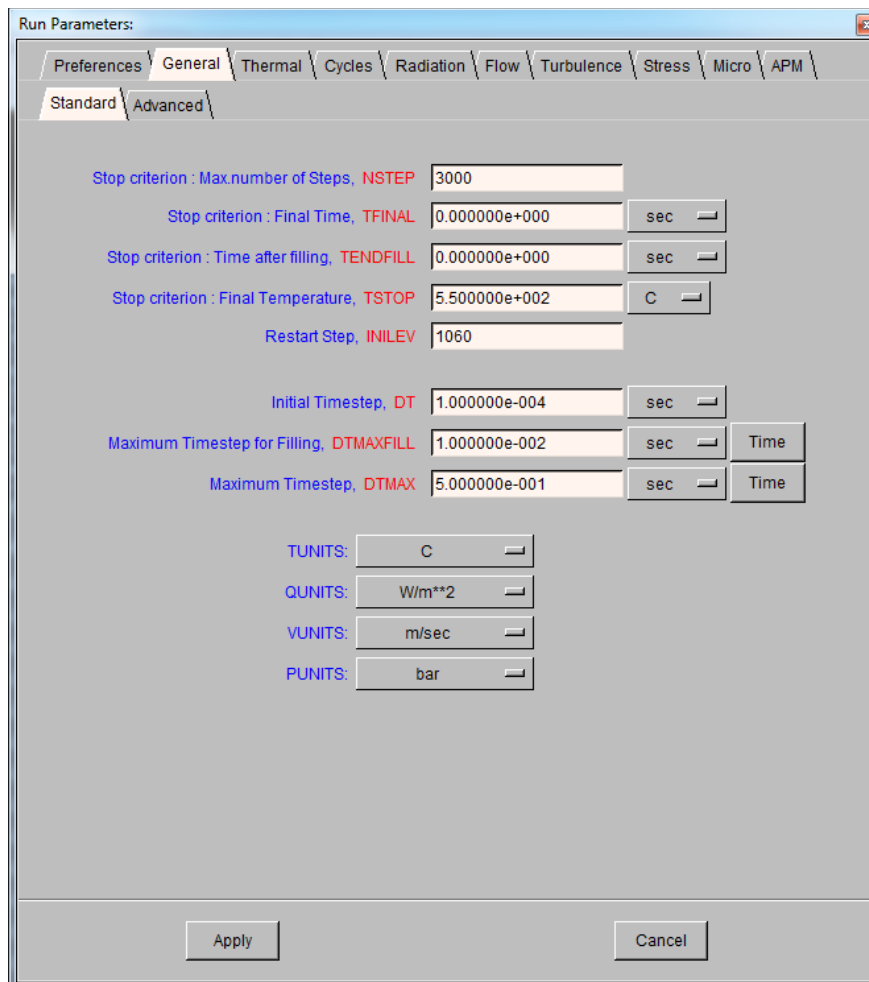
2.2.6. Настройка решателей ProCAST и запуск расчета

После установки всех данных процесса необходимо настроить необходимые модули ProCAST для выполнения расчета. Откройте меню **Run Parameters**, появится окно настройки решателей.

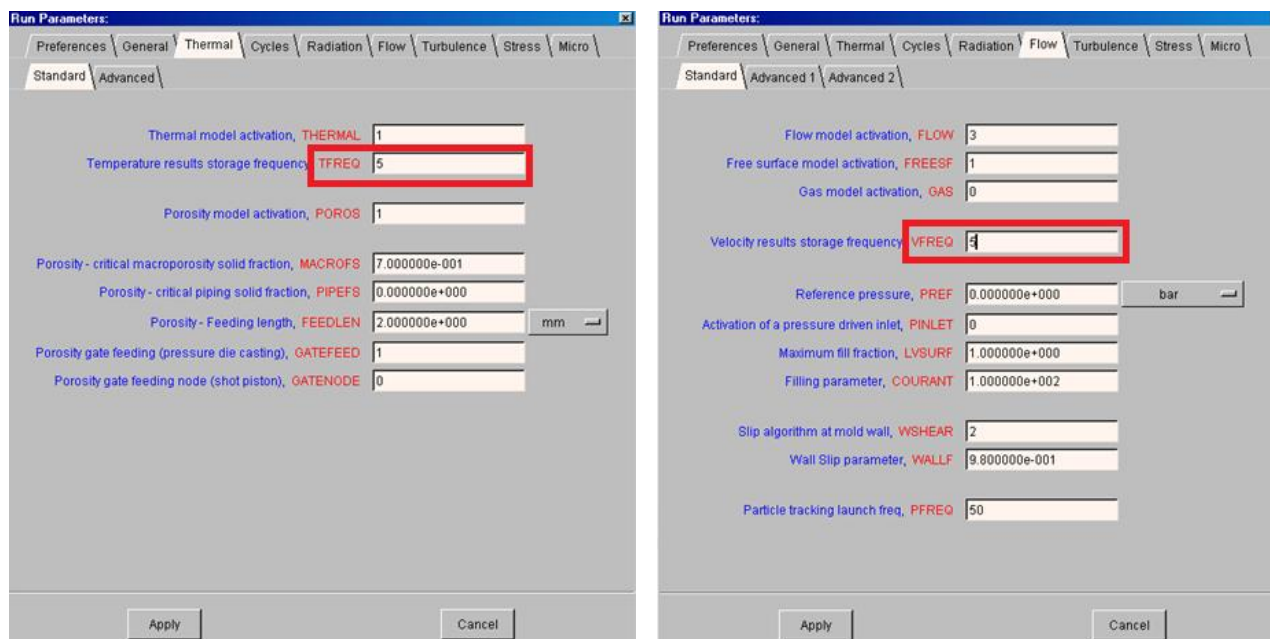
- Откройте вкладку **Preferences** и выберите в выпадающем меню параметр **HPDC Filling** (расчет заливки и кристаллизации для литья под высоким давлением).



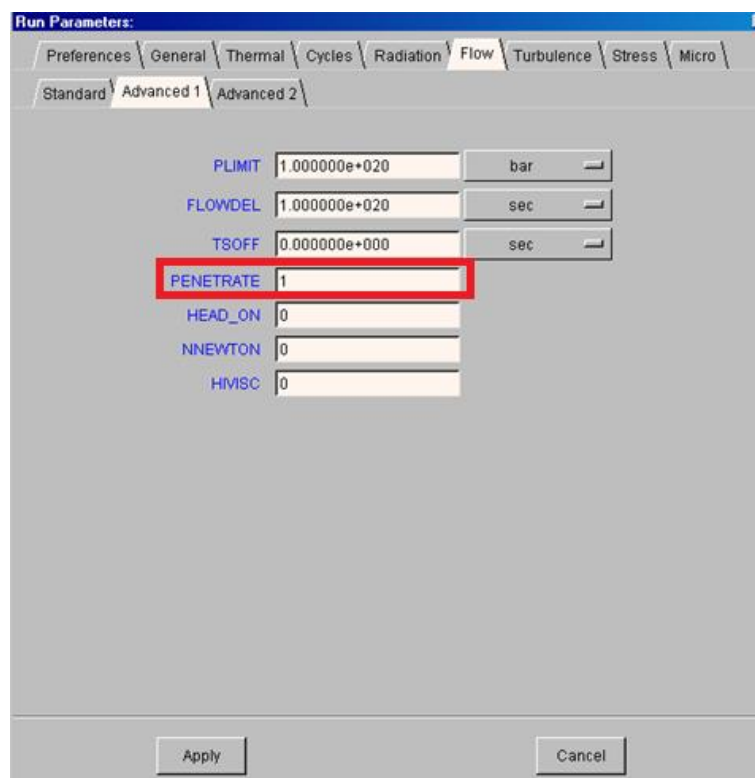
- Откройте вкладку **General**.
 - В поле **NSTEP** укажите общее количество расчетных шагов, которых точно хватит для проведения моделирования. Не изменяйте установленное по умолчанию значение 2000.
 - В поле **TSTOP** введите значение **550 °C** (температура чуть ниже температуры солидуса).



- Во вкладке **Flow** в поле **VFREQ** и во вкладке **Thermal** в поле **TFREQ** измените установленное по умолчанию число шагов, после которых происходит сохранение расчета (10). Введите значение 5. Это необходимо для получения более полной картины заполнения и кристаллизации вследствие небольшого времени самого процесса.

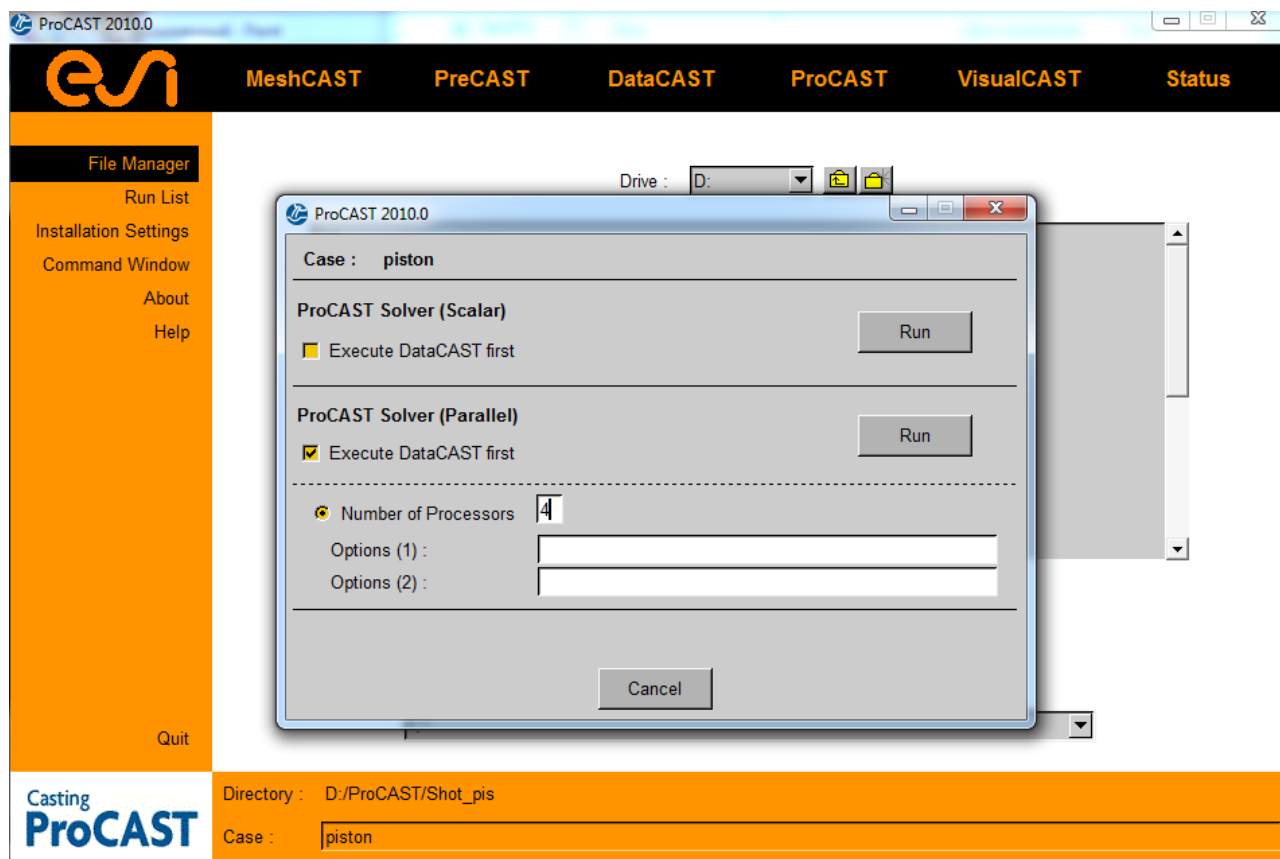


- Во вкладке **Flow/Advanced 1** установите в поле **Penetrate** значение 1. Данный параметр активирует алгоритм расчета движения поршня при литье под давлением.



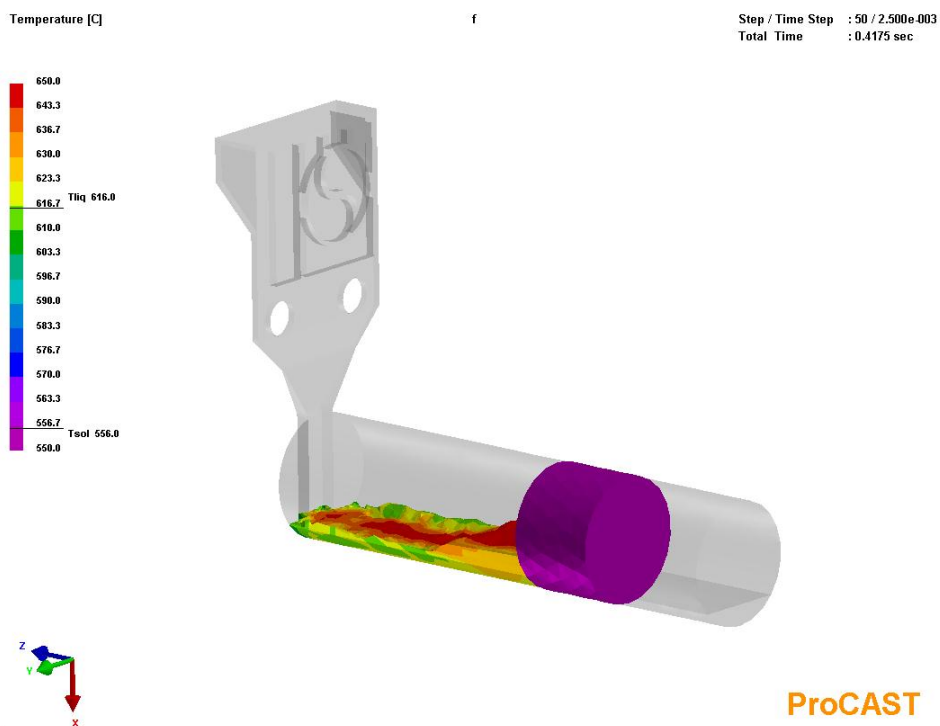
- Нажмите **Apply** для сохранения всех установок.
- Теперь можно сохранить проект, однако перед этим проведите оптимизацию сеточной модели. Для этого выберите в меню **File / Optimize**. Затем закройте окно PreCAST и подтвердите сохранение проекта.

- Запустите расчет: в файловом менеджере нажмите кнопку ProCAST в верхней части окна. Откроется окно запуска расчета. Если вы установили в настройках файлового менеджера использование многопроцессорной версии, то окно запуска будет включать два варианта запуска расчета:
 - ProCAST Solver (Scalar) - запуск однопроцессорной версии расчета;
 - ProCAST Solver (Parallel) - запуск многопроцессорной версии расчета.
- Поставьте галочку напротив **Execute DataCAST first**, относящейся к запуску нужного решателя.

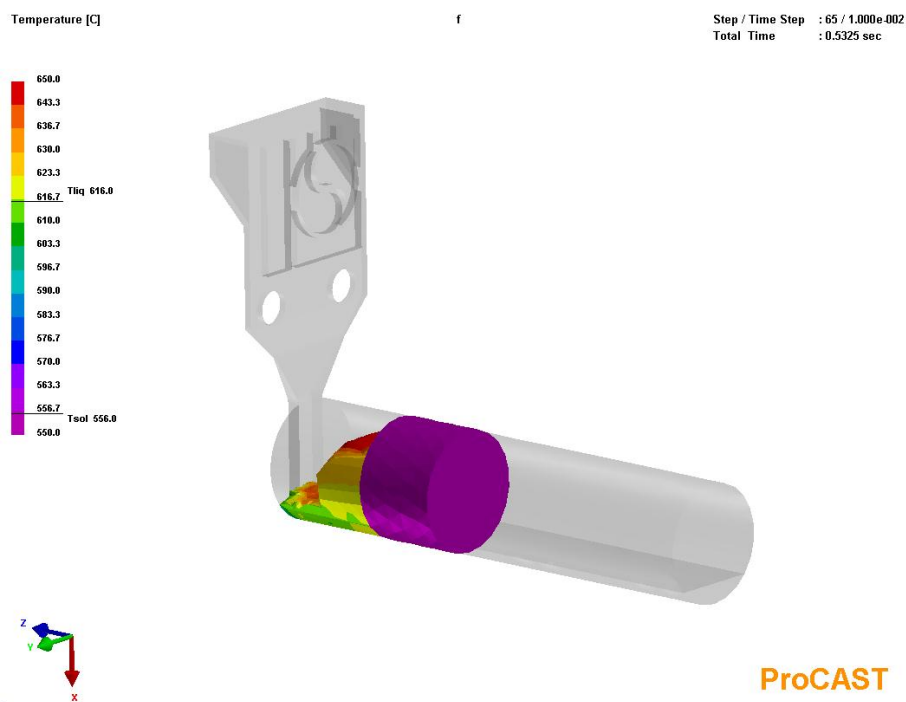


- В поле **Number of Processors** поставьте число участвующих в расчете процессоров. Для запуска расчета нажмите кнопку **Run**, относящуюся к выбранному решателю (ProCAST Solver (Parallel)).

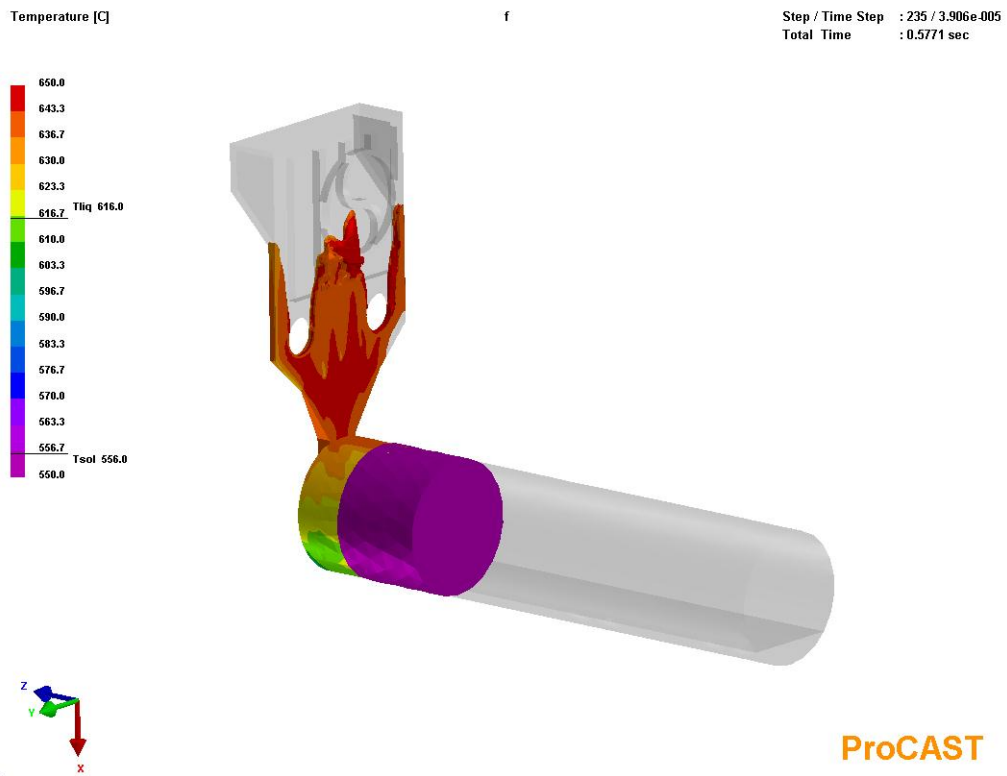
2.2.7. Результаты расчета



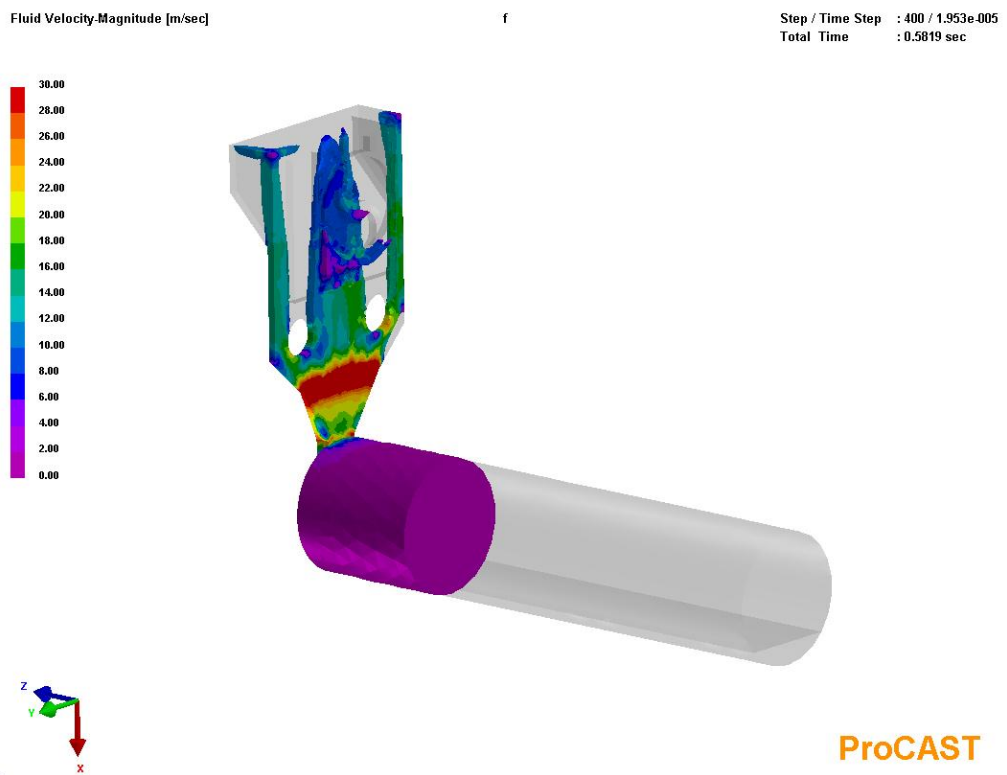
Температурное поле металла в начальный момент движения поршня



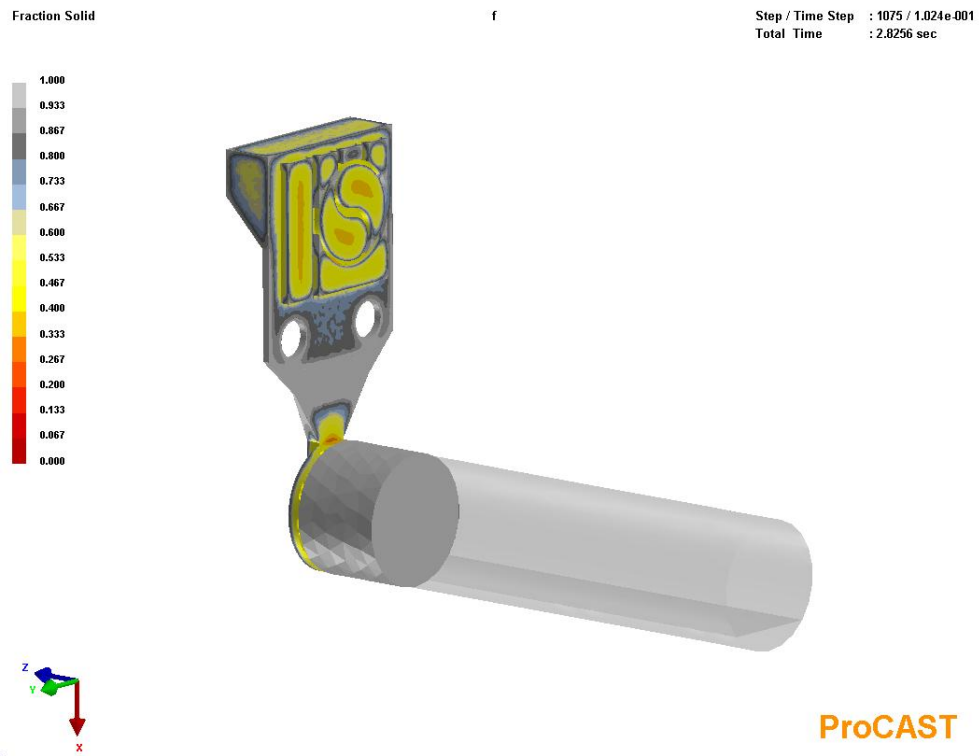
Температурное поле металла



Температурное поле металла



Скорость потока жидкого металла при заполнении полости пресс-формы

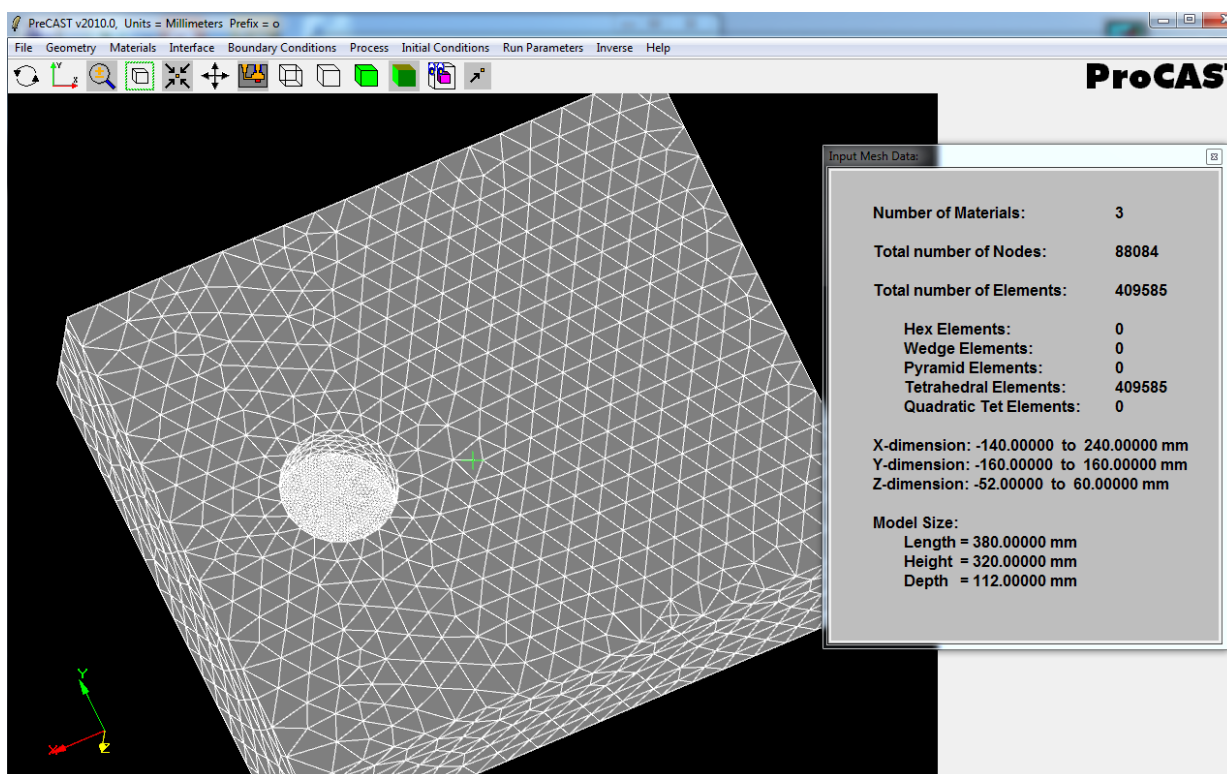


Распределение твердой фазы в сплаве

2.3. РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

В данном примере проводится моделирование задачи кристаллизации и расчета напряженно-деформированного состояния отливки с учетом результатов заполнения формы из задачи **2.1 Расчет заполнения и кристаллизации**. Расчет будет проводиться на той же самой сеточной модели с момента заполнения формы сплавом, поэтому:

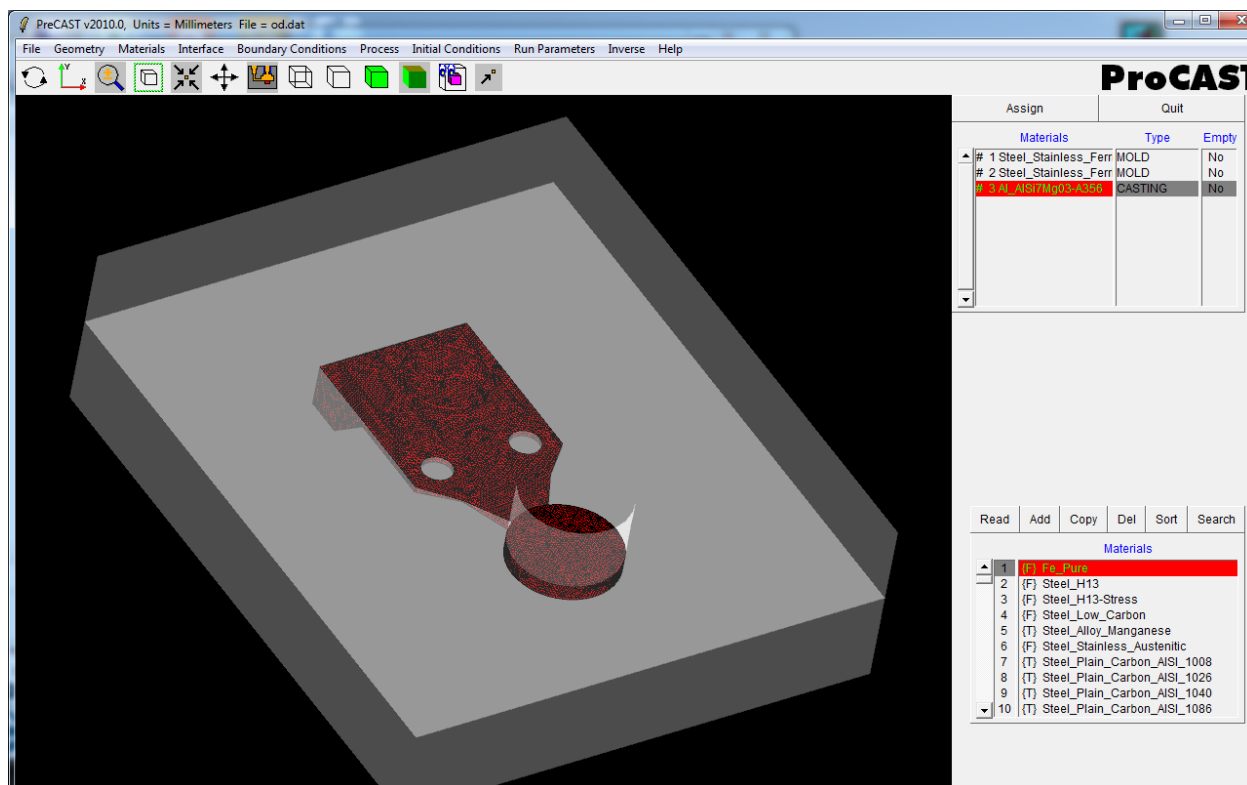
- Скопируйте файлы `op.dat` и `od.dat` (файлы с данными для задачи заполнения и кристаллизации) в новую папку.
- Запустите **ProCAST**. В файловом менеджере откройте только что созданную папку.
- Запустите **PreCAST**.
Автоматически будет загружена сетка и все ранее установленные параметры для первого расчета.



Теперь необходимо изменить некоторые существующие параметры и добавить новые для нового расчета.

2.3.1. Определение материалов

- Выберите пункт меню **Materials/Assign**.
- Откроется новая панель. Верхняя таблица уже заполнена. Необходимо в столбце **Empty** для отливки установить **No**, поскольку в данной задаче рассчитываются напряжения, возникающие при кристаллизации, т.е. после заполнения формы.



- Выберите пункт меню **Material/Stress**.
- Появится панель с двумя таблицами. Верхняя таблица содержит перечень доменов модели. В нижней таблице приведены материалы с соответствующими механическими свойствами и различными моделями расчета напряженно-деформированного состояния:

Rigid – идеально жесткое тело. В домене с установленной моделью Rigid не будет происходить расчет напряжений, но такое тело будет участвовать в контактном взаимодействии с другими элементами модели.

Vacant – «податливое» тело. В таком теле также не будет происходить расчет напряжений, но в контактном взаимодействии оно не будет участвовать.

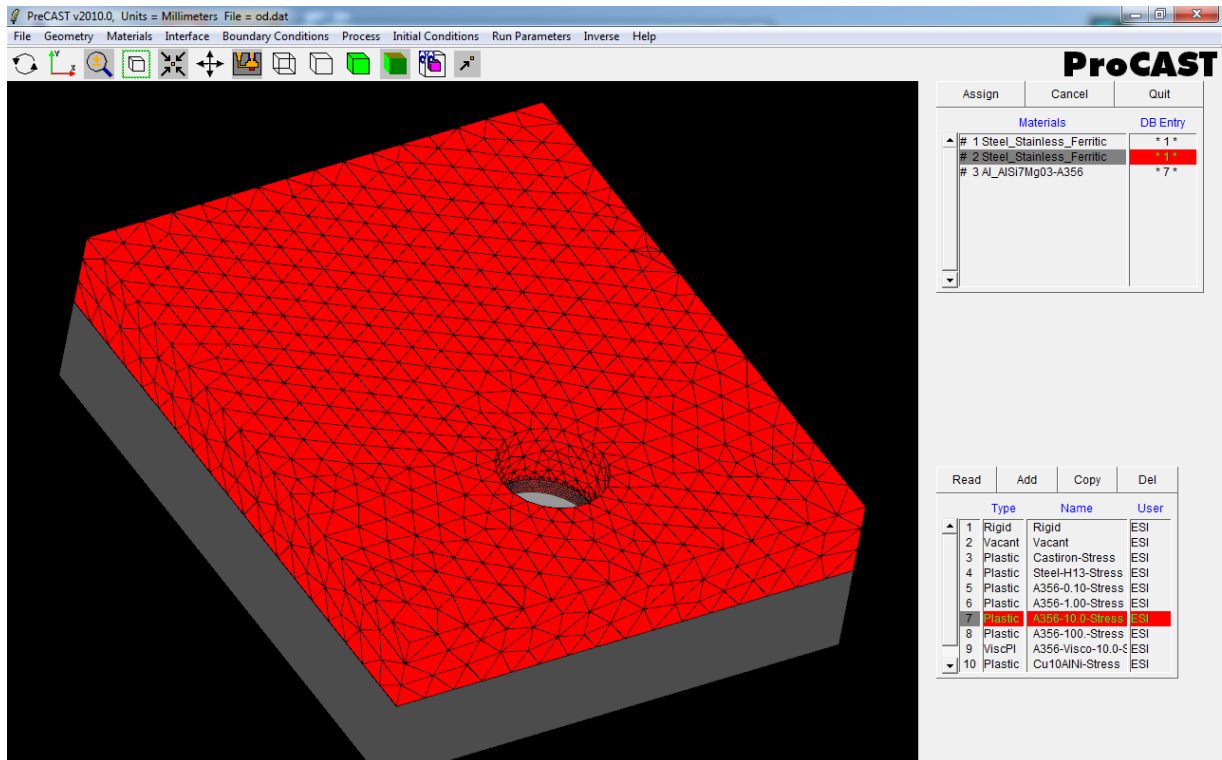
Linear-Plastic – линейно-упругая модель напряжений;

Elasto-Plastic – упруго-пластическая модель напряжений;


Elasto-ViscoPlastic – упруго-вязкопластическая модель напряжений;

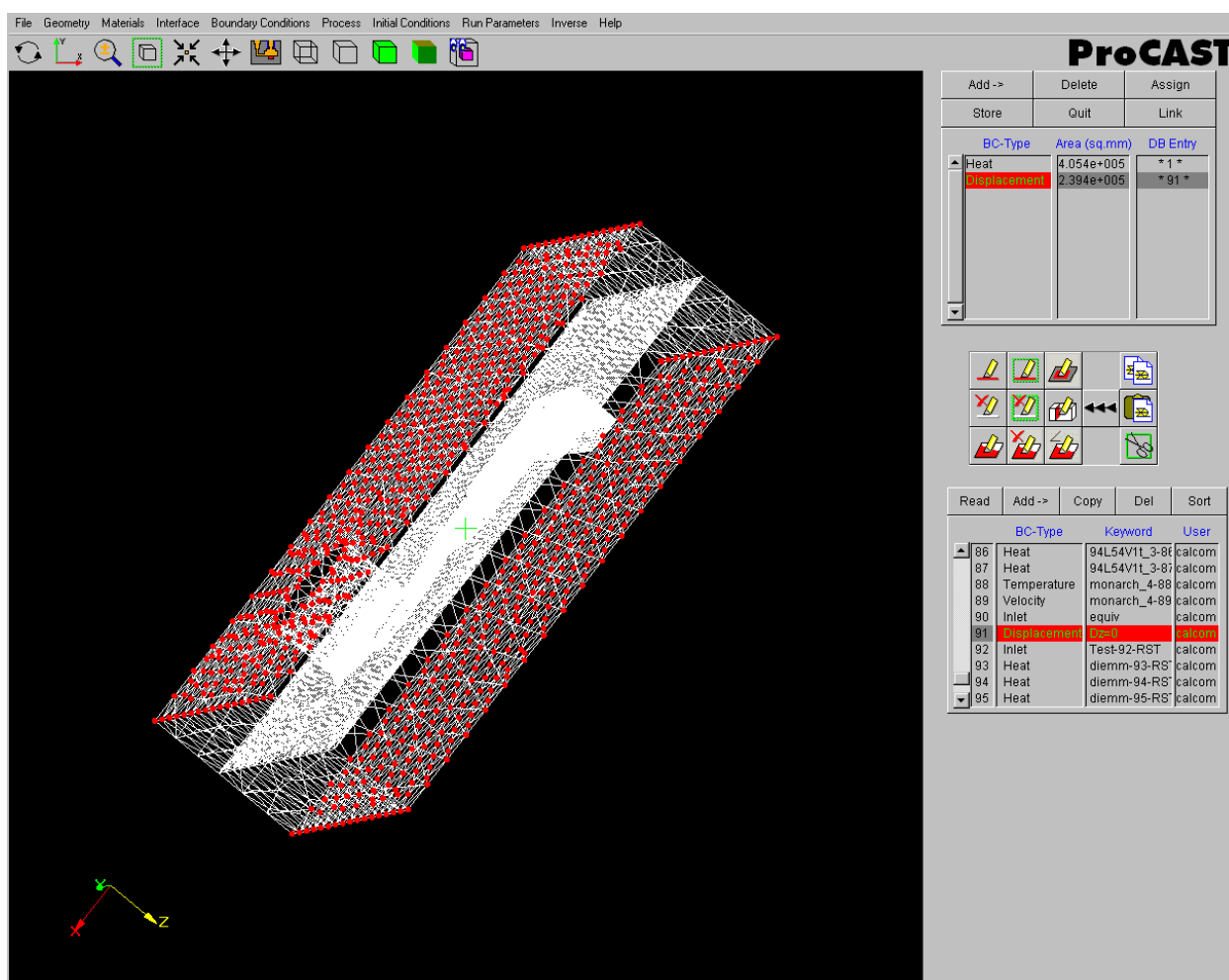
Visco-Elastic – вязко-упругая модель напряжений.

- Форма будет рассматриваться как идеально жесткое тело, т.е. используется тип **Rigid**.
- Для отливки задайте упруго-пластическую модель для соответствующего алюминиевого сплава. В данном случае выберите тип **Plastic A356-10.0-Stress** (выбор одного из 4 различных вариантов для данного сплава происходит в зависимости от скорости кристаллизации отливки в форме). Для просмотра установленных механических свойств данного материала выберите соответствующую строку в таблице и нажмите **Read**.



2.3.2. Установка граничных условий процесса

- Откройте пункт меню **Boundary Conditions / Assign Surface**.
- В верхней таблице находится перечень граничных условий. Для данной задачи оставьте только условие **Heat**, остальные удалите (выберите условие **Velocity/Temperature** и нажмите **Delete**).
- Создайте новое граничное условие смещения **Displacement**. Данное условие необходимо для ограничения степени свободы формы и отливки, учета закрытия пресс-формы с большим усилием литейной машины.
- Определите для этого граничного условия поверхности, на которых оно будет действовать. С помощью инструмента **Propagate: Select** (иконка ) выделите две внешние поверхности формы.



- В нижней таблице создайте условия закрепления (**Add/Displacement**). Появится окно **Boundary Conditions Data**. Закрепите модель от смещения по всем осям, т.е. поставьте в полях X, Y и Z значение 0.
- Нажмите **Store**.

Boundary Conditions Data: ✕

BC-Type: Displacement

Keyword: 0 User: zms Date: 11/10/11

X: 0.000000e+000

Y: 0.000000e+000 cm

Z: 0.000000e+000

Time

Please Enter Comments Here:

Store

Cancel

- С помощью кнопки **Assign** задайте для параметра **Displacement** только что созданное условие закрепления.

2.3.3. Определение температурных условий материалов

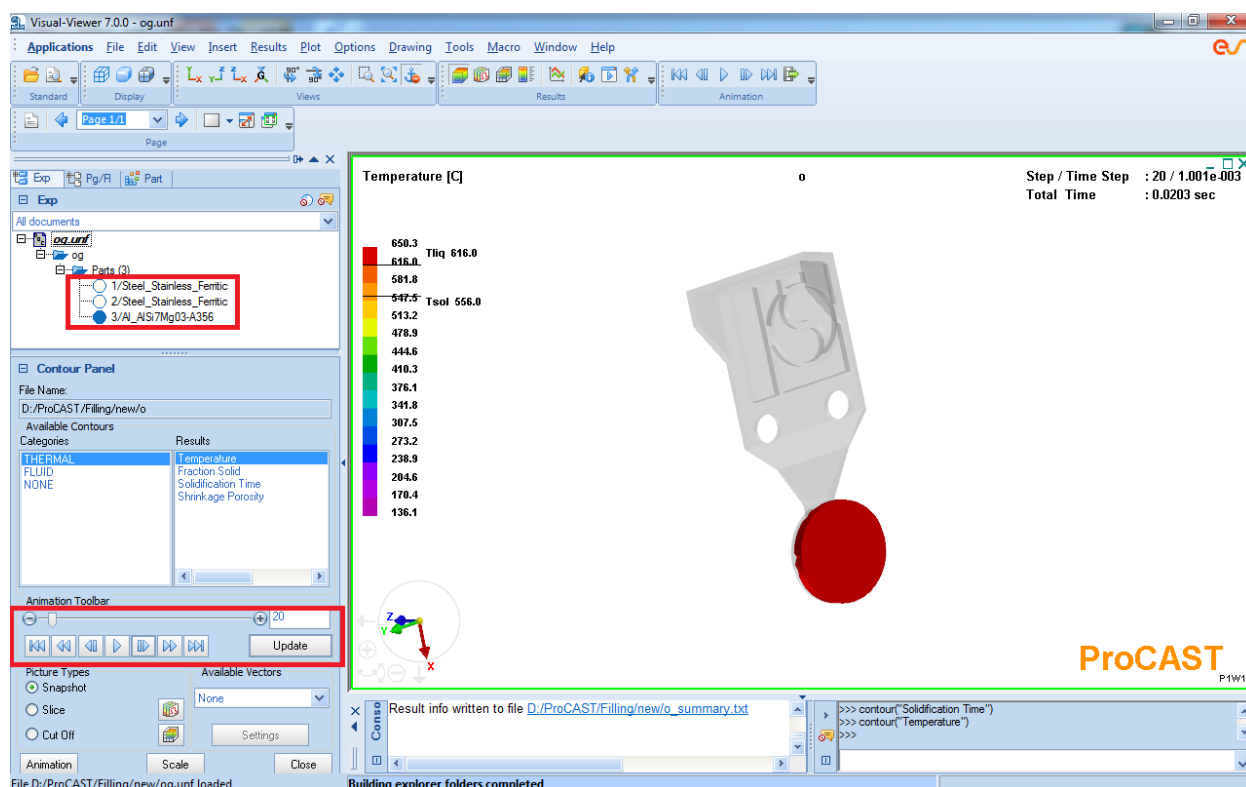
Далее необходимо импортировать данные по температуре сплава и формы, рассчитанные в первой задаче. Для импорта берутся расчетные данные после заполнения всей полости формы. Чтобы определить номер расчетного шага, с которого будет производиться импорт данных, необходимо открыть результаты расчета задачи в **VisualCAST**.

- Откройте **File manager**. Выберите папку, где хранятся файлы результатов расчета задачи **2.3.1 Расчет заполнения и кристаллизации** и нажмите **VisualCAST**.
- Откроется новое окно **Visual-Viewer**. Слева на панели в разделе **All documents** в разделе **Parts** отключите отображение формы (щелкните на синие кружочки рядом с названием материалов доменов).

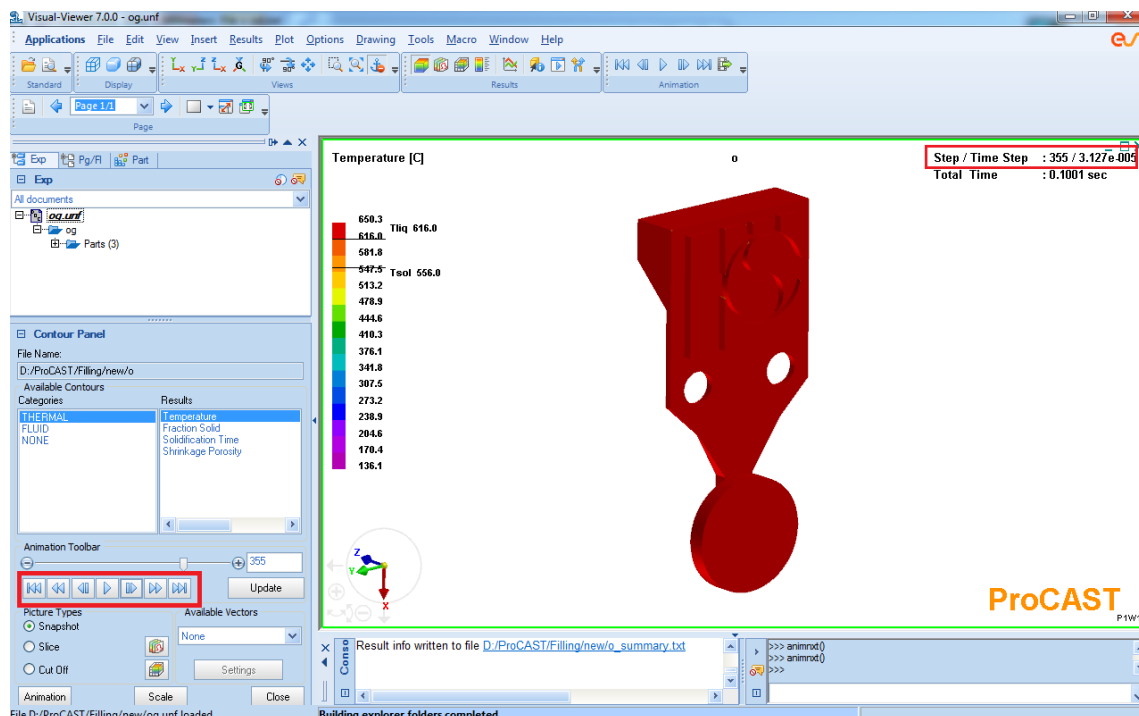
Ниже в разделе **Animation Toolbar**, используя передвижную шкалу или кнопки (



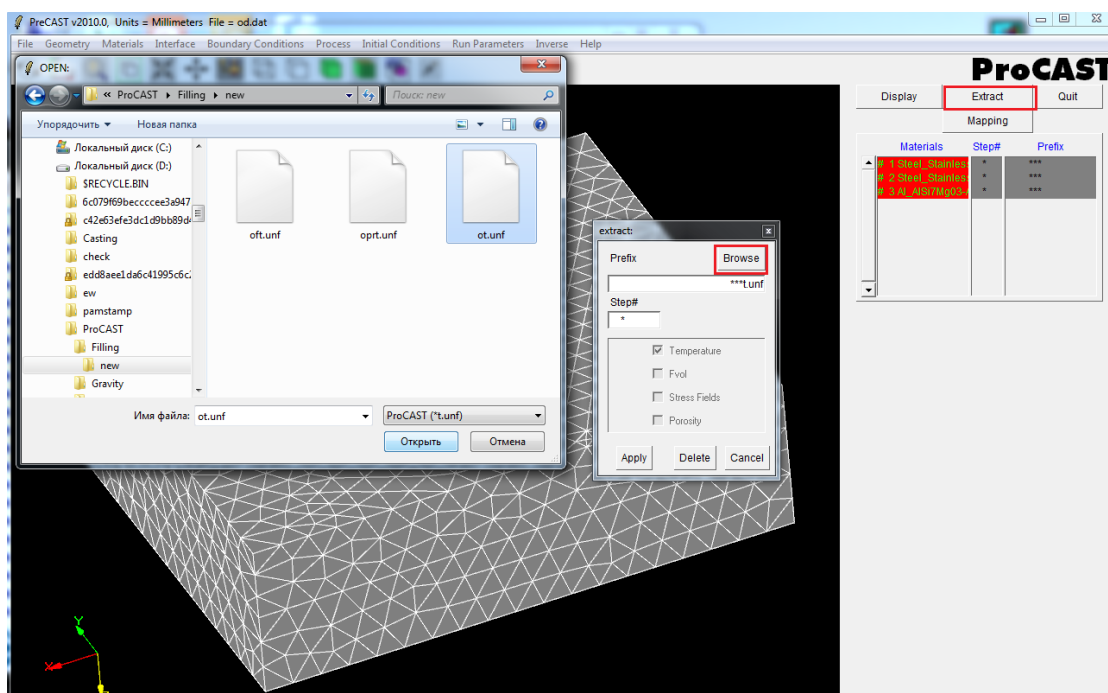
) определите номер шага, когда полностью произошло заполнение полости формы. Номер шага отображается в верхнем правом углу экрана.



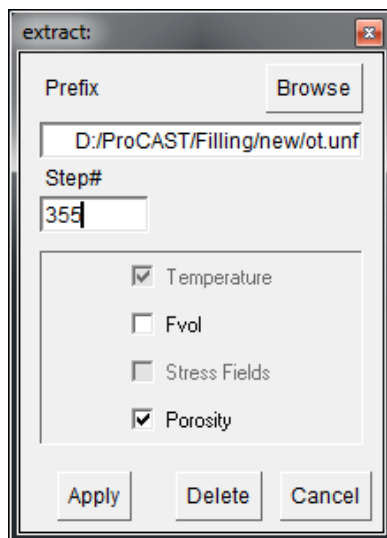
Ниже представлен рисунок, на котором видно, что на 355 шагу уже произошло заполнение всей формы. Значит необходимо импортировать данные с 355 шага расчета.



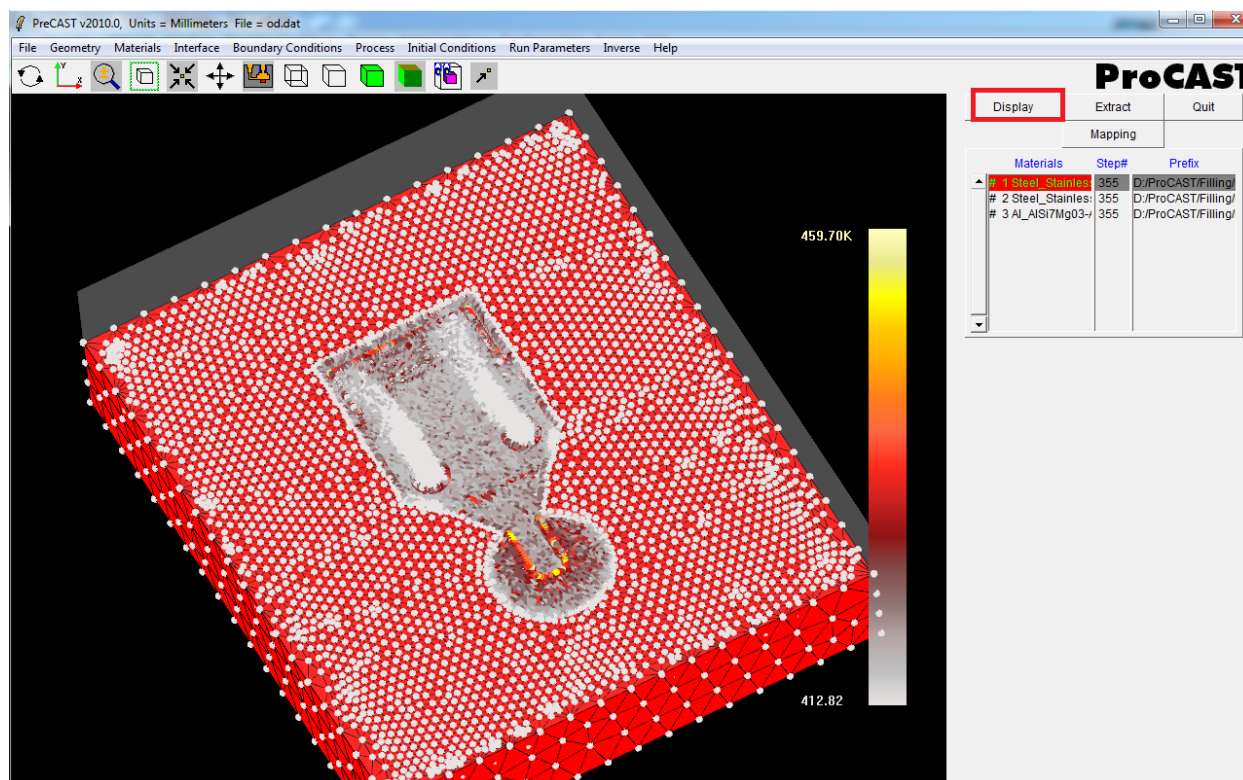
- Вернитесь в **PreCAST**.
- Откройте меню **Initial Conditions / Extract**.
- Появится панель, где имеется перечень материалов. Выберите все материалы и нажмите **Extract**.
- Появится окно **Extract**. В поле **Prefix** необходимо указать файл, откуда будут импортированы исходные данные для настоящего расчета. Для этого щелкните на кнопку **Browse**. Откроется окно, где в папке с результатами первого расчета откройте файл ***t.unf**.



- В поле **Step#** введите номер шага.
- Ниже поставьте галочку напротив опции **Porosity** (для переноса данных по пористости).
- Нажмите **Apply**.

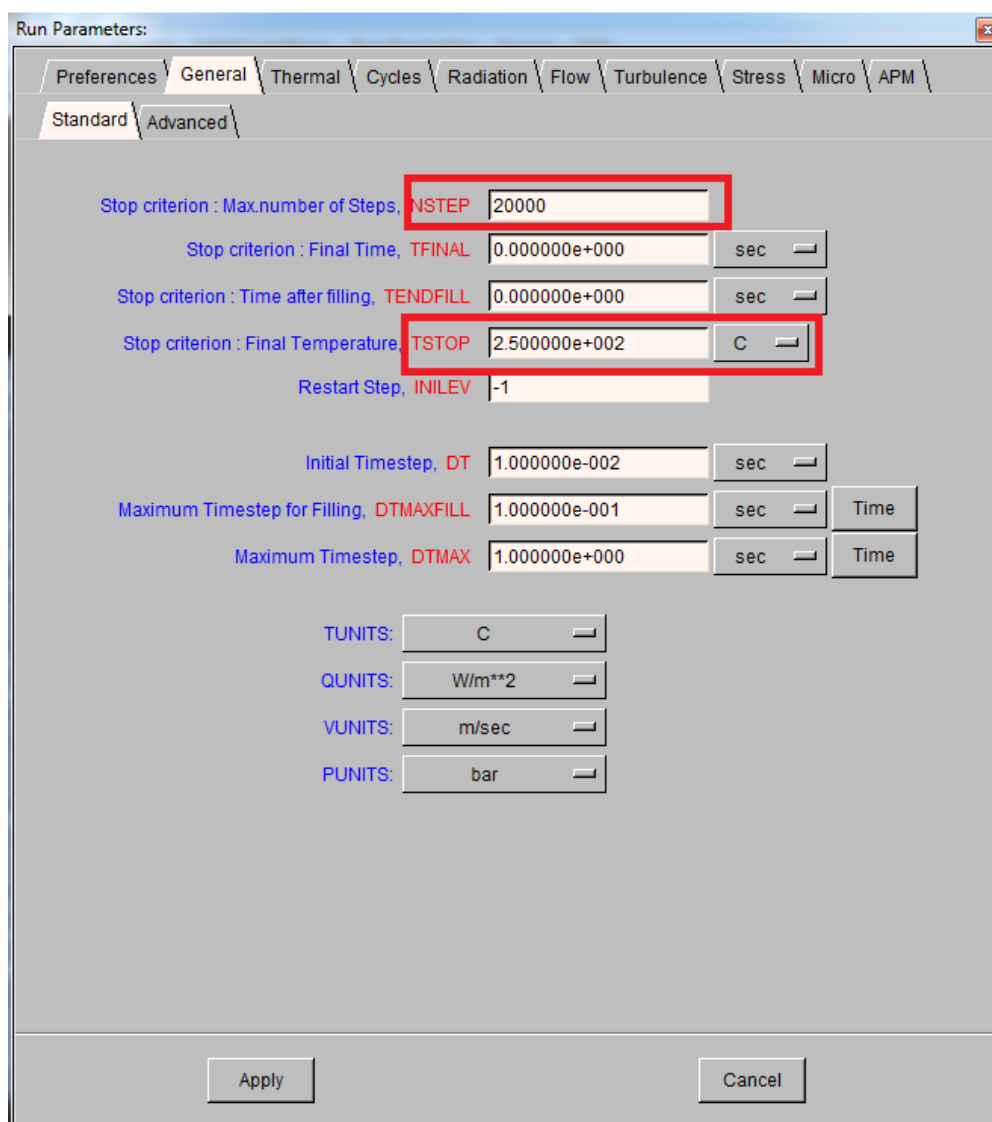


- Выберите в столбце **Material** первую строку (1 домен) и нажмите **Display**. На экране появится отображение распределения температуры выбранного домена (загруженные результаты становятся исходными данными для расчета задачи определения напряжений).

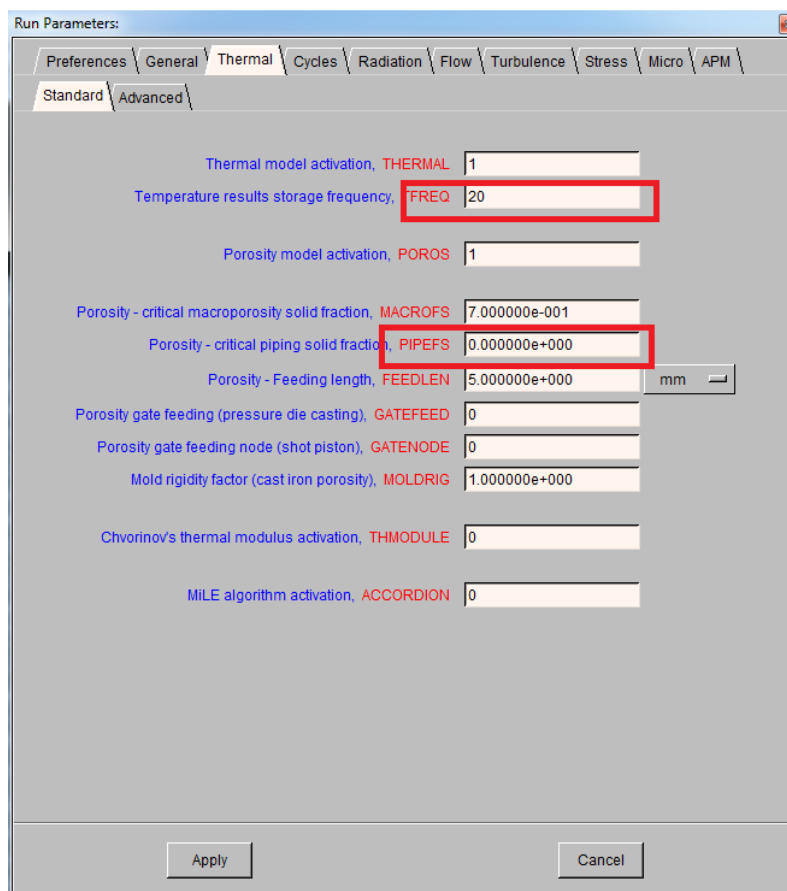


2.3.4. Настройка решателей ProCAST и запуск расчета

- Откройте меню **Run Parameters**, появится окно настройки решателей.
- Откройте вкладку **Preferences** и выберите в выпадающем меню параметр **Gravity Thermal**.
- Откройте вкладку **General**.
 - В поле **NSTEP** укажите общее количество расчетных шагов моделирования равное 20000.
 - В поле **TSTOP** введите значение **250°C** (температура извлечения отливки из формы).



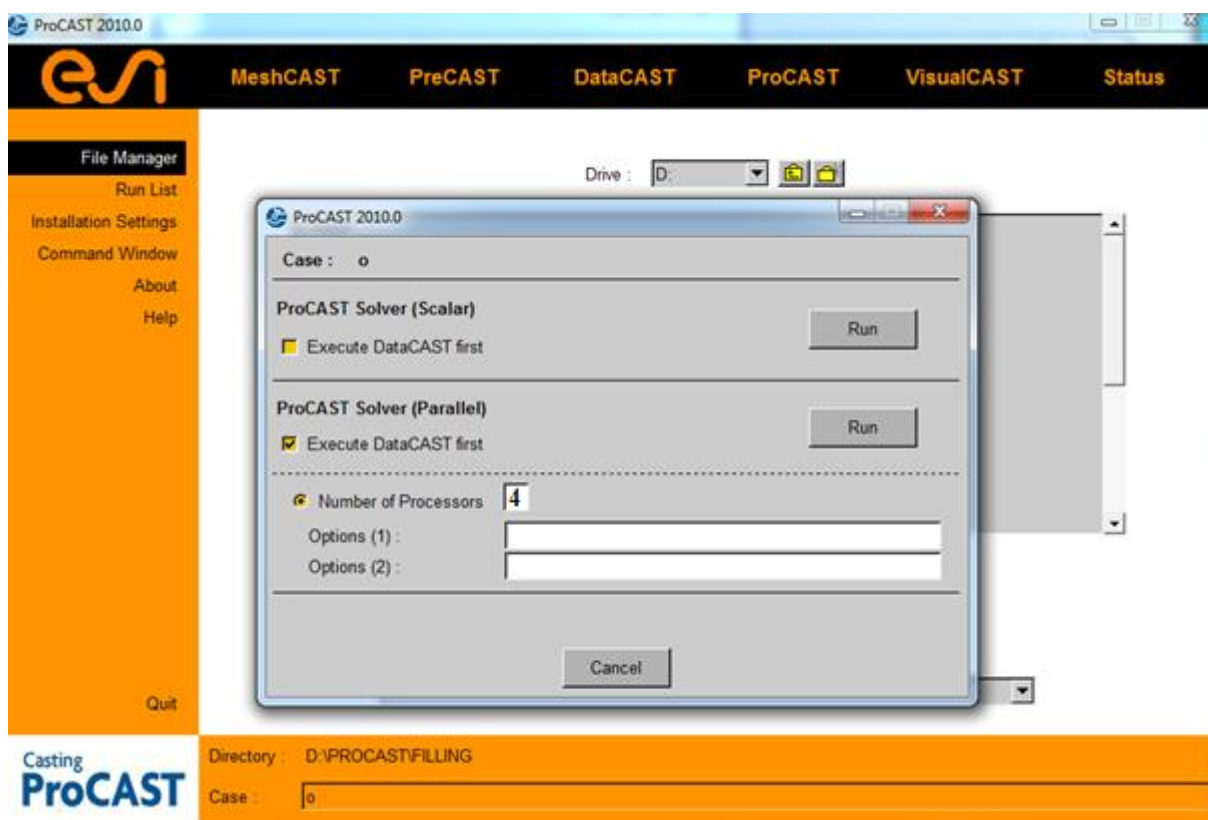
- Во вкладке **Thermal** в поле **TFREQ** установите значение 20.
- В поле **PIPERS** установите 0 для отключения функции расчета усадочной пористости (необходимо при включении модуля Stress в расчете).



- Перейдите во вкладку **Stress**.
 - В поле **STRESS** поставьте 1 для активации алгоритма расчета напряжений.
 - В поле **SFREQ** установите значение 20.
 - Нажмите **Apply** для сохранения всех установок.

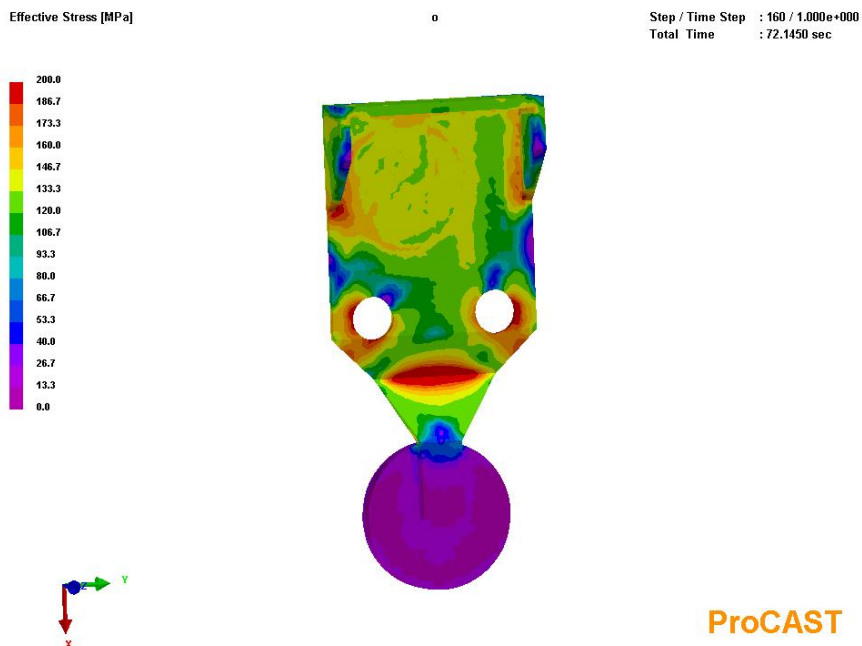


- Теперь можно сохранить проект. В данной задаче не нужно проводить оптимизацию, поскольку узлы в этом случае будут переименованы, что помешает импорту данных.
- Запустите расчет: в файловом менеджере нажмите кнопку **ProCAST** в верхней части окна. Откроется окно запуска расчета. Если вы установили в настройках файлового менеджера использование многопроцессорной версии, то окно запуска будет включать два варианта запуска расчета:
 - ProCAST Solver (Scalar) - запуск однопроцессорной версии расчета;
 - ProCAST Solver (Parallel) - запуск многопроцессорной версии расчета.
- Поставьте галочку напротив **Execute DataCAST first**, относящейся к запуску нужного решателя (при повторном запуске расчета галочку ставить не надо).

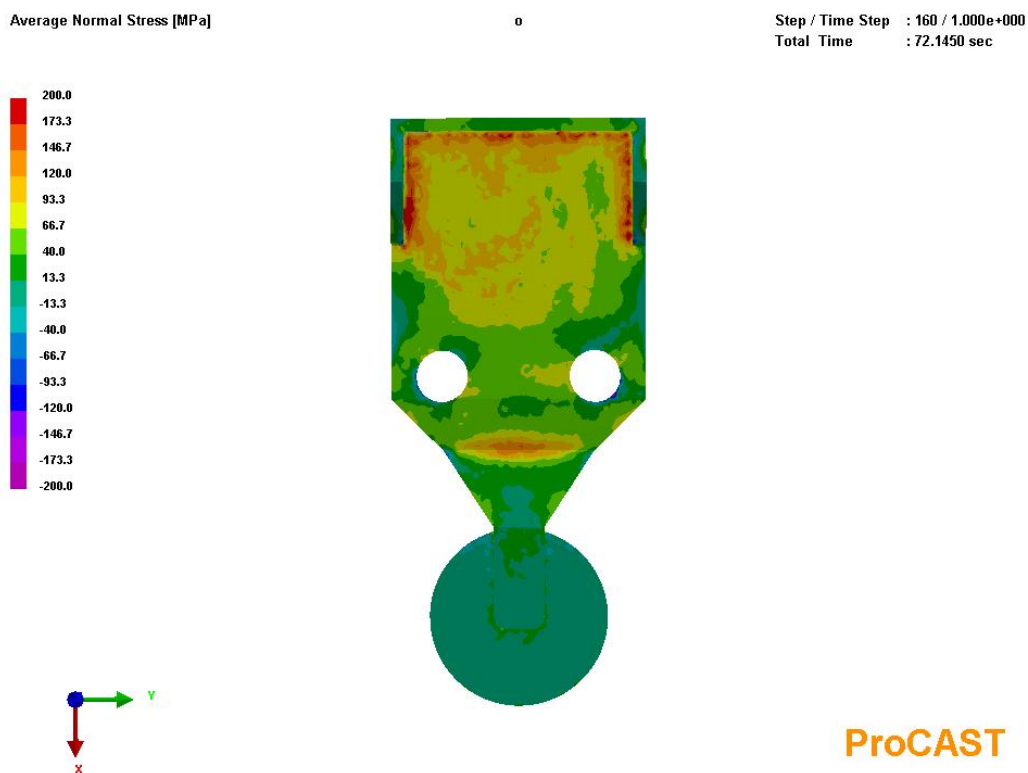


- В поле **Number of Processors** поставьте число участвующих в расчете процессоров. Для запуска расчета нажмите кнопку **Run**, относящейся к выбранному решателю (ProCAST Solver (Parallel)).

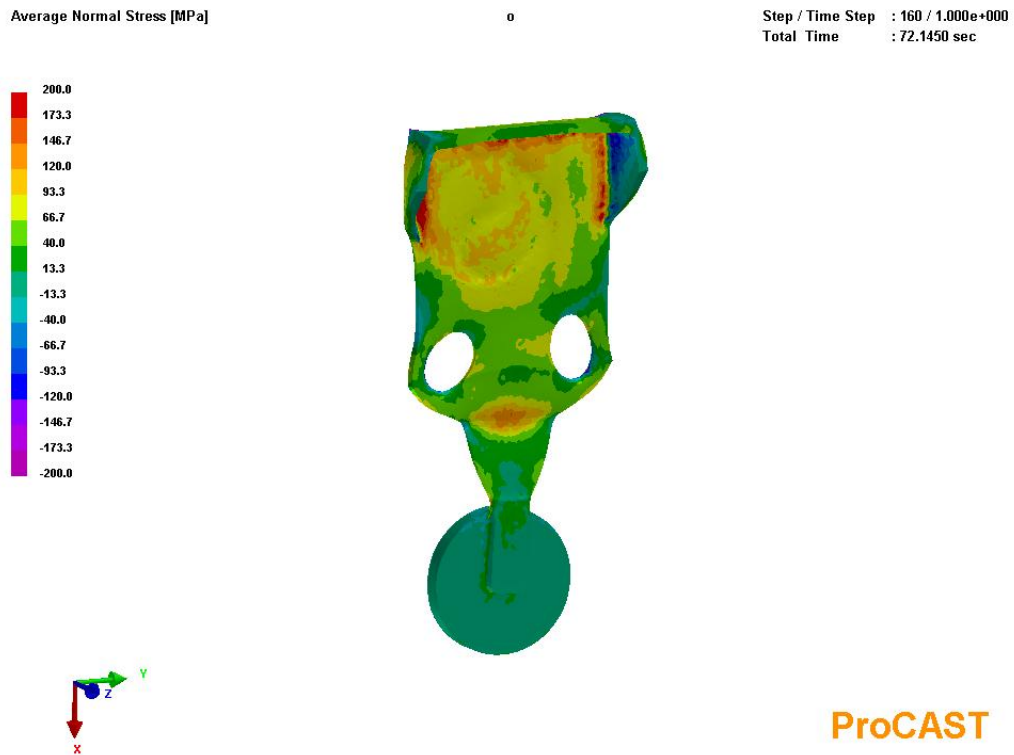
2.3.5. Результаты моделирования



Анализ эффективных напряжений



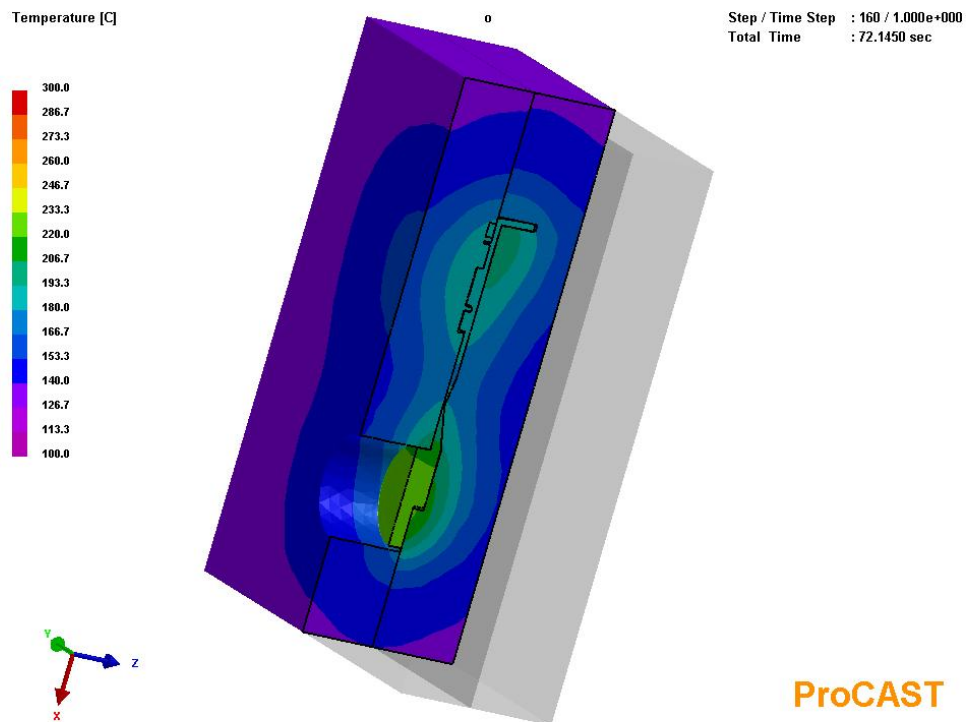
Анализ средних нормальных напряжений



Анализ средних нормальных напряжений (масштаб деформации 1:20)



Анализ деформации сетки



Температурное поле металла

3. ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ. РАСЧЕТ ЗАПОЛНЕНИЯ И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Для работы с задачей предлагаются следующие файлы:

Model.sm: поверхностная конечно-элементная сетка модели.

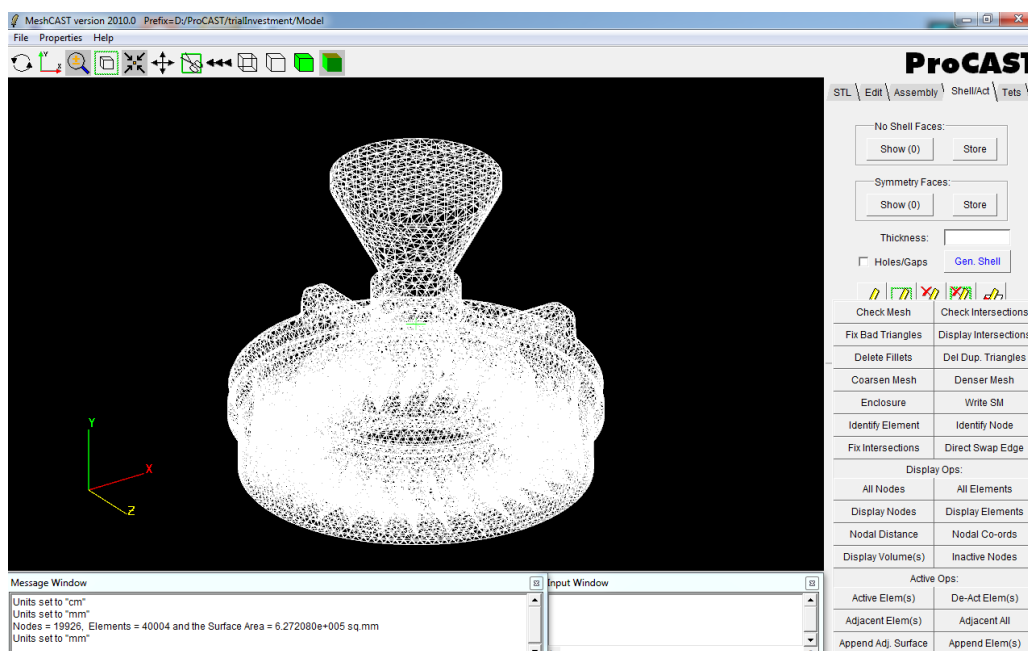
Model_shell.d.dat: Файл с готовыми данными.

Model_shellp.d.dat: Файл с готовыми расчетными параметрами.


В данной задаче проводится моделирование заполнения и кристаллизации для процесса литья по выплавляемым моделям. Первоначально в модуле MeshCAST на основе имеющейся поверхностной сетки отливки будет строиться оболочка с объемной сеткой. Далее установка параметров с созданием виртуальной формы будет осуществляться в модуле PreCAST.

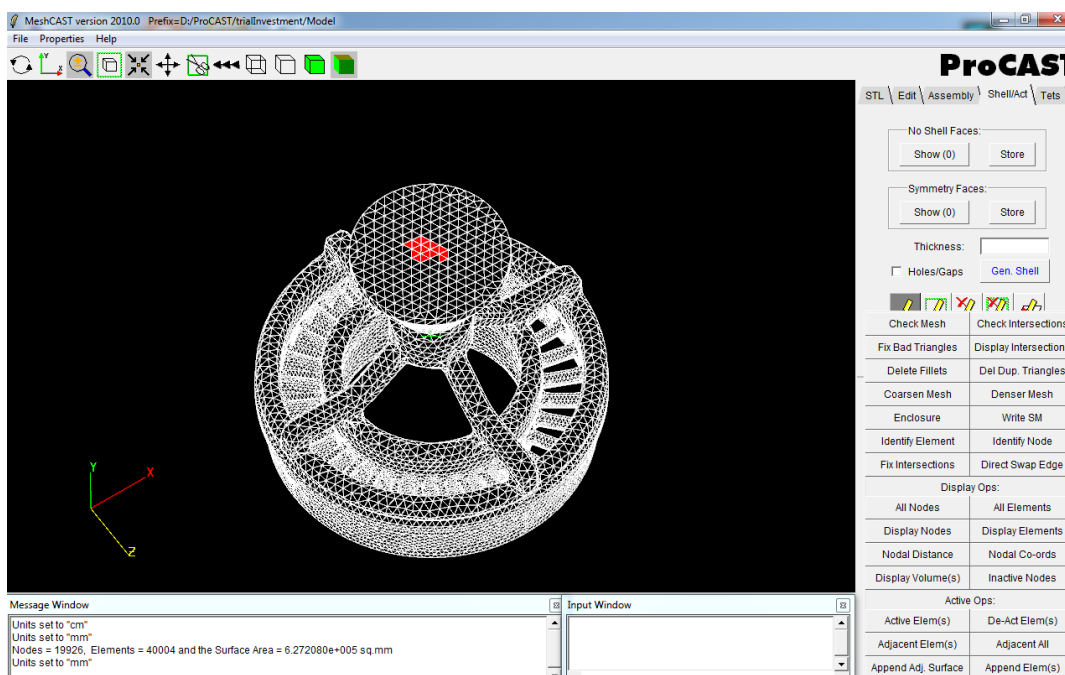
3.1. СОЗДАНИЕ ОБОЛОЧКИ И ОБЪЕМНОЙ СЕТКИ


- Скопируйте файл **Model.sm** из директории **ProCASTtrainigs/Investment** в новую папку.
- Запустите **ProCAST**. В файловом менеджере откройте только что созданную папку.
- Запустите **MeshCAST** и откройте файл Model.sm.
В файле Model.sm хранится поверхностная сетка модели. На основе этой сетки постройте оболочку и объемную сетку.
- Перейдите на вкладку **Shell/Act** на панели с правой стороны экрана.

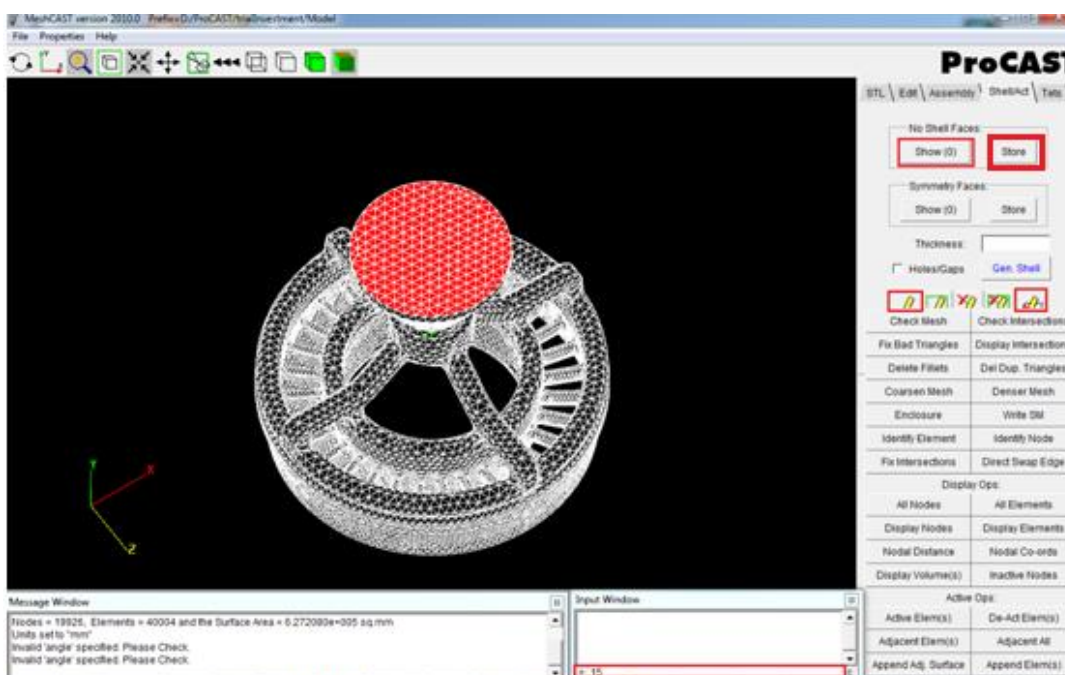


- Необходимо указать открытую поверхность отливки, свободную от оболочки.

- Выделите небольшую часть внешней поверхности литниковой воронки при помощи инструмента **Select** (иконка ).



- Введите в окне **Input Window** значение угла соединения элементов, равное 15. Нажмите на иконку  (Select Surfaces). В результате будут выделены все элементы, соединенные друг с другом под углом меньше 15°.
 - Нажмите **Store** в разделе **No Shell Faces**.
 - Для отображения поверхности, на которой не будет построена оболочка, нажмите **Show** (в скобках указано число входящих в эту область треугольных элементов).




- Введите в поле **Thickness** (толщина оболочки) значение 6.

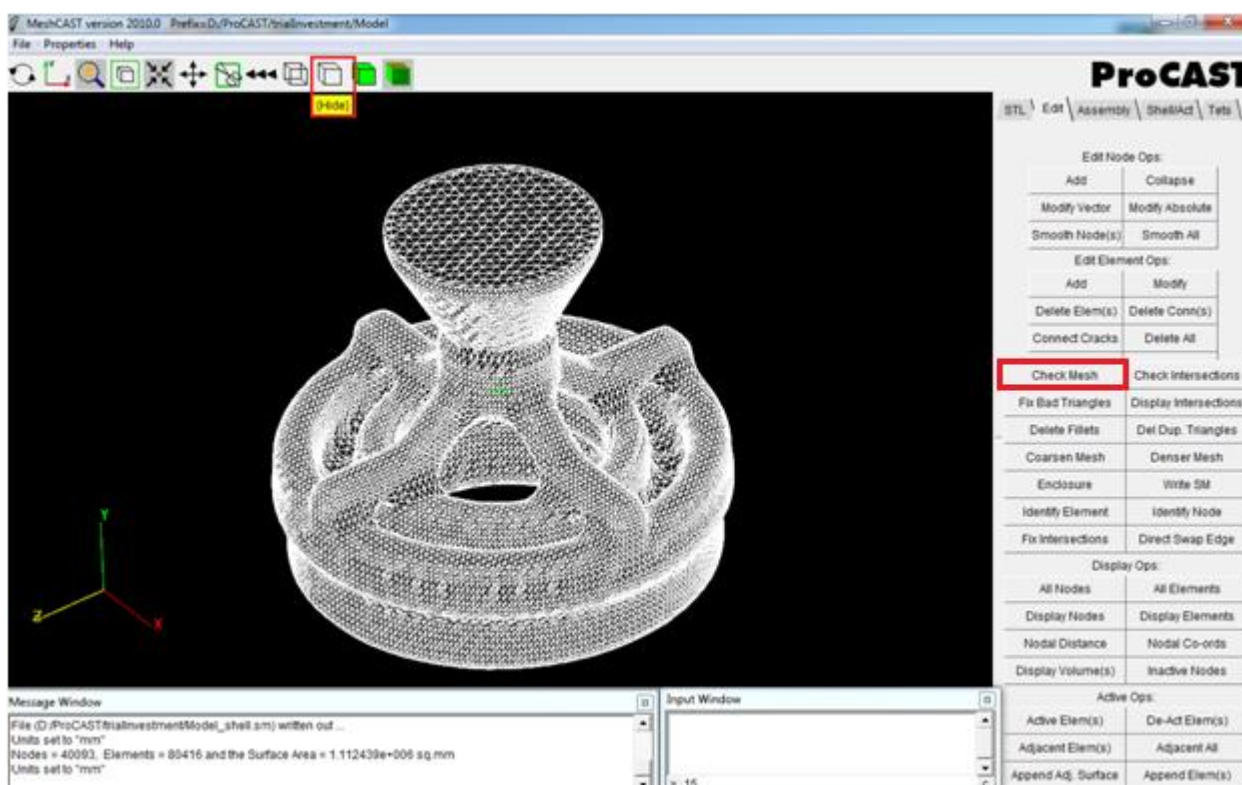
Ниже можно включить или отключить опцию **Holes/Gaps**. Она предназначена для того, чтобы при построении оболочки учитывались имеющиеся отверстия и полости.

В данном примере оставьте опцию не активированной.

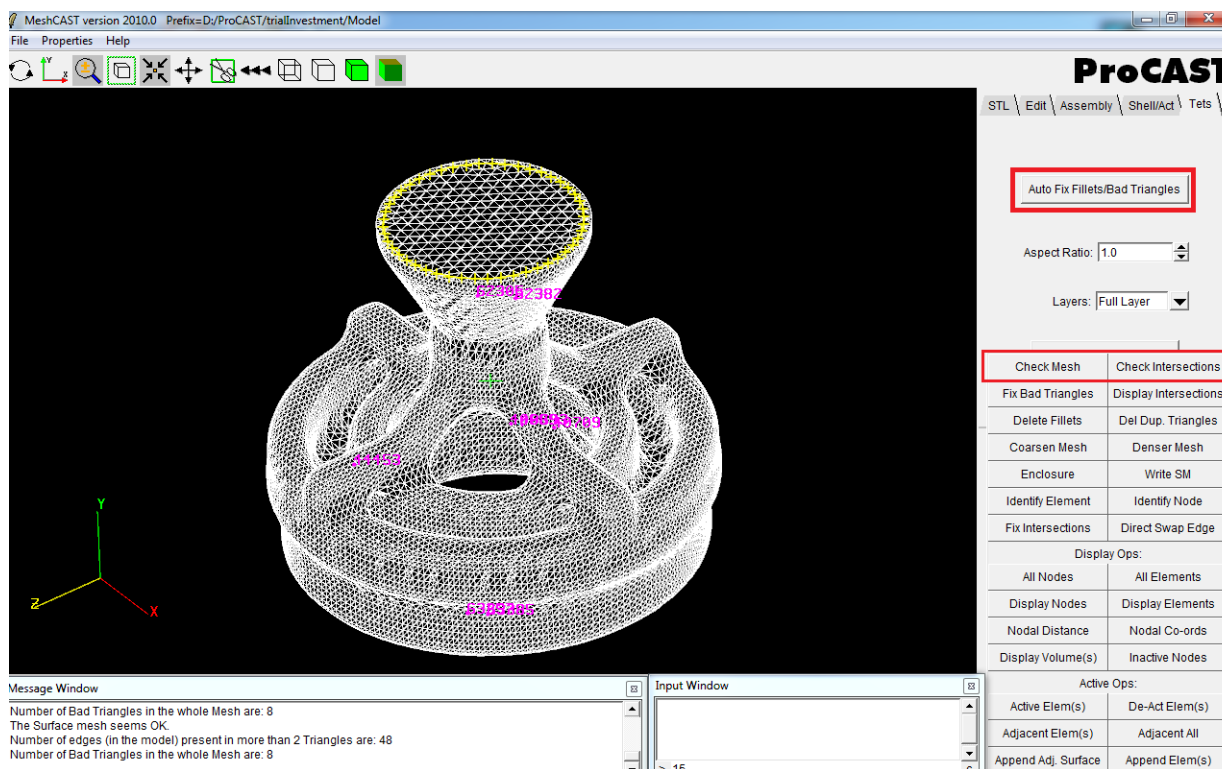
- Нажмите **Gen. Shell**. для создания оболочки.

Построение оболочки может занять некоторое время. После выполнения операции на экране появится созданная оболочка с построенной на ней поверхностной

сеткой. Щелкните на иконку  (Hide).



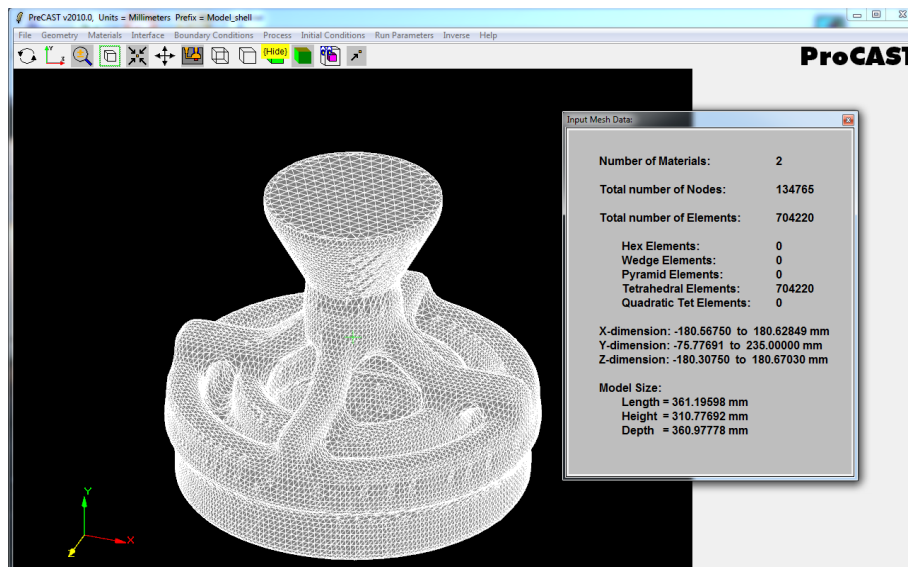
- Перейдите во вкладку **Tets** и проверьте качество сетки, нажав **Check Mesh**. В результате будет выявлено несколько проблемных мест.



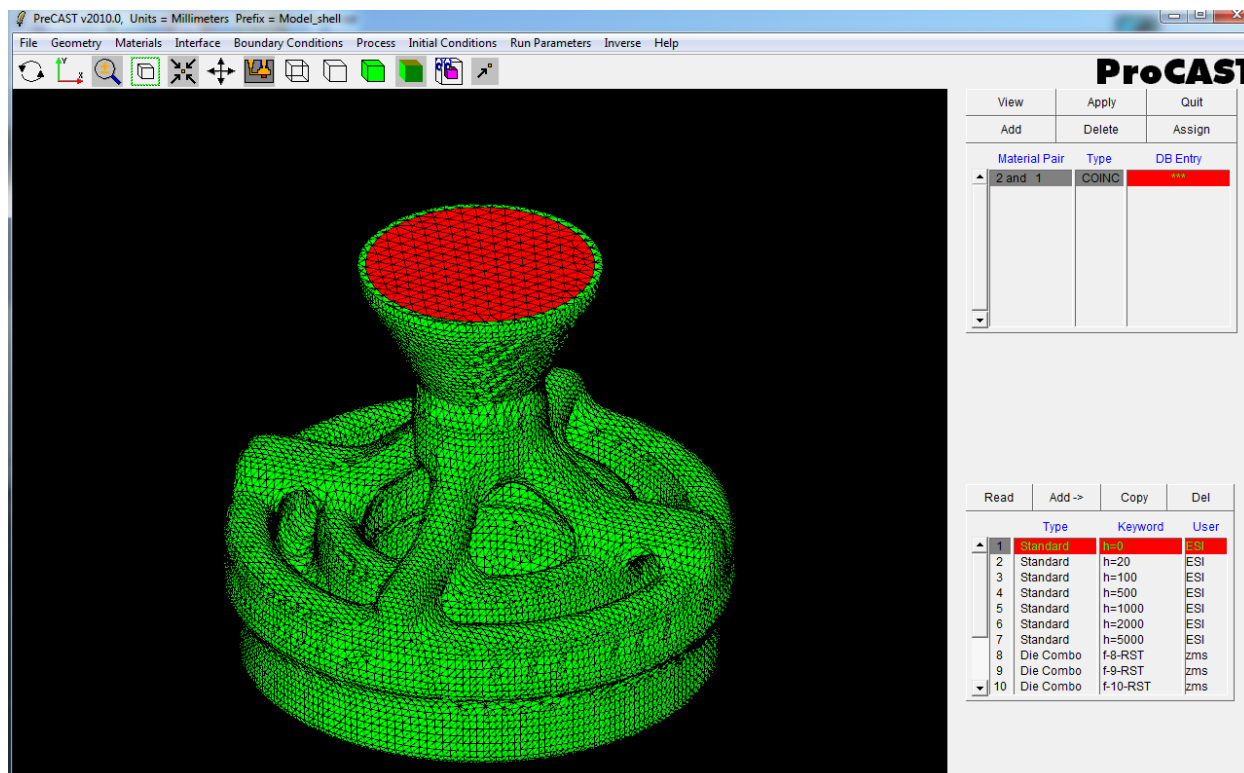
- Для исправления данных элементов с плохим качеством сетки, нажмите на кнопку **Auto Fix Fillets/Bad Triangles**.
- Еще раз щелкните **Check Mesh**. Теперь в окне **Message Window** появится сообщение **The Surface mesh seems OK**, означающее, что все ошибки были исправлены.
- Проверьте сетку на наличие пересечений. Для этого щелкните **Check Intersections**. В окне **Message Window** появится сообщение **Total # of possible intersections are: 0**, т.е. количество пересечений равно нулю.
- Нажмите **File/Save** для сохранения файла в формате *.sm.
- Нажмите **Generate Tet Mesh** для построения объемной сетки.

После построения объемной сетки перейдите в менеджер файлов (File Manager). В папке, где был сохранен файл *.sm, появится новый файл в формате *.mesh.

- Запустите PreCAST.

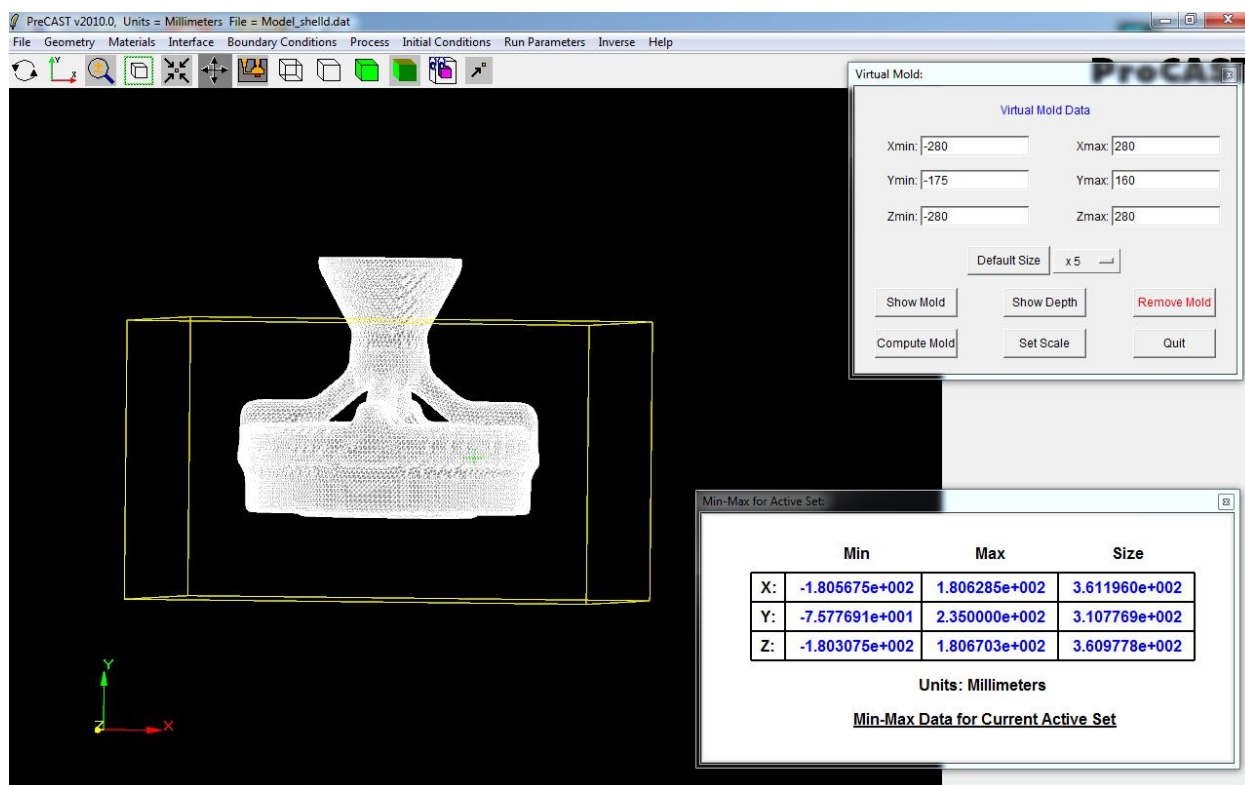


- В данной задаче будет использоваться виртуальная форма для учета наполнителя опоки. Перед построением формы нужно поменять тип контакта для пары отливка – оболочка и проверить ее порядок. В обратном случае изменение типа контакта после создания виртуальной формы потребует ее пересчета.
- Выберите в основном меню **Interface**. Для единственной контактной пары выберите тип **COINC** и нажмите **Apply**.
- Установите следующий порядок в паре: 2 and 1.

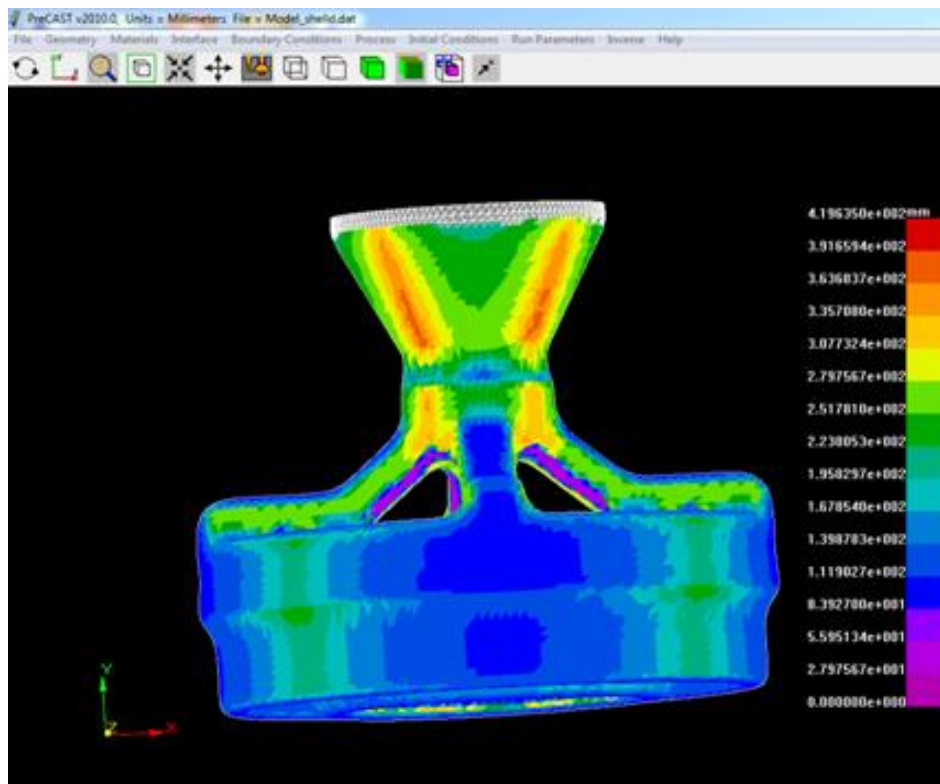


3.2. СОЗДАНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ ФОРМЫ

- Выберите пункт меню **Geometry/Virtual Mold**.
- Появится окно **Virtual Mold**. В разделе **Virtual Mold Data** необходимо задать координаты для построения формы.
 - Откройте таблицу с координатами крайних точек модели, используя пункт меню **Geometry/Check geom/ Min-Max**.
 - Толщину стенки формы примем 100 мм.
Исходя из имеющихся данных, в окне **Virtual Mold** введите в поле **Xmin** значение равное Xmin модели + 100 мм (ширина стенки формы). Т.е. введите: **-280**.
В поле **Xmax** введите значение равное Xmax отливки + 100 мм (ширина стенки формы). Т.е. введите: **280**.
В поле **Ymin** введите **-175**, а в поле **Ymax** значение **160** (литниковая воронка не погружена в наполнитель).
В поле **Zmin** необходимо ввести **-280**, а в поле **Zmax** укажите значение **280**.



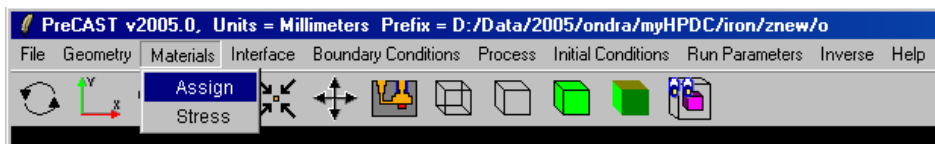
- Для отображения границ виртуальной формы нажмите **Show mold**.
- Нажмите **Compute Mold**.
Автоматически будет построена форма и рассчитана глубина нагрева формы по всему контуру оболочки.



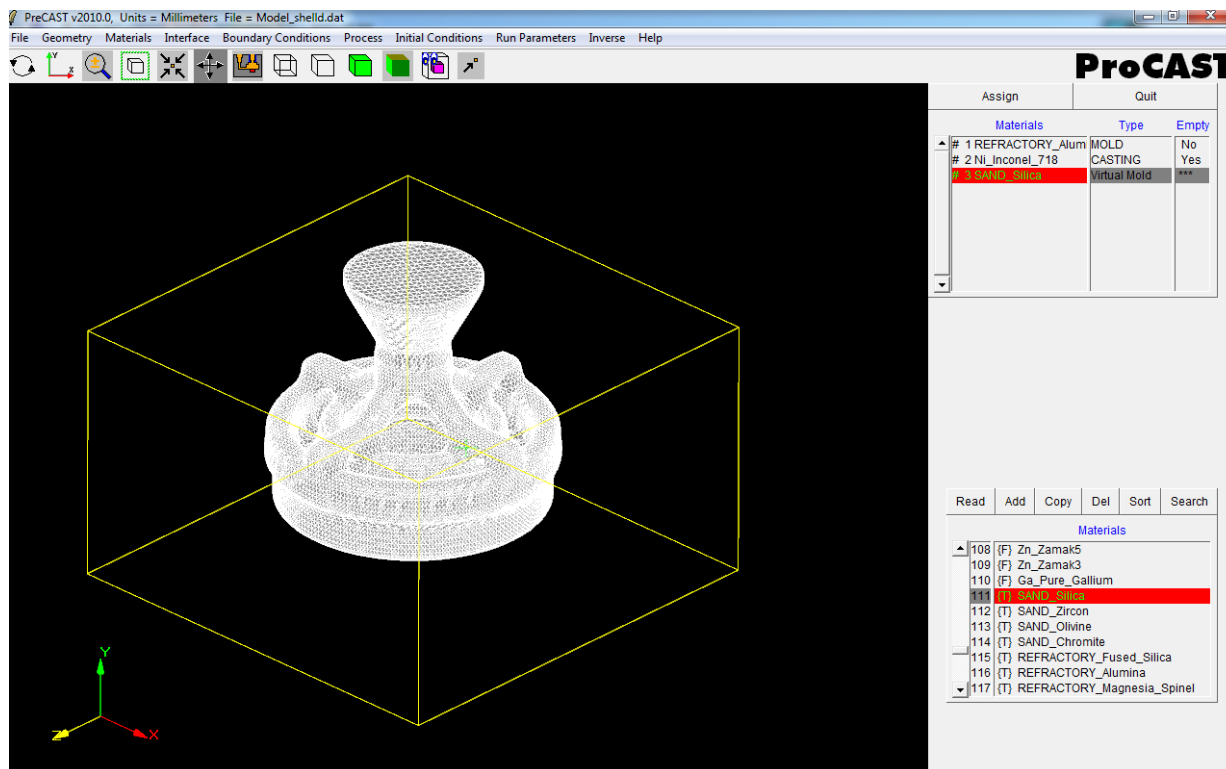
- Щелкните на кнопку **Quit** в окне **Virtual Mold**.

3.3. ЗАДАНИЕ МАТЕРИАЛОВ

- Выберите пункт меню **Materials/Assign**.

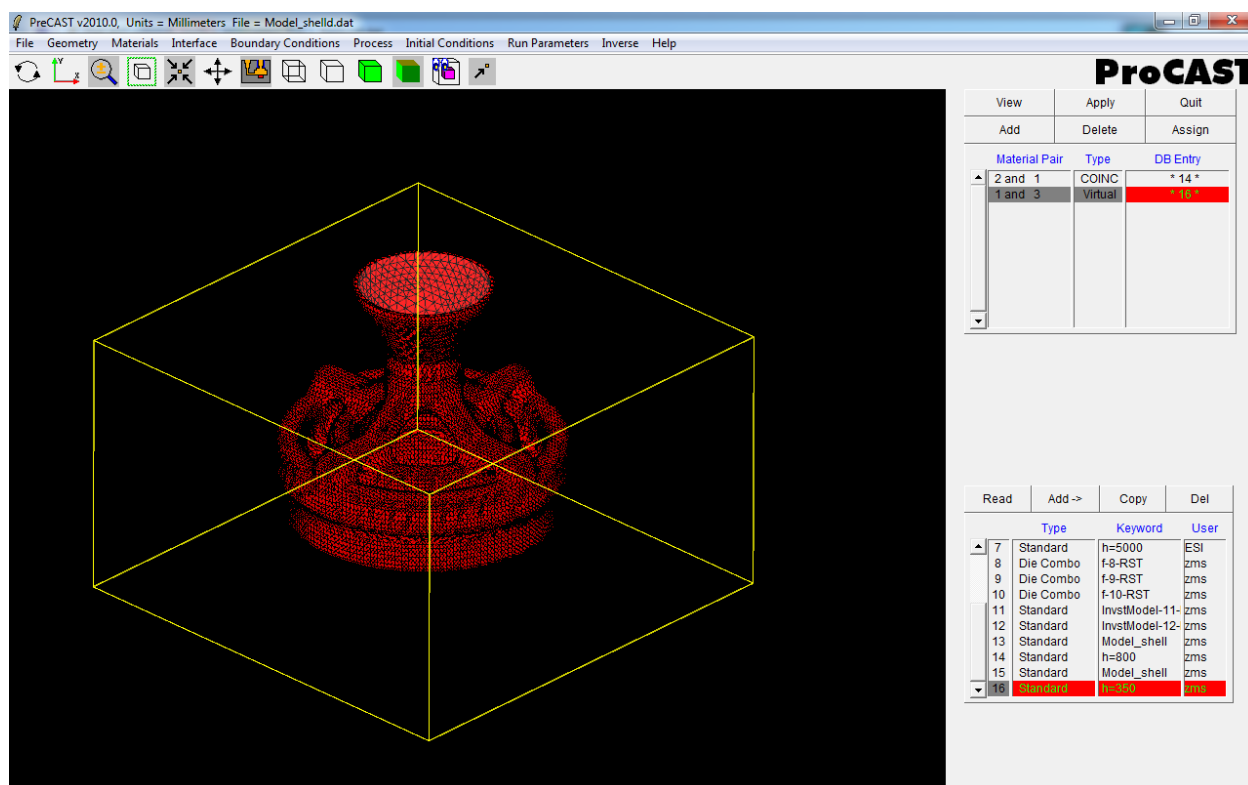


- Откроется новая панель, где имеются две таблицы. Верхняя таблица содержит перечень доменов модели, для которых задается материал. В нижней таблице представлена база данных материалов.
- Выберите для каждого домена соответствующий материал.
 - Первый домен соответствует корочке. Задайте материал **Refractory_Alumina** (смесь на основе электрокорунда). В столбце **Type** оставьте **Mold** (форма). В столбце **Empty** необходимо установить **NO**, поскольку этот домен заполнен материалом в начальный момент времени.
 - Для отливки укажите материал **Ni_inconel_718** (жаропрочный сплав на никелевой основе). В столбце **Empty** установите **YES**.
 - Для домена, соответствующего наполнителю, выберите материал **Sand_Silica**.




3.4. УСТАНОВКА КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ДЛЯ КОНТАКТОВ ДВУХ ТЕЛ

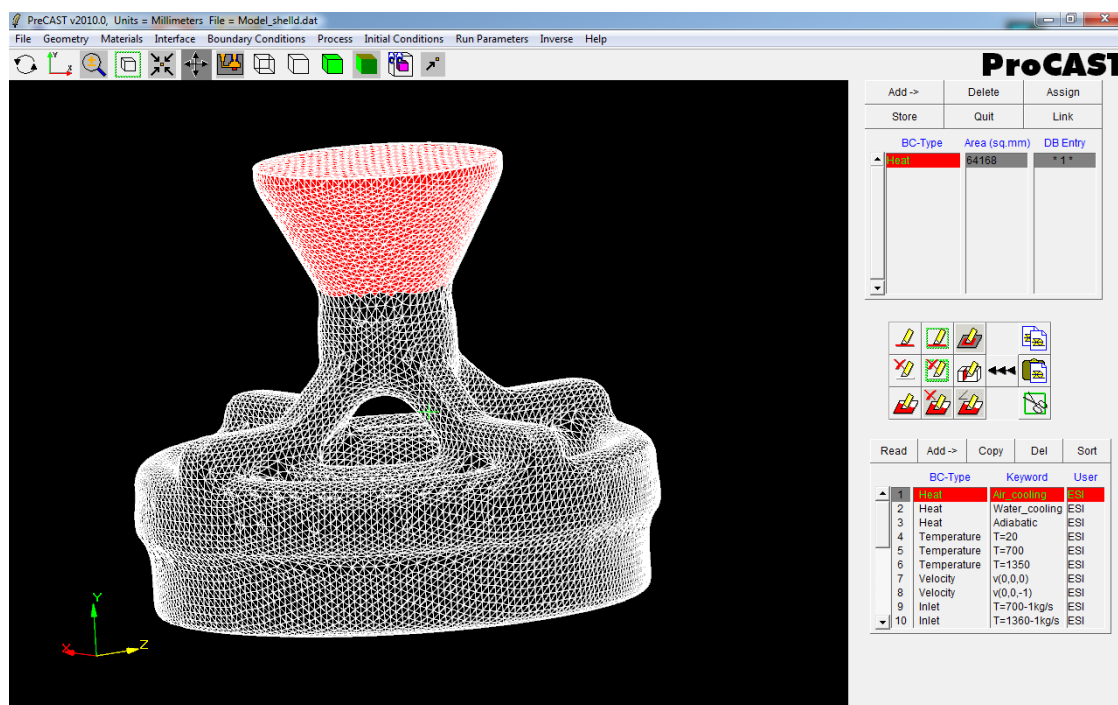
- Выберите в основном меню **Interface**. Здесь необходимо установить коэффициент теплопередачи для имеющихся контактных пар.
- В данном примере для поверхности раздела отливка-корочка установите коэффициент $h=800$. Если такого коэффициента нет в нижней таблицы, тогда создайте новый коэффициент:
 - Выберите **Add/Standard**.
 - В появившемся окне введите в поле **Keyword** имя, например $h=800$, в поле **Н.Т. Coeff.** введите значение 800 и нажмите **Store**.
 - Выделите созданное значение в нижней таблице и первую контактную пару в верхней таблице, нажмите кнопку **Assign**, чтобы назначить коэффициент теплопередачи.
- Для поверхностей раздела форма – отливка установите коэффициент $h=350$ (если такой коэффициент не создан, добавьте описанным выше способом).



3.5. УСТАНОВКА ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ПРОЦЕССА

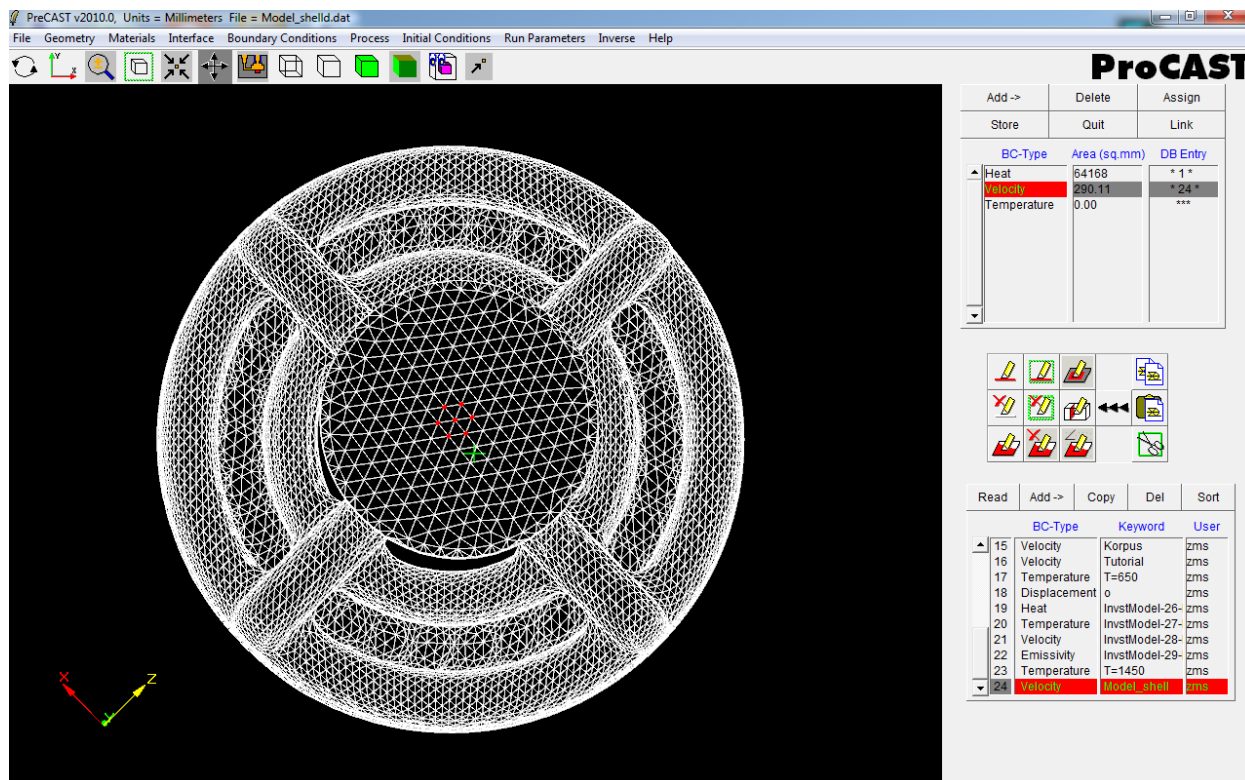
Далее следует задать граничные условия охлаждения формы и параметров заливки металла.

- Откройте пункт меню **Boundary Conditions / Assign Surface**.
- В верхней таблице добавьте граничные условия охлаждения внешних стенок отливки (**Heat**), скорости (**Velocity**) и температуры (**Temperature**). Для этого щелкните на кнопку **Add** и выберите нужные условия.
- Определите для каждого граничного условия поверхность, на которых они будут действовать.
- Для условия **Heat** выделите открытую поверхность литниковой воронки, как показано на рисунке (используйте инструмент **Propagate: Select**, иконка ) , и нажмите **Store**.



- Укажите для граничного условия **Heat** параметр охлаждения на воздухе. Для этого выберите в нижней таблице базы данных параметр **Heat / Air Cooling**, а в верхней таблице - условие **Heat** и нажмите кнопку **Assign**.

- Задайте поверхность для условия **Velocity** (выделите поверхность как показано ниже и щелкните **Store**).



- Добавьте новое значение скорости в базу данных: нажмите в нижней таблице кнопку **Add / Velocity**.

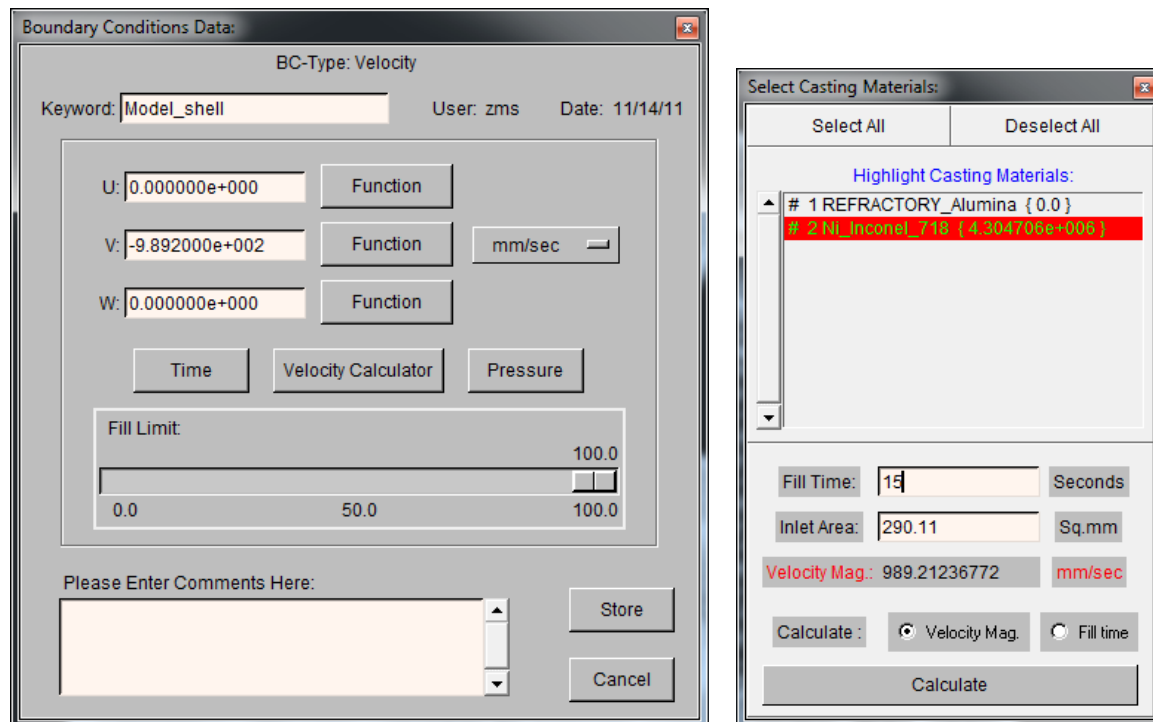
Откроется окно **Boundary Conditions Data**.



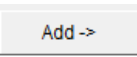
- В поле **U**, **V**, и **W** необходимо ввести значение скорости потока по каждой составляющей оси **X**, **Y** и **Z** соответственно.
- Используйте опцию **Velocity Calculator**. Данный инструмент позволяет рассчитать среднюю скорость потока, исходя из общего времени заливки. Нажмите кнопку **Velocity Calculator**, откроется новое окно.

В поле **Fill Time** введите время заливки формы = 15 с и нажмите кнопку **Calculate**. Расчетная скорость потока металла будет отображена в поле **Velocity Mag**. В данном случае **989.21 мм/с**.

- Введите в поле **V** значение: – **989.21** (в данном случае вектор скорости потока будет направлен противоположно оси **Y**). В остальные поля введите 0.

Обратите внимание, что скорость была рассчитана в единицах измерения мм/с, поэтому справа от введенного значения скорости необходимо указать те же единицы (mm/sec).

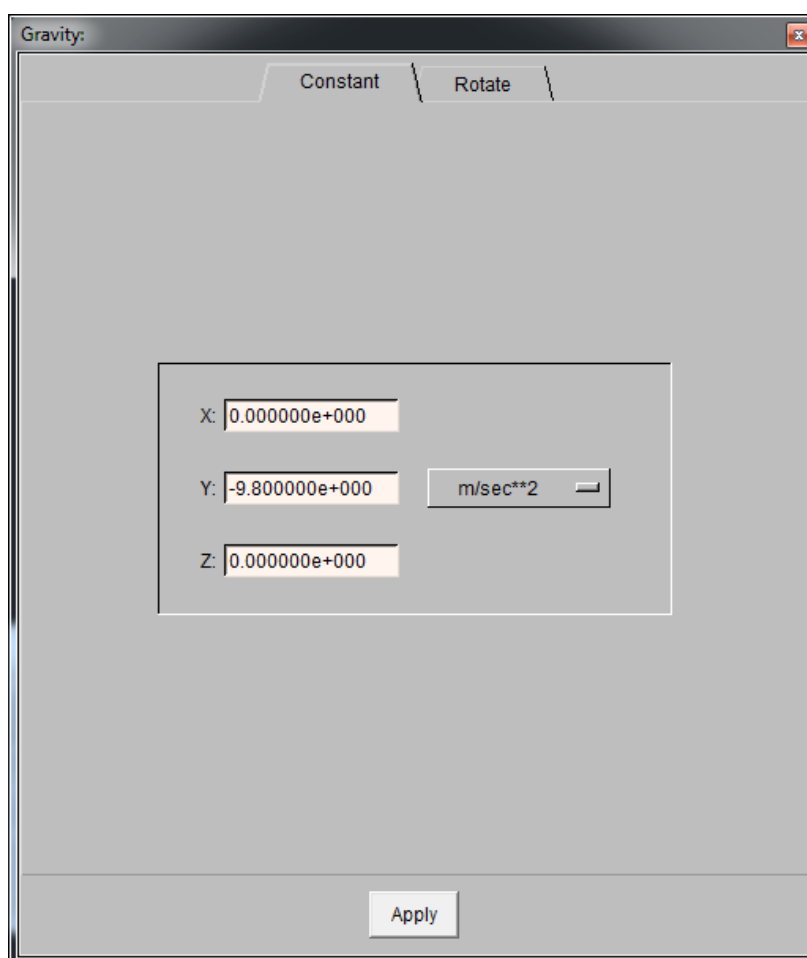


- Нажмите кнопку **Store**, чтобы сохранить рассчитанное значение скорости и добавьте его к установленному граничному условию **Velocity** при помощи кнопки **Assign**.
- Укажите поверхность для условия **Temperature** (ту же что и для условия **Velocity**). Для того чтобы заново не выделять поверхность щелкните на строку **Velocity** и нажмите на кнопку **Copy** (иконка ). Далее щелкните на строку **Temperature**, нажмите на кнопку **Paste** (иконка ) и **Store**.
- Теперь укажите значение температуры для граничного условия. Оно должно соответствовать температуре заливки металла. В данном случае температура заливки составляет 1450 °С. Такого значения в базе данных нет, поэтому необходимо добавить новую запись. Для этого в нижней таблице базы данных нажмите кнопку  и выберите во всплывающем меню параметр **Temperature**. Откроется пустое окно **Boundary Conditions Data**. Введите в поле **Keyword: T=1450**, в поле **Temperature** значение 1450.
- Нажмите кнопку **Store**, чтобы сохранить новый параметр в базу данных.
 - Выберите в базе данных только что созданное значение температуры, укажите в списке граничных условий (верхняя таблица) параметр **Temperature** и нажмите кнопку **Assign**. Температура потока металла задана.

3.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕКТОРА СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

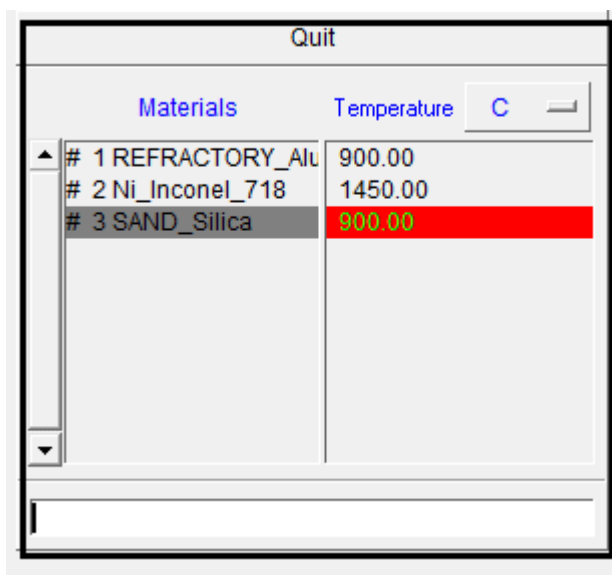
После выбора и настройки граничных условий необходимо определить положение модели в пространстве. Для этого выберите пункт меню **Process – Gravity**.

- Установите модель в правильном положении и определите направление вектора гравитации. В данном случае вектор гравитации будет направлен против оси **Y**, поэтому в окне **Gravity** необходимо ввести отрицательное значение гравитационной постоянной в поле **Y**.
- Нажмите дважды левой кнопкой мыши по литере **Y**.
- Нажмите **Apply**.



3.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЧАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР МАТЕРИАЛОВ

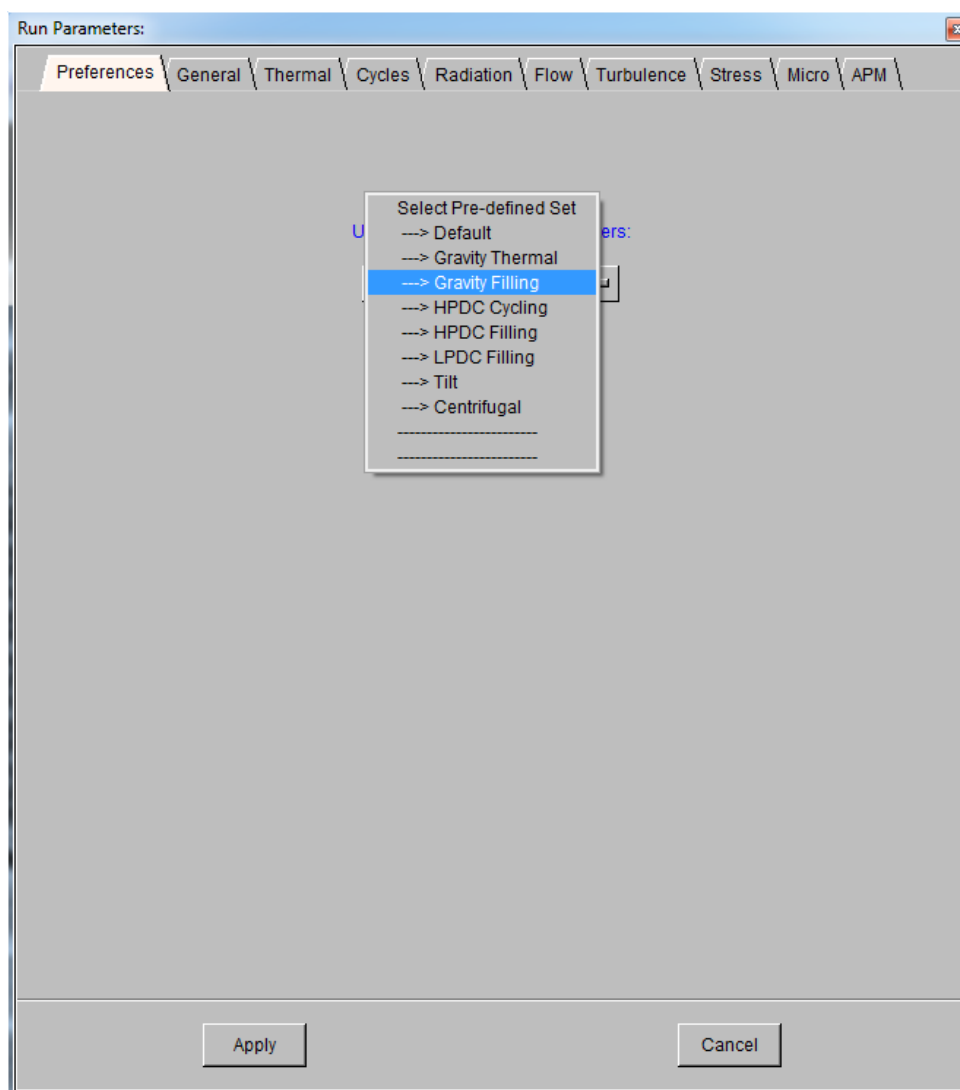
- Откройте меню **Initial Conditions / Constant**.
- В появившейся таблице необходимо для каждого материала выбрать соответствующую ему начальную температуру: для отливки это будет температура заливки (1450 °C), для формы и оболочки – температура нагрева перед заливкой = 900 °C. Используя строку ввода внизу списка, установите температуру каждого материала как показано ниже.



3.8. НАСТРОЙКА РЕШАТЕЛЕЙ PROCAST И ЗАПУСК РАСЧЕТА

После установки всех данных процесса необходимо настроить нужные модули ProCAST для выполнения расчета. Откройте меню **Run Parameters**. Появится окно настройки решателей.

- Откройте вкладку **Preferences** и выберите в выпадающем меню параметр **Gravity Filling** (расчет заливки и кристаллизации для литья со свободной заливкой).



- Откройте вкладку **General**.
 - В поле **NSTEP** укажите общее количество расчетных шагов моделирования, которых точно хватит для проведения необходимого промежутка времени. Введите значение 20000.
 - В поле **TSTOP** введите значение **1140 с** (температура чуть ниже температуры солидуса для расчета заполнения и кристаллизации).

Run Parameters:

Preferences | General | Thermal | Cycles | Radiation | Flow | Turbulence | Stress | Micro | APM

Standard | Advanced

Stop criterion : Max.number of Steps, **NSTEP** 20000

Stop criterion : Final Time, **TFINAL** 0.000000e+000 sec

Stop criterion : Time after filling, **TENDFILL** 0.000000e+000 sec

Stop criterion : Final Temperature, **TSTOP** 1140 C

Restart Step, **INILEV** 0

Initial Timestep, **DT** 1.000000e-003 sec

Maximum Timestep for Filling, **DTMAXFILL** 1.000000e-001 sec Time

Maximum Timestep, **DTMAX** 1.000000e+000 sec Time

TUNITS: C

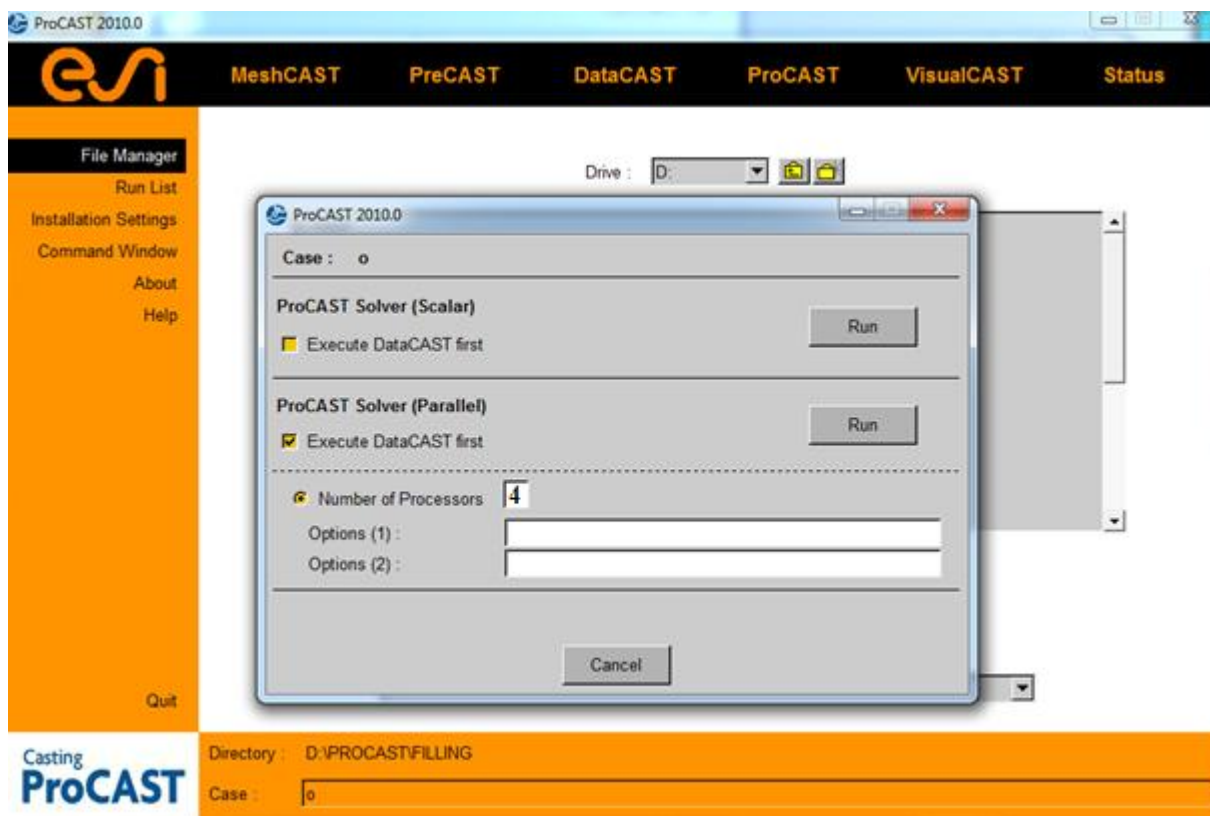
QUNITS: W/m**2

VUNITS: m/sec

PUNITS: bar

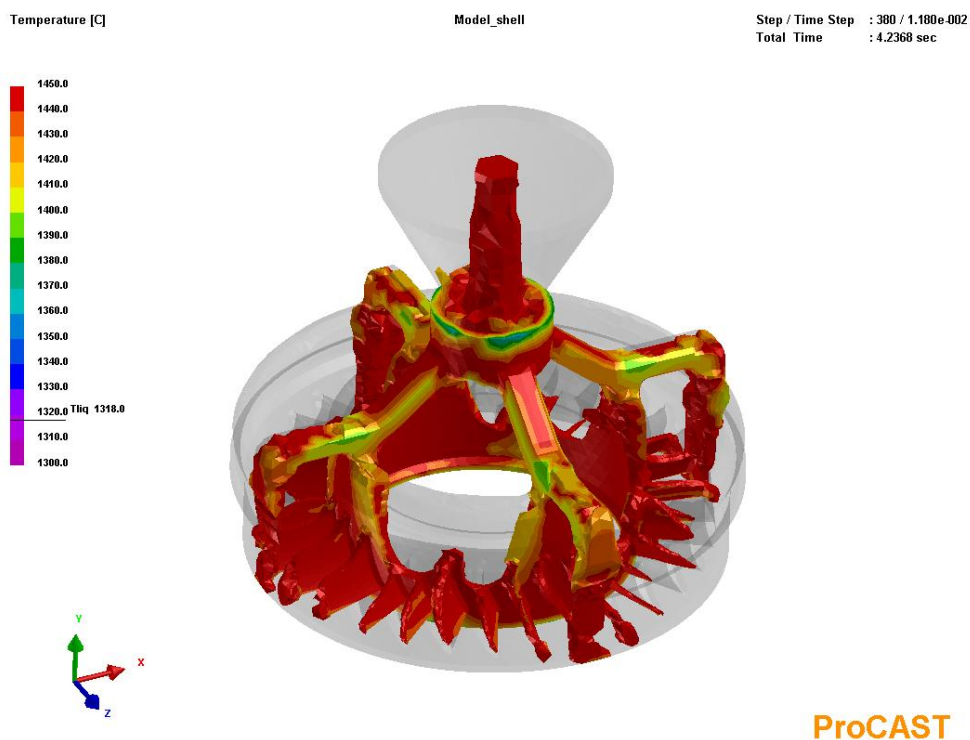
Apply Cancel

- Во вкладке **Flow** введите 1 в поле **LVSURF**.
- Нажмите **Apply** для сохранения всех установок.
- Теперь можно сохранить проект, однако перед этим проведите оптимизацию сеточной модели. Для этого выберите в меню **File / Optimize**. Затем закройте окно PreCAST и подтвердите сохранение проекта.
- Запустите расчет: в файловом менеджере нажмите кнопку ProCAST в верхней части окна. Откроется окно запуска расчета. Если вы установили в настройках файлового менеджера использование многопроцессорной версии, то окно запуска будет включать два варианта запуска расчета:
 - ProCAST Solver (Scalar) - запуск однопроцессорной версии расчета;
 - ProCAST Solver (Parallel) - запуск многопроцессорной версии расчета.
- Поставьте галочку напротив **Execute DataCAST first**, относящейся к запуску нужного решателя.

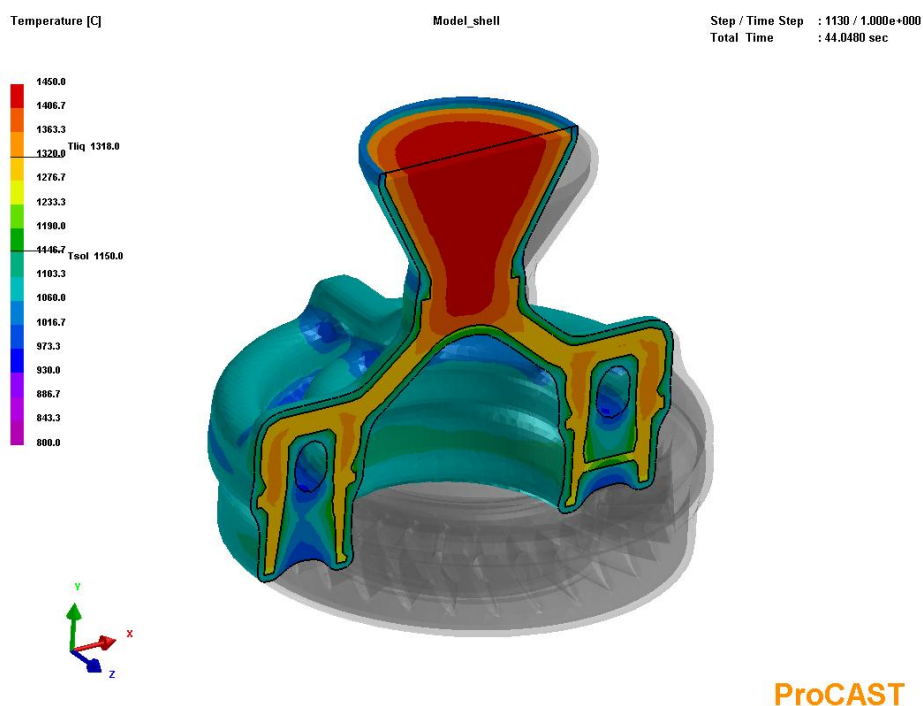


- В поле **Number of Processors** поставьте число участвующих в расчете процессоров. Для запуска расчета нажмите кнопку **Run**, относящуюся к выбранному решателю (ProCAST Solver (Parallel)).

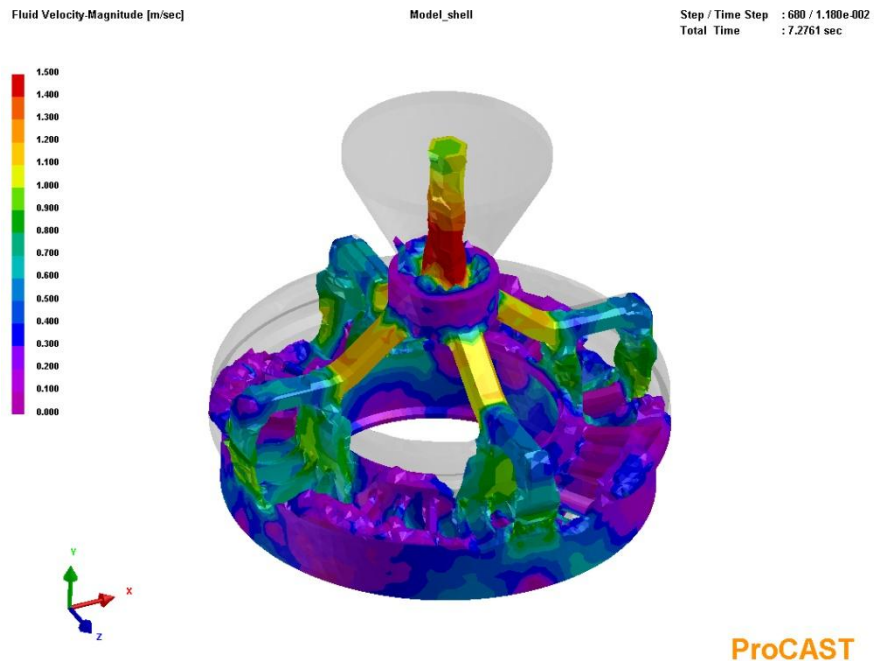
3.9. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ



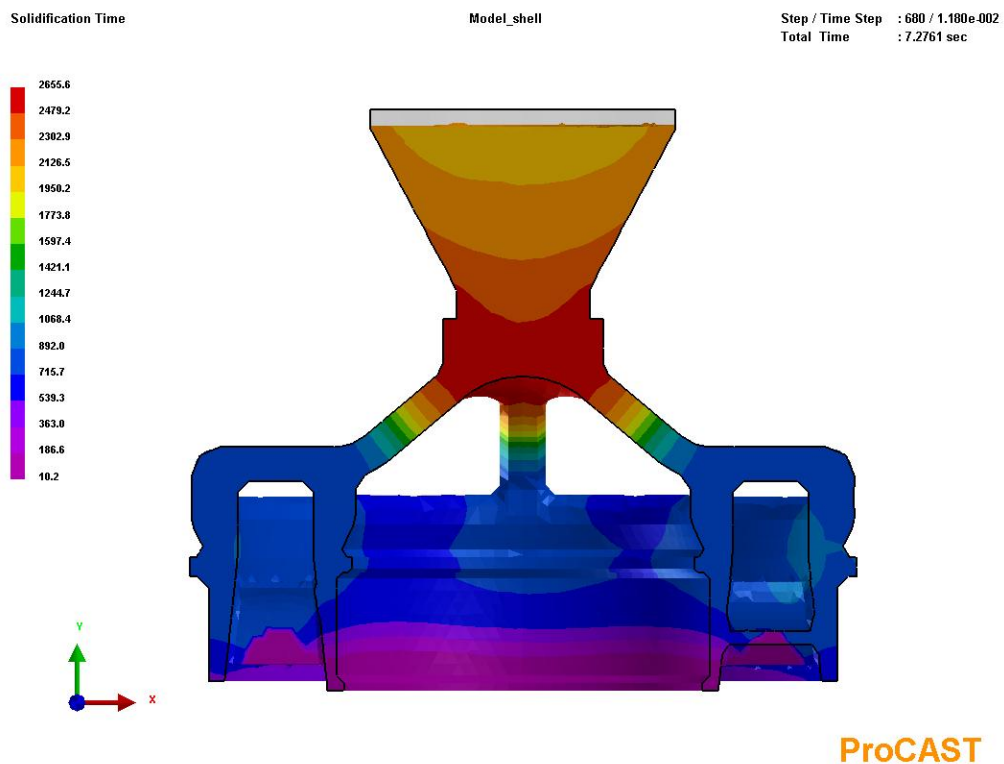
Температурное поле во время заливки



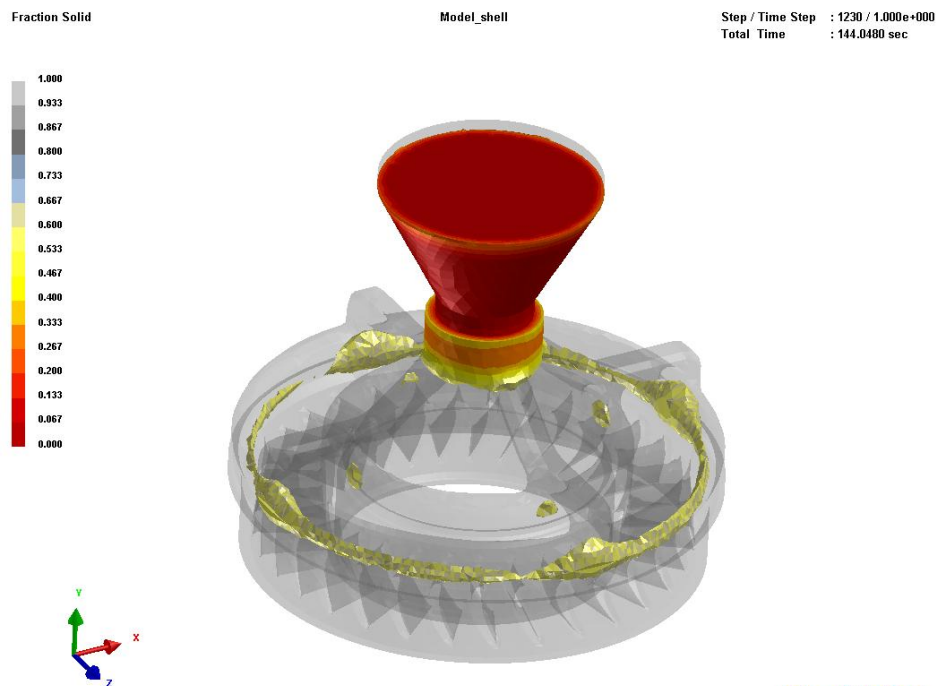
Температурное поле во время заливки



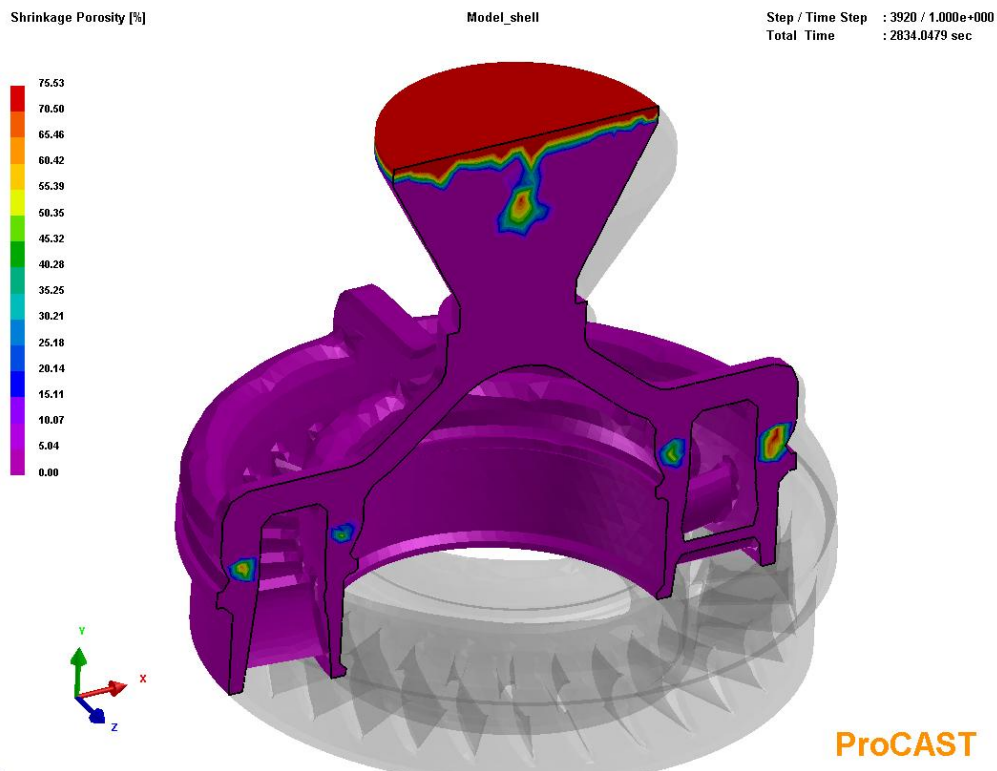
Поле распределения скорости потока жидкого металла



Время кристаллизации



Распределение твердой фазы в сплаве



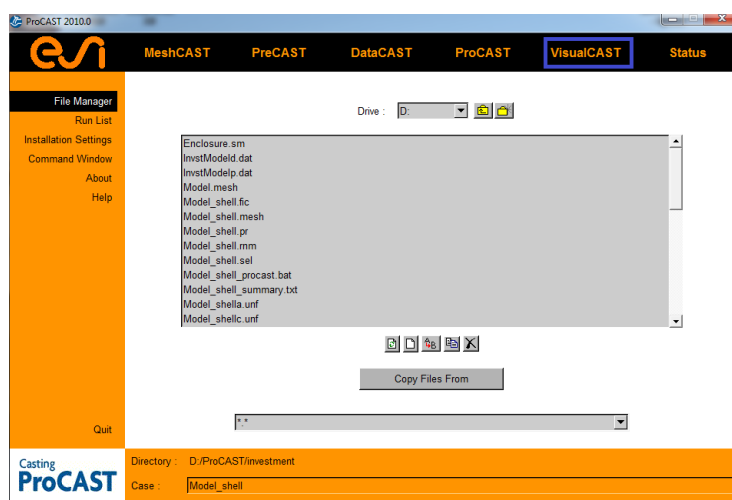
Анализ усадочной пористости

ПОСТ-ПРОЦЕССОР VISUALCAST

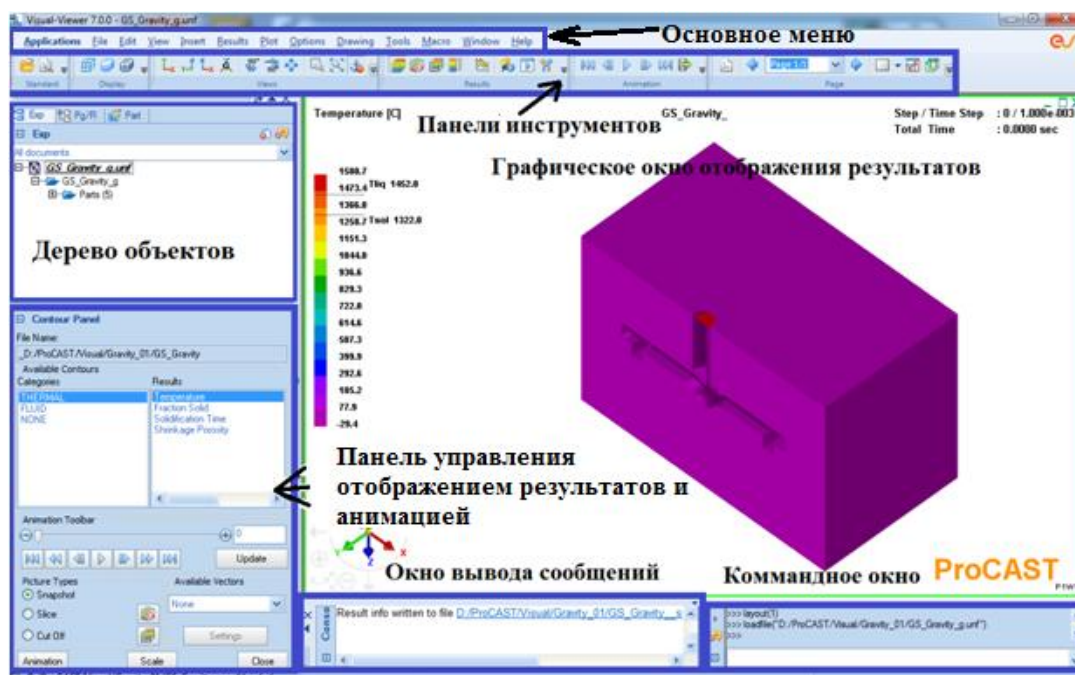
В данном разделе приведено описание основных инструментов модуля **VisualCAST**, предназначенного для постобработки результатов моделирования в **ProCAST**.

Используйте файлы результатов, полученные в задаче литья со свободной заливкой, расчет с реальной формой (пункт 1.1).

- Запустите **Procast**. В файловом менеджере выберите папку, где хранятся файлы и щелкните **VisualCAST**.



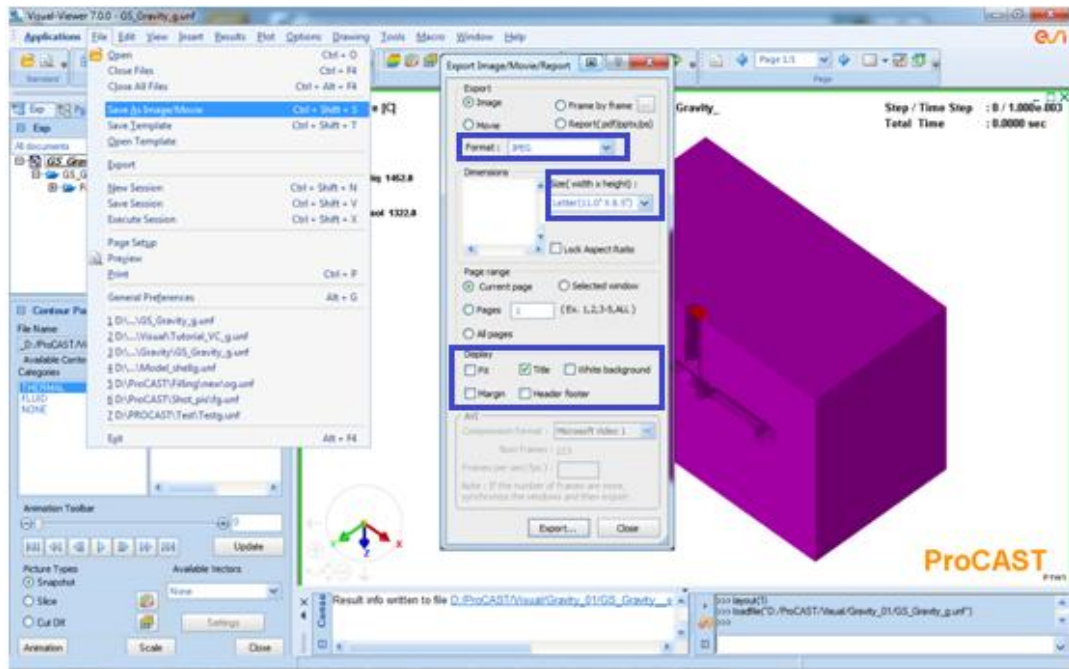
- Появится окно **Visual-Viewer**.



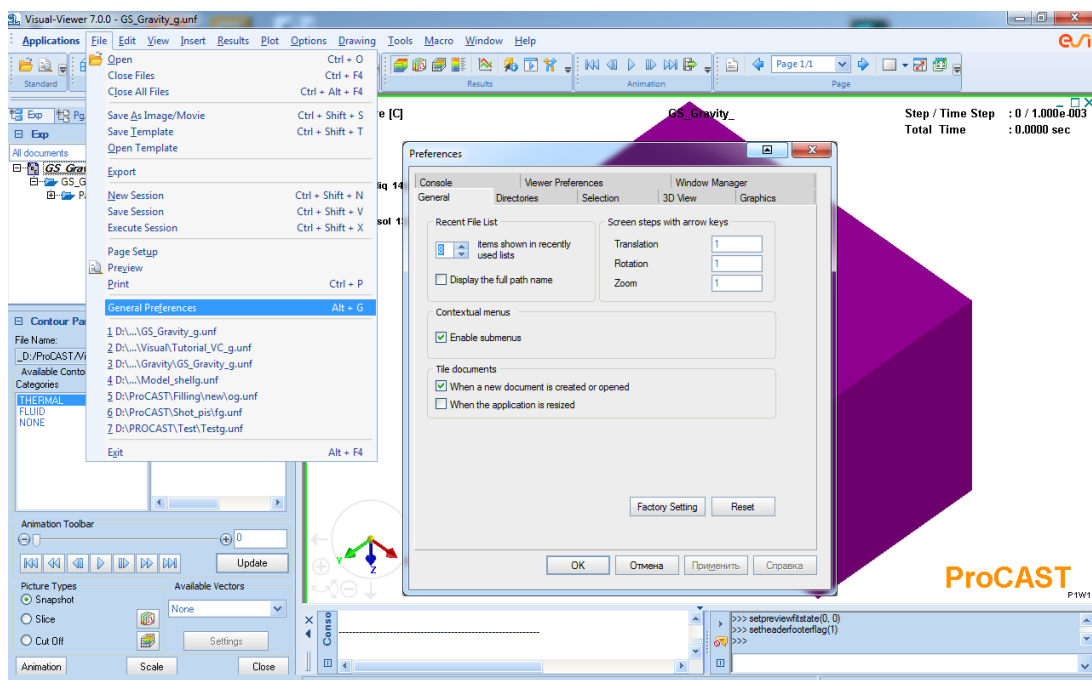
Под основным меню вынесены наиболее часто используемые панели инструментов. Чтобы добавить или убрать панель, щелкните правой кнопкой мыши и выберите из списка нужную панель.

Результаты, выведенные на экран, можно сохранять в виде картинок, а также записать анимацию процессов.

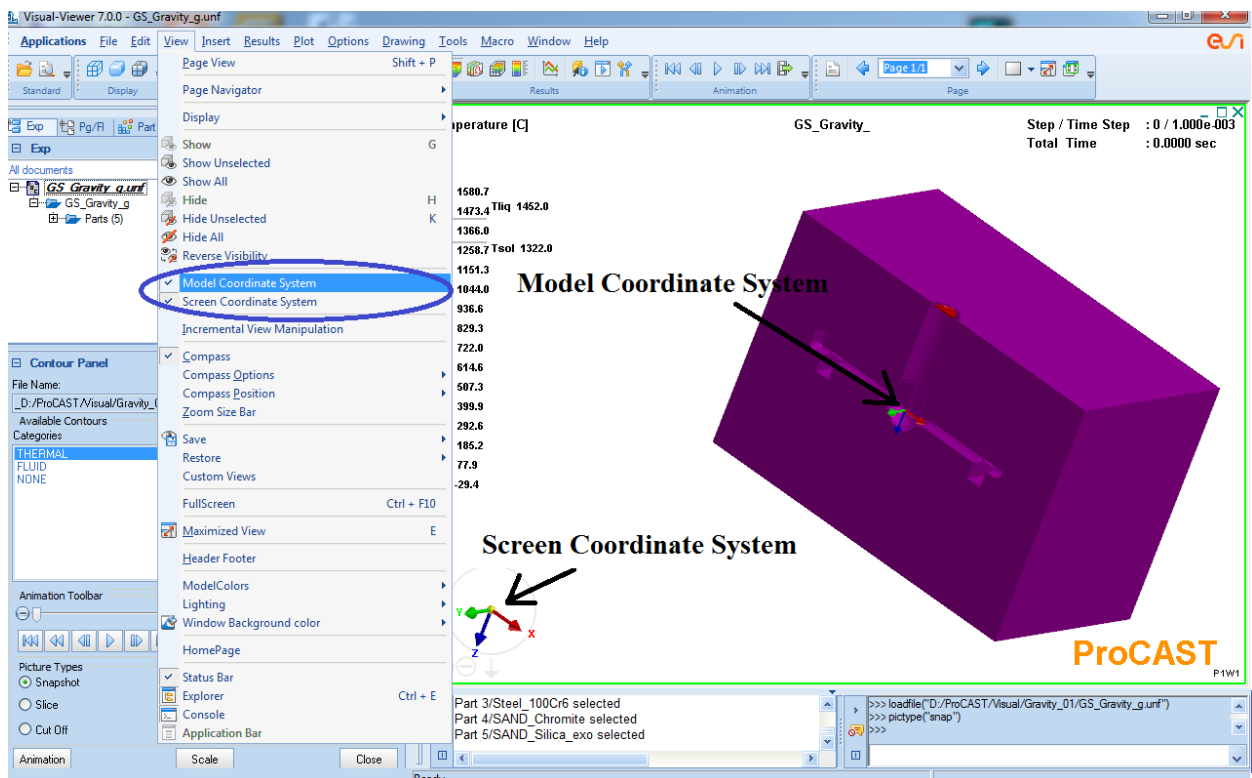
- Для этого выберите пункт меню **File/ Save as Image/Movie**. Появится окно **Export Image/Movie/Report**.
- В поле **Format** можно выбрать формат сохранения картинки или видео.
- В поле **Size** указывается размер рисунка.
- В разделе **Display** можно оставить или убрать отображение заголовка **Title** (имя проекта, параметра и номер шага расчета).



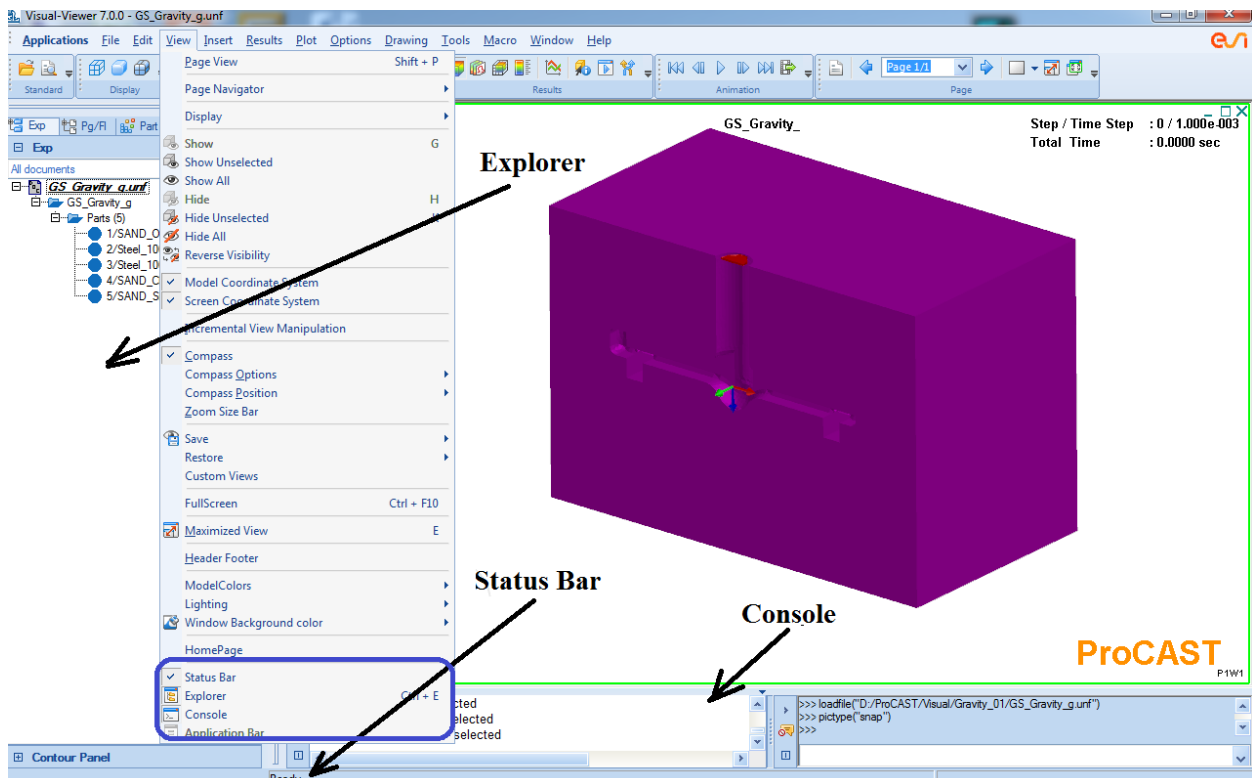
Для просмотра и изменения настроек **Visual Viewer** выберите пункт меню **File/General Preferences**.



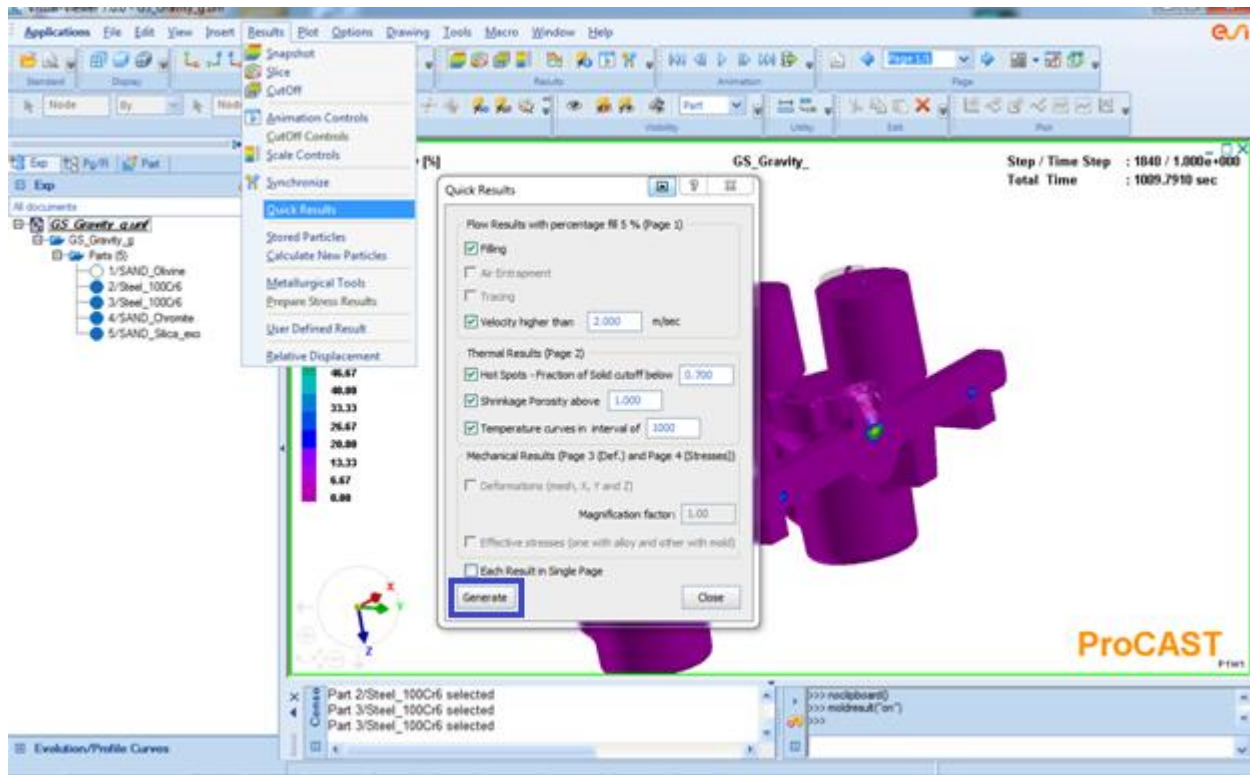
С помощью пункта **View** основного меню можно включить или выключить отображение системы координат рабочего окна (Screen Coordinate System) или системы координат модели (Model Coordinate System).



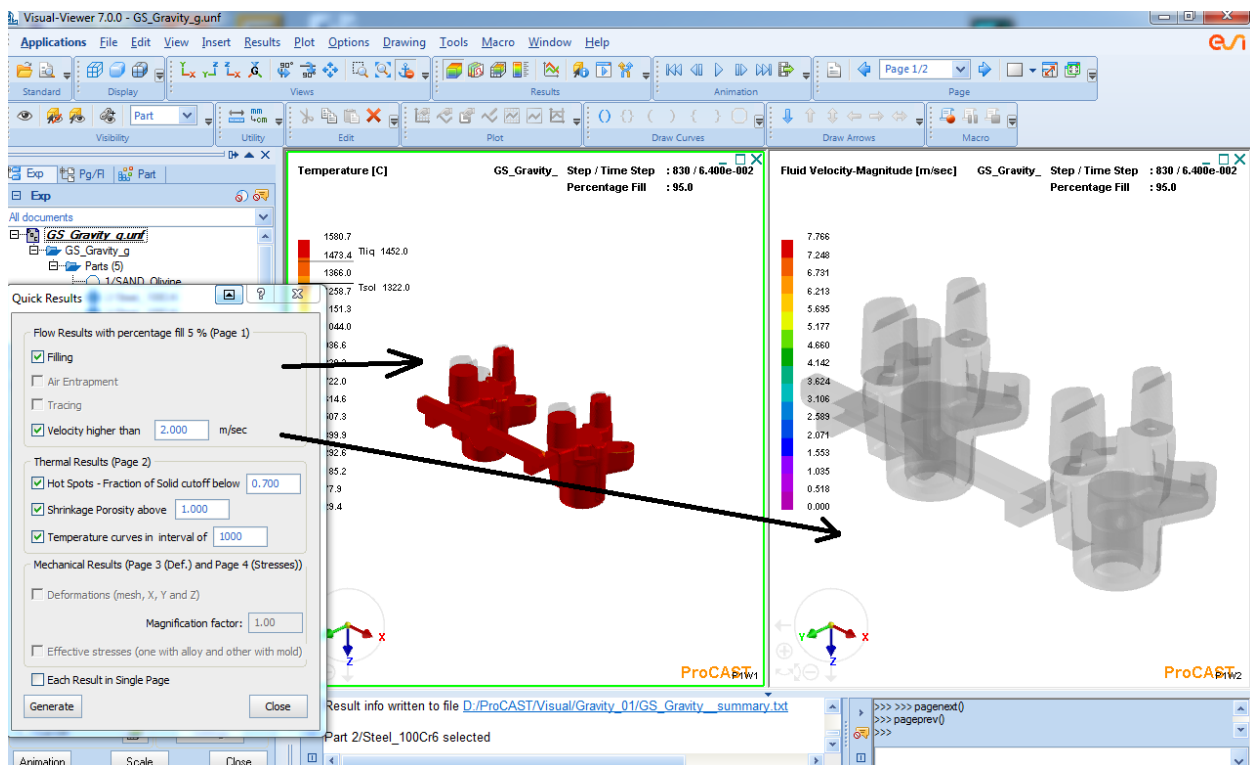
Также здесь можно скрыть или вернуть обратно **Console** (окно вывода сообщений), **Status Bar** (строка состояния), **Explorer** (дерево объектов).





Если выбрать пункт меню **Results/Quick results**, появится окно **Quick results** (быстрые результаты). Данный инструмент выводит результаты на двух страницах. Первая – результаты заполнения (Flow results), вторая – результаты кристаллизации (Thermal Results).

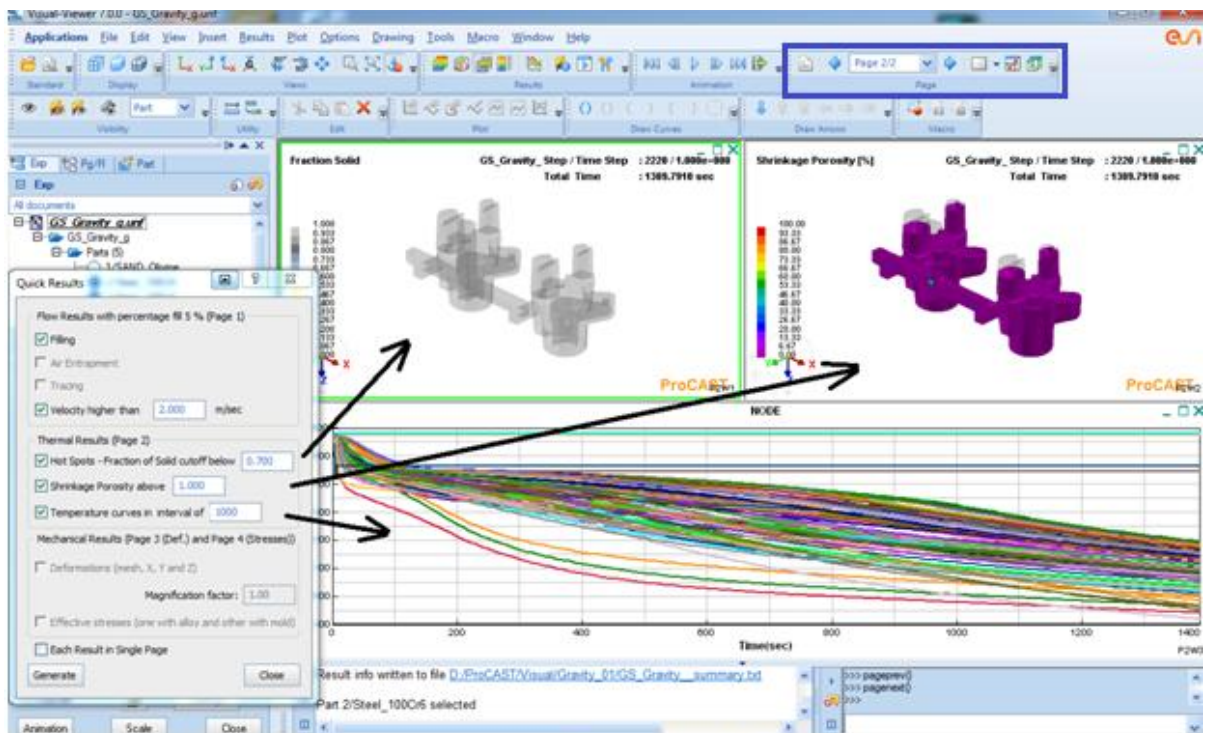


Для вывода результатов на экран щелкните **Generate**.




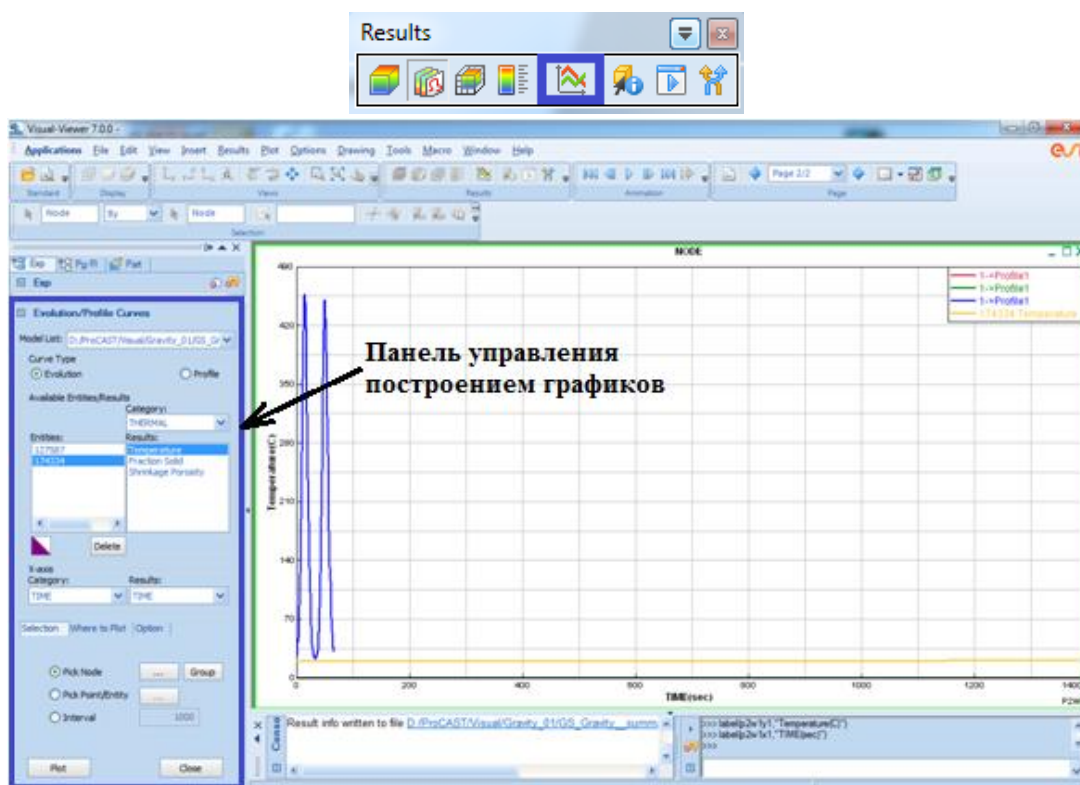
Результаты расчета стадии заполнения (температурное поле и распределение скорости потока жидкого металла)

Для перехода на другую страницу щелкните на иконку  или  на панели **Page**.



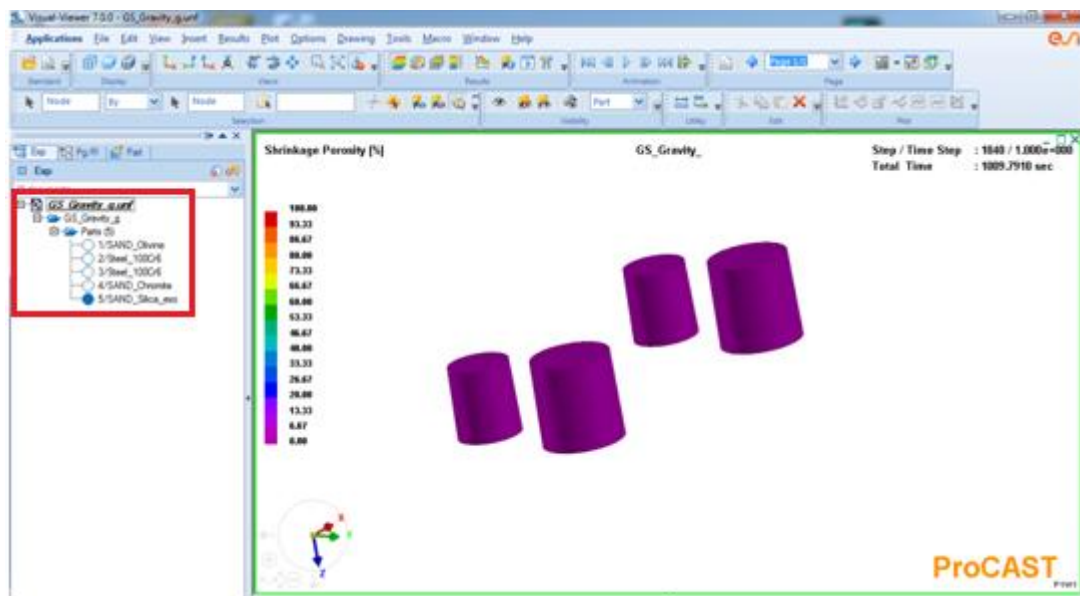
Результаты расчета кристаллизации (распределение твердой фазы, усадочная пористость и изменение температуры в узлах, выбранных с интервалом = 1000)

Для вызова панели управления построением графиков выберите пункт меню **Plot/Evolution/Profile** либо на панели **Results** щелкните на иконку .

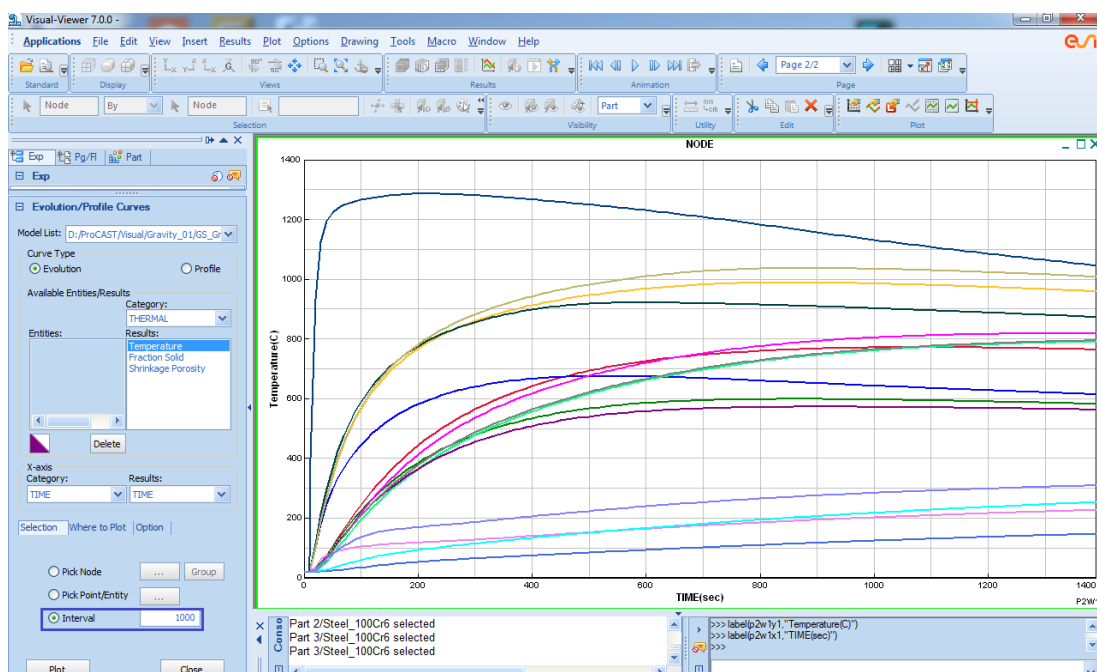


Используя данный инструмент можно построить **Evolution curves** (график изменения параметра) в пределах узла (Node); точки (Point/Entity); набора узлов, выбирающихся через заданный интервал (Interval).


- Оставьте на экране только изотермические прибыли (в дереве объектов щелкните на круги напротив названий доменов, чтобы они стали белыми).



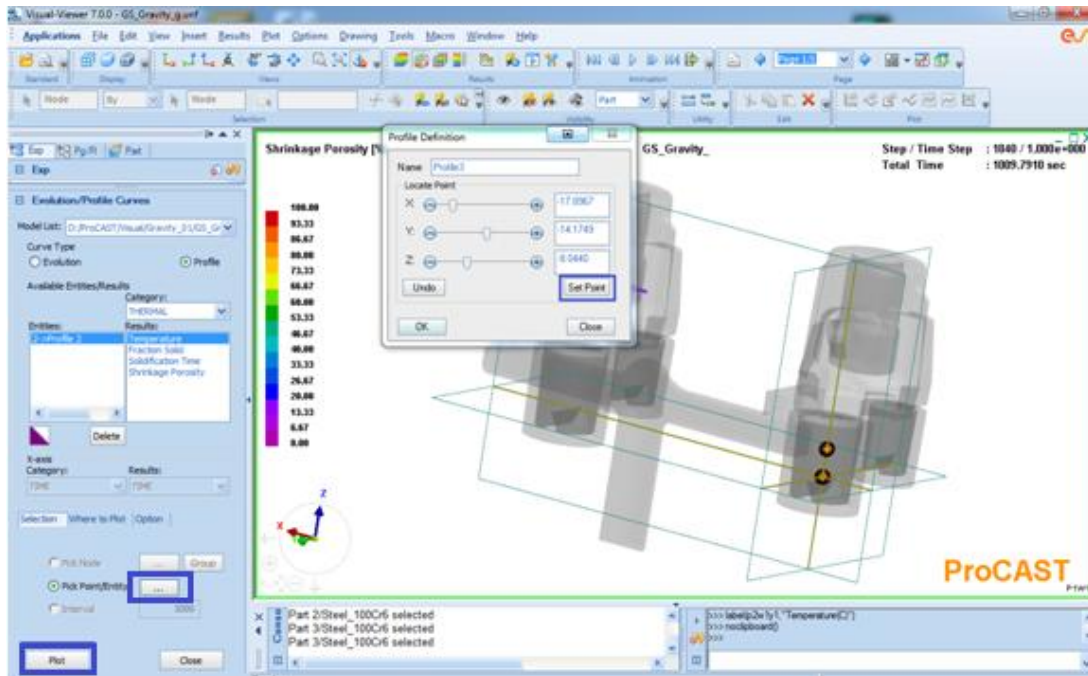
- Откройте панель **Evolution/Profile Curves**. В разделе **Selection** выберите **Interval** и введите в поле рядом значение 1000.



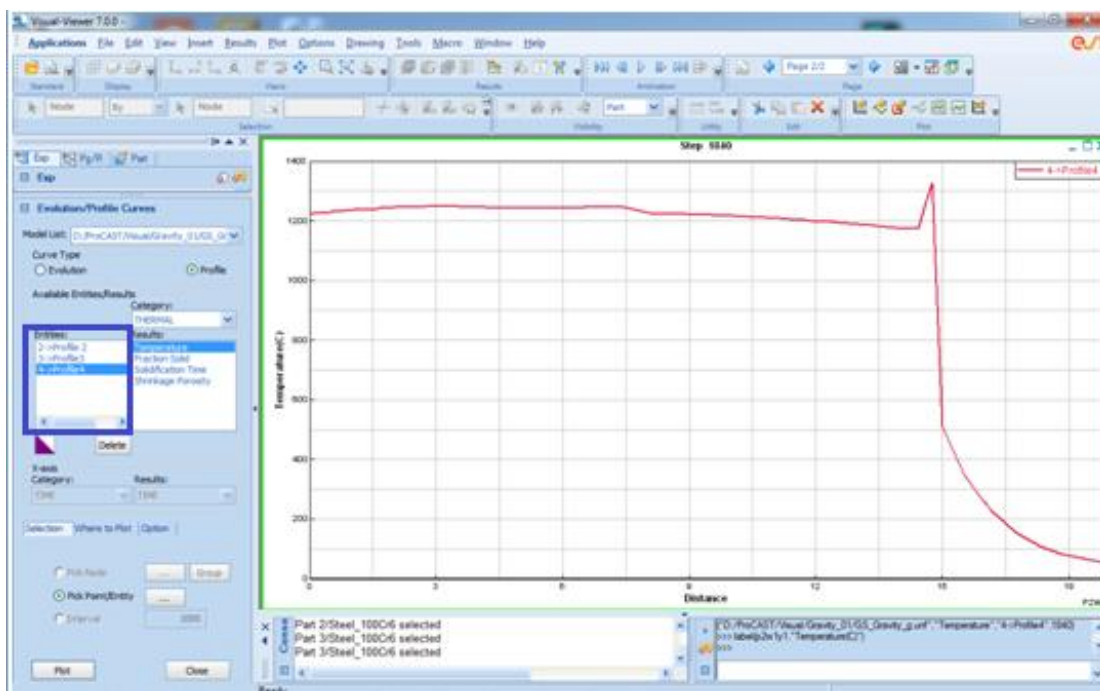
Также можно создать **Profile Curve** (график значений указанного параметра в точках вдоль заданной линии).

- Для этого активируйте опцию **Profile**. Появится окно **Profile Definition** (также для вызова этого окна можно щелкнуть на кнопку ) и три плоскости на модели

(на экране будет выделяться ближайший узел к точке пересечения этих плоскостей). Перемещая плоскости с помощью указателя на передвижных шкалах нужно выбрать несколько узлов (выбор узла осуществляется нажатием на кнопку **Set Point**) для создания между ними линии (Profile).

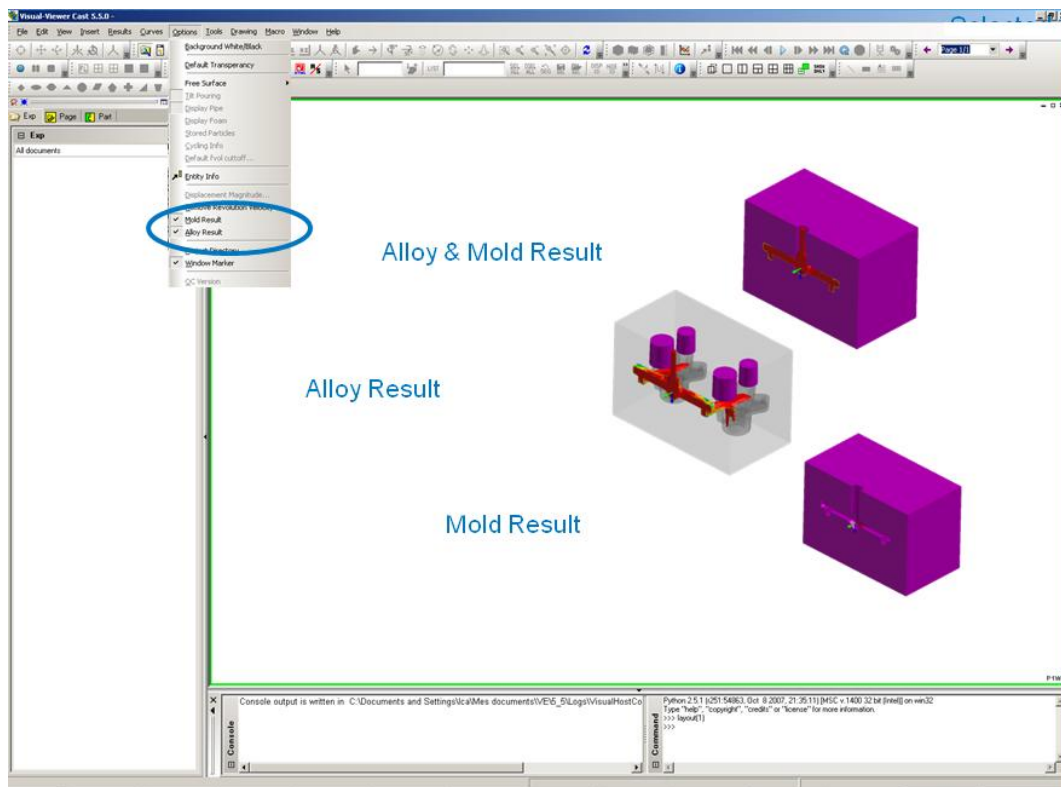



- После определения узлов нажмите **OK**. В разделе **Entities** появится имя созданной линии. Щелкните **Plot** для автоматического построения графика.

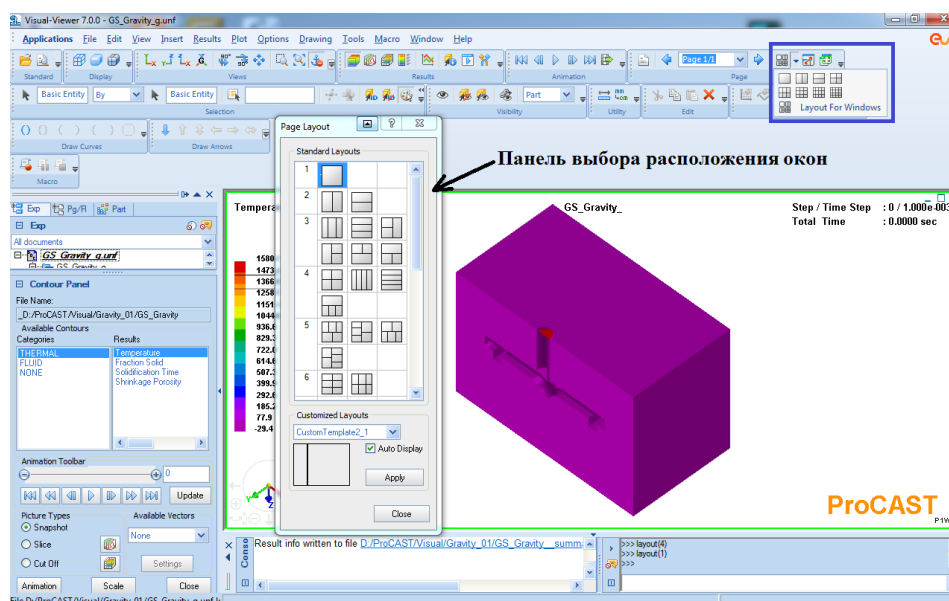



Используя пункт **Options** основного меню можно вывести на экран результаты расчета параметров только в отливке, либо только в форме.

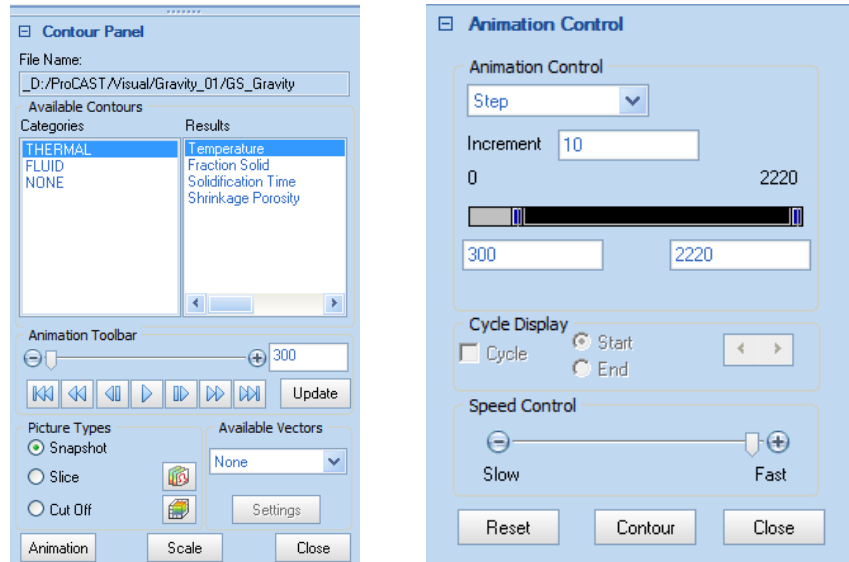
- Выберите **Options** и установите галочку напротив **Mold Result** (отображение результатов моделирования в форме) или **Alloy Result** (отображение результатов моделирования в отливке).



При необходимости можно вывести сразу несколько окон для отображения разных результатов одновременно. Для этого щелкните на панели **Page** на правую часть кнопки . Появится несколько макетов расположения окон. Выберите подходящий, либо щелкните на строку **Layout For Windows**. Откроется окно **Page Layouts**, где можно выбрать другой макет.



Панель управления отображением результатов (Contour panel) можно вызвать через пункт меню **Results/Snapshot** или щелкнув на иконку  на панели **Results**. Выбрав пункт меню **Results/Animations**, или щелкнув на кнопку **Animation** на панели **Contour panel** появится панель **Animation Control**.



В разделе **Results** на панели **Contour Panel** можно выбрать следующие параметры для отображения результатов расчета:

Для **Category – Thermal**

- Temperature** – температурное поле;
- Fraction solid** – распределение твердой фазы в сплаве;
- Solidification time** – время кристаллизации;
- Shrinkage porosity** – усадочная пористость.

Для **Category – Fluid**

- Fluid velocity (Category – Fluid)** – скорость потока;
- Pressure** – давление;
- Voids** – эвакуация воздуха из формы;
- Fill Time** – время заполнения

Для **Category – Stress**


- Effective Stress** – эффективные напряжения.
- Maximum Shear Stress** – максимальные сдвиговые напряжения.
- Average Normal Stress** – средние нормальные напряжения.
- Contact Pressure** – контактное давление.
- Effective Plastic Strain** – эффективные пластические деформации.
- Mesh Deformation** – деформация сетки.
- Total Displacement** – общая деформация модели.

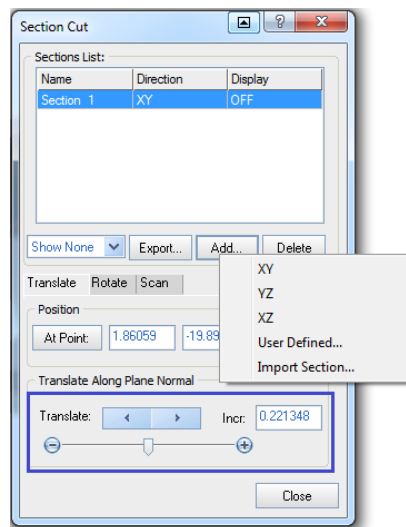
X, Y, Z Displacement – деформация по осям X, Y и Z.


Hot Tearing Indicator – индикатор горячих трещин.

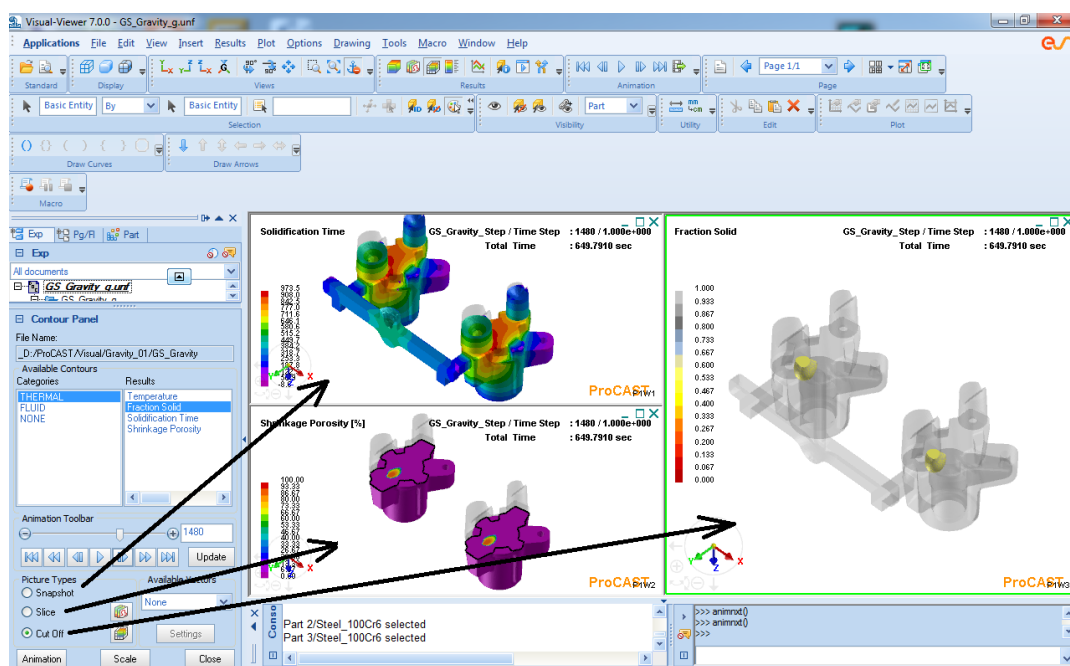
Gap Width – толщина воздушного зазора между отливкой и формой.

В разделе **Picture type** (тип отображения) можно выбрать опцию для вывода на экран картины распределения параметров по всей поверхности модели (Snapshot).

Если нужно посмотреть результаты в каком-то сечении или отдельном элементе отливки, используйте опцию **Slice**. Щелкните на иконку  (Post Slice Panel) и в появившемся окне щелкните **Add**. Выберите плоскость сечения (XY, YZ или XZ) и укажите её положение с помощью передвижной шкалы в разделе **Translate Along Plane Normal** (Перемещение вдоль нормали к плоскости).



Опция **Cut Off** позволяет вывести на экран результаты расчета какого либо параметра в заданном интервале. Для вызова окна настроек опции щелкните на иконку .



Для проверки состояния расчета нужно выбрать пункт меню **Tools/Calculation Monitoring**.

