

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

**Моделирование процессов штамповки деталей
в программном комплексе ProCast**

Электронные методические указания

САМАРА

2011

УДК СГАУ: 621.771.001.1

Составители: **Черников Дмитрий Геннадьевич,**
Хардин Михаил Викторович,
Шляпугин Алексей Геннадьевич

Рецензент: канд. техн. наук, доц. С.Д. Смольников

Моделирование процессов штамповки деталей в программном комплексе ProCast [Электронный ресурс] : электрон. метод. указания / Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т. С.П. Королева (нац. исслед. ун-т); сост. Д.Г. Черников, М.В. Хардин, А.Г. Шляпугин. - Электрон. текстовые и граф. дан. (5 Мбайт). - Самара, 2011. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM). - Систем. требования: ПК Pentium; Windows 98 или выше.

Рассмотрены вопросы, связанные с особенностями литья алюминиевых сплавов в металлические формы, кратко описаны основные существующие системы компьютерного моделирования литейных процессов, а также приведен пример конкретного комплексного расчета на примере получения пробы на жидкотекучесть Нехедзи-Купцова.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся в бакалавриате и магистратуре по направлению подготовки 150400 «Металлургия» при изучении курса «Моделирование процессов и объектов в металлургии».

Методические указания разработаны на кафедре обработки металлов давлением.

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ИНТЕРФЕЙС PROCAST	5
1.1 Общие сведения и интерфейс модуля MeshCAST	6
1.1.1 Описание команд TOP MENU	9
1.1.2 Описание команд DISPLAY TOOLS	11
1.1.3 Описание REPAIR TOOLS	12
1.1.4 Описание команд REPAIR FACILITATION TOOLS	20
1.1.5 Описание команд SETS TABLE.....	22
1.1.6 Описание команд MESHING ENVIRONMENT.....	22
1.2 Общие сведения и интерфейс модуля PreCAST	31
1.3 Сведения о запуске задачи на счет.....	34
2 ПРИМЕР КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ЛИТЬЯ В КОКИЛЬ В PROCAST	37
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	69

ВВЕДЕНИЕ

Трудом коллективов специалистов в СССР и России созданы двигатели ЛА не уступающие, а по ряду технических показателей превосходящие свои зарубежные аналоги. Это двигатели семейств НК, ПС, РД и др.

От общего веса этих двигателей детали, изготавливаемые литьем, занимают порядка 35-40 %. Например, для двигателя НК-32, количество литых деталей составляет порядка 60 наименований.

Процент брака литых деталей по статистическим данным ряда профильных предприятий может достигать 40 %. Вот почему задача совершенствования технологий литейного производства в авиастроении является актуальной. Решение этой задачи позволит снизить процент брака при одновременном повышении качества литого металла, в том числе механических свойств. А это в свою очередь открывает возможность конструкторам и расчетчикам упрощения конструкции и уменьшения характерных размеров деталей, что позволит снизить их массу, и при этом обеспечить требуемую надежность, высокие эксплуатационные качества и ресурс изделия в целом.

На данный момент для усовершенствования существующих и создания новых технологий все больше востребованы системы автоматизированного проектирования, вследствие повышения требований к качеству изготавливаемой продукции, сокращению сроков подготовки производства, снижение себестоимости изделия. Литейное производство не является исключением. Отработка литейной технологии чуть ли не для каждой сложной отливки во многом основывается на металлоемком методе проб и ошибок, эмпирическом опыте работы технологов, которые должны держать в голове массу информации об удачных и неудачных попытках получения отливок и оперировать ею, зачастую опираясь на интуицию и лишь в редких случаях – на строгие алгоритмы.

Специфика литейного производства такова, что среди всего многообразия контролируемых факторов фигурируют состояние заливаемого металла, способ изготовления формы и ее предварительный прогрев, скорость подачи жидкого металла в форму, конфигурация самой отливаемой детали и литниково-питающей системы, скорость отвода тепла при затвердевании, и т.д. При этом необходимо отметить, что ещё в 60 – 70-е годы в нашей стране была достаточно подробно разработана видными учёными-литейщиками теория литейных процессов. Надежное решение тех или иных задач формирования отливки зачастую не может быть получено аналитическим путем, а лишь численно, с реализацией решения на компьютере. По этой причине практическое осуществление подобных расчетов было лишь вопросом времени, вопросом должного развития компьютерной техники.

1 ИНТЕРФЕЙС PROCAST

ProCAST содержит следующие модули.

- MeshCAST – модуль подготовки расчетной сетки. В MeshCAST создается как двухмерная, так и объемная (тетраэдральная) конечно-элементная расчетная сетка. Он позволяет осуществлять экспорт геометрии практически из любой CAD-системы в следующих форматах: IGES, STEP, Parasolid (x_t), STL и проверку импортированной геометрии, при необходимости, ее восстановление. В Meshcast также включен генератор оболочек, предназначенный для моделирования литья по выплавляемым моделям.

- PreCAST – модуль подготовки исходных данных для решения задачи. Этот модуль позволяет пользователю считывать конечно-элементную модель, назначать свойства материалов для различных компонентов модели, задавать контактные, граничные и начальные условия. Главной особенностью модуля PreCAST является наличие встроенного химического калькулятора, благодаря которому отпадает необходимость в поиске данных о сплавах на стороне. Можно просто занести химический состав сплава и получить все необходимые для расчета тепло-физические свойства материала.

- DataCAST – модуль для перевода всех введенных данных в необходимый для расчета вид. Действие выполняется автоматически.

- ProCAST solver – модуль решателей. В СКМ ЛП ProCAST имеется несколько различных решателей. В зависимости от той задачи, которую необходимо решить, система выбирает и задействует необходимые решатели (например: гидродинамика для заполнения формы или решатель напряжений для определения напряжений и трещин в отливке).

- VisualCAST – модуль для просмотра результатов моделирования (постпроцессор). Этот модуль позволяет визуализировать все рассчитанные параметры: распределение температур, напряжений, скоростей и т.д. Так же существует возможность создания графиков изменения той или иной характеристики, сохранения данных в виде графики и анимации и многое другое.

Все эти модули объединены в общем интерфейсе и запускаются из общего **ProCAST Manager** (рисунок 1).

Так же из **ProCAST Manager** можно открыть дополнительную вкладку **Status**, которая позволяет контролировать процесс расчета. При этом отображаются следующие параметры: степень заполнения и кристаллизации отливки, общий ход выполнения задачи, а так же затраты машинного времени на вычисления. Использование этой функции позволяет экономить ресурсы компьютера, т.к. отпадает необходимость запускать **VisualCAST** на этапе решения задачи.



Рисунок 1 – ProCAST Manager

1.1 Общие сведения и интерфейс модуля MeshCAST

MeshCAST генерирует трехмерную четырех узловую (из тетраэдров) сетку, используя метод конечных элементов. Разбиение поверхности на треугольники является обязательной предварительной процедурой для генерации объемной сетки. MeshCAST может генерировать поверхностную треугольную сетку по модели в формате IGES, PARASOLIDS, STEP или STL. Также MeshCAST может использовать поверхностную сетку, полученную в любом CAD или CAE пакете для построения объемной сетки.

MeshCAST является мощным конструкторским и аналитическим инструментом, существенно отличающим ProCAST от всех других СКМ ЛП. Он обладает следующими свойствами:

- гибкость;
 - быстрая генерация сетки;
 - надежные инструментальные средства восстановления и работы с сеткой;
 - разносторонний контроль качества модели;
 - способность обрабатывать и выдавать файлы широкого набора форматов;
- и возможностями:

- импорт данных непосредственно из CAD и CAE пакетов – MeshCAST обрабатывает геометрию, сохраненную в форматах IGES, PARASOLIDS, STEP или STL. Он может также читать поверхности и объемные сетки, созданные широким кругом пакетов других производителей программ;

- возможность построения сетки с изменяющейся плотностью – можно выбирать критические области модели и назначать более высокую плотность сетки в этих областях. Это позволяет совершенствовать модель для повышения достоверности и точности при одновременном сокращении времени счета;

- поддержка генерации несовпадающей сетки – плотности сетки формы и отливки, содержащиеся в одной модели, могут задаваться независимо. Это позволяет описать компоненты модели на столько подробно, на сколько это необходимо;

- быстрота – быстрый счет обусловлен использованием специальных архитектурных и математических методов. Быстрые результаты определяют способностями MeshCAST поддерживать изменения геометрии конструкции, дорабатывать модель, проводить анализ сетки и ее сглаживания. Это позволяет совершенствовать модель без применения CAD систем;

- контроль – можно проверять геометрию модели, поверхностную или объемную сетку. Генерация объемной сетки является наиболее длительной счетной задачей процесса проектирования. Поэтому возможность MeshCAST проверить корректность поверхностной до генерации объемной сетки позволяет значительно ускорить процесс проектирования;

- генерация сетки для литья по выплавляемым моделям – с помощью этой функции можно генерировать выплавляемую модель с различными уровнями оболочки в отливке;

- генерация пограничного слоя – эта функция позволяет создавать тонкий слой элементов внутри объема материала, для более точного моделирования поведения жидкости возле стенки формы.

Таким образом, для генерации объемной сетки в MeshCAST необходимо выполнить шесть основных шагов:

- Шаг 1: Открыть исходный файл.
- Шаг 2: Проверить геометрию модели и при необходимости устранить ее недостатки.
- Шаг 3: Сгенерировать поверхностную сетку.
- Шаг 4: При необходимости отредактировать поверхностную сетку.
- Шаг 5: Сгенерировать объемную тетраэдральную сетку.
- Шаг 6: Проверить качество полученной сетки.

При запуске MeshCAST открывается графический интерфейс, как показано на рисунке 2, с возможностями открыть или создать новый файл геометрии.

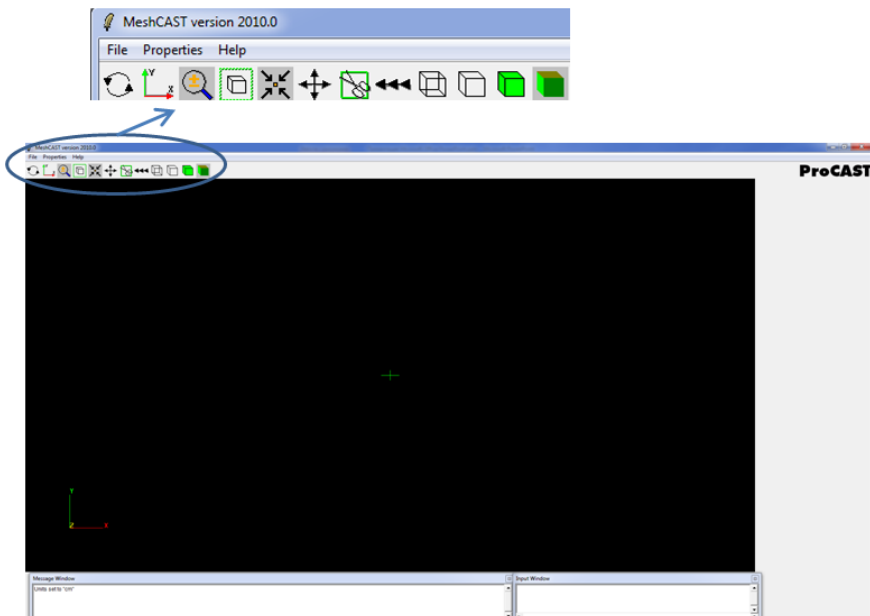


Рисунок 2 – Графический интерфейс модуля MeshCAST

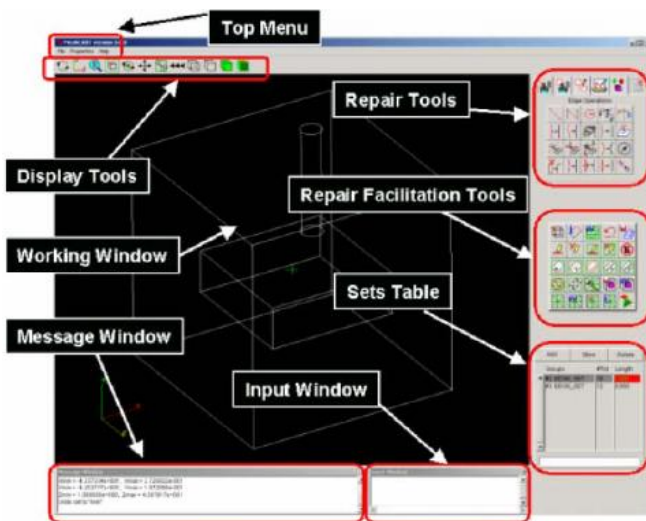


Рисунок 3 – Расширенный графический интерфейс модуля MeshCAST

После создания нового файла геометрии или открытия уже существующего графический интерфейс модуля MeshCAST выглядит, как показано на рисунке 3.

Расширенный графический интерфейс модуля MeshCAST состоит из различных областей, включая Top Menu (Главное меню), Repair Tools (Инструменты восстановления), Sets Table (Таблицу наборов), Repair Facilitation Tools (Инструментальные средства помощи восстановления), Display Tools (Средства отображения), Input Window (Окно ввода), Message Window (Окно сообщений) и Working Window (Рабочее окно).

1.1.1 Описание команд TOP MENU

FILE (ФАЙЛ) – подменю FILE позволяет выполнять различные действия с файлами. После нажатия на кнопку FILE появляется выпадающее меню (рисунок 4).

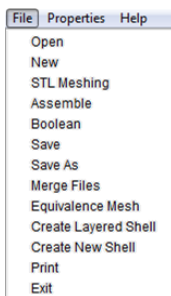


Рисунок 4 – Подменю FILE

Open (Открыть) – эта команда открывает файлы различных типов с геометрией, поверхностной или объемной сеткой. При нажатии на кнопку OPEN программное обеспечение открывает Окно Диспетчера файлов. Файл, который будет открыт, может быть выбран с помощью Диспетчера файлов. MeshCAST поддерживает типы файлов со следующими расширениями: gmrst, sm, mesh, iges, step, xmt_txt, stl, unv, patran.mesh и ideas.mesh.

New (Новый) – эта команда позволяет создать новый файл геометрии. При нажатии на кнопку NEW инициируется Окно Команды, которое позволяет определить имя нового файла.

Save (Сохранить) – эта команда сохраняет геометрию, поверхностную или объемную сетку в файл. При нажатии на кнопку SAVE файл немедленно сохраняется. Тип сохраненного файла будет зависеть от того файла, с которым ведется работа. Если это геометрия, тогда будет сохранен "file.gmrst", если это поверхностная сетка – тогда "file.sm", а если это объемная сетка – тогда "file.mesh". Другие типы файлов могут быть сохранены при использовании команды SAVE AS.

Save As (Сохранить как) – эта команда сохраняет новую геометрию, поверхностную или объемную сетку в файл. При нажатии на кнопку SAVE AS инициируется Окно Диспетчера файлов, которое позволяет определить имя нового файла, папки или тип файла. С помощью команды SAVE AS могут быть сохранены файлы следующих типов: gmrst (MeshCAST), sm (MeshCAST), out (Patran), unv (Ideas), stl (Stereolithography), mesh (MeshCAST), patran.mesh (Patran), ideas.mesh (Ideas), ansys.mesh (Ansys), nastran.mesh (Nastran) и .gif (image file).

Merge Files (Объединить файлы) – эта команда объединяет поверхностные и объемные сетки. При нажатии на кнопку MERGE FILES инициируется Окно Команды, позволяющее определить два входных файла (Входной файл 1, Входной файл 2), которые требуется объединить, а также новый объединенный файл (Выходной файл).

Equivalence Mesh (Совпадающая сетка) – эта команда удаляет общие совпадающие узлы между двумя сетками в местах контакта. При нажатии на кнопку EQUIVALENCE MESH инициируется Окно Команды, которое позволяет определить "Входной файл", "Выходной файл" и Эквивалент точности "Equiv. Toler".

Print (Печать) – эта команда создает файл печати (mesh.print).

Exit (Выход) – эта команда завершает работу MeshCAST.

PROPERTIES (СВОЙСТВА) – в этом меню находится подменю с командой UNITS для установки единиц измерения и командой ADVANCED для установки точности и геометрических параметров. Точность и параметры геометрии должны быть установлены перед открытием файла. При щелчке на кнопку PROPERTIES появляется выпадающее подменю (рисунок 5).

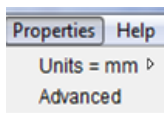


Рисунок 5 – Подменю PROPERTIES

Units (Единицы измерения) – после открытия файла и до начала любой работы с геометрией должны быть определены рабочие единицы измерения. При нажатии на кнопку UNITS появляется список допустимых единиц измерения (m, cm, mm, Feet, Inches). После выбора одного из значений все дальнейшие измерения будут делаться в этих единицах.

Advanced – эта кнопка позволяет определить различные установочные параметры перед операцией импорта геометрии. При нажатии на кнопку ADVANCED появляется меню, в котором можно отметить различные установочные параметры. При активизации флажка каждой функции в текстовом поле окна появляется ее описание. Список доступных флажков зависит от активной рабочей среды.

Функции флажков меню Advanced в положении «активно», перечислены ниже:

Tolerance: точность, которую необходимо применить перед считыванием геометрии;

NoBeep: подача звукового сигнала запрещена;

GifBgWhite: изменить фон на белый;

SurfaceOnly: удаляет поверхностную сетку в файле "gmrst" для уменьшения его размера;

ParNoSplit: используется для моделей в формате parasolid, для того чтобы во время импорта предотвратить отнимающее много времени разбиение периодических поверхностей;

ParSurfIncrDesc: используется для моделей в формате parasolid, для того чтобы увеличить качество описания поверхности через указанный коэффициент;

ParNoMultBody: используется для моделей в формате parasolid, для того чтобы предотвратить объединение общих границ между материалами;

ParMLE: используется для моделей в формате parasolid, для того чтобы объединить множественные ребра линии в единое длинное ребро;

NoWait: не будет ждать ответ пользователя в процессе разбиения поверхности на сетку;

NoDelPeriodic: предотвратит решение проблем, связанных с Periodic Surface Descriptions;

DelStfCorner: удаляет любой маленький прямоугольник/квадрат около границ решетки описания поверхности;

NoThinSurface: сохранит описание поверхности неповрежденным в течение генерации сетки для специальных поверхностей;

Maximum Nodes/Iteration: используется для управления числом внутренних узлов при генерации сетки в GENERATE TET MESH;


UnrecWriteddtdat: выдает объемную сетку, узлы и элементы которой отличаются от тех, что на входе. Полезно для отладки сетки с большим числом материалов.

HELP (ПОМОЩЬ) – нажатие на кнопку HELP активизирует справку по модулю MeshCAST и каждой его функции.

1.1.2 Описание команд DISPLAY TOOLS

Данные средства используются для изменения отображения модели, что позволяет облегчить выполнение операции разбиения геометрии на конечно-элементную сетку. Описание средств отображения модели приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Описание средств отображения модели.

Иконка	Название	Описание
	<i>Rotate</i>	Используется для поворота изображения путем задания угла поворота или использования некоторых стандартных положений.
	<i>Restore</i>	Восстанавливает геометрию к ее оригинальному виду в рабочем окне.
	<i>Zoom</i>	Позволяет увеличивать или уменьшать изображение геометрии в рабочем окне.
	<i>Zoom Out</i>	Автоматически подгоняет масштаб изображения геометрии в размер рабочего окна.
	<i>Center</i>	Позиционирует изображение относительно его центра, помещая этот цент изображения в указанную точку.
	<i>Drag</i>	Позволяет передвигать изображение в рабочем окне с помощью мышки.
	<i>Clip</i>	Позволяет выбрать интересующую часть геометрии.
	<i>Backtrack/All</i>	Позволяет вернуться к прежнему активному набору. MeshCAST предоставляет инструменты для выбранной части геометрии в виде активного набора. Активный набор может представлять собой временную подгруппу модели. Подгруппа позволяет работать с небольшой частью геометрии, это особенно полезно в случае большой и сложной конечно-элементной модели.
	<i>Wireframe</i>	Используется для отображения всех элементов геометрии или всех поверхностных сеток.
	<i>Hide</i>	Используется для отображения поверхностной сетки в режиме hidden-surface.
	<i>Solid</i>	Используется для отображения поверхностной сетки в режиме закраски. При активировании этой опции отображение конечно-элементной модели переходит в режим твердотельного. Различие между опциями HIDE и SOLID заключается в цвете покрашенной поверхности.
	<i>Shade</i>	Позволяет просматривать модели в твердотельном виде.

1.1.3 Описание REPAIR TOOLS

Команды меню REPAIR TOOLS (Инструменты восстановления) позволяют восстанавливать и изменять геометрию модели, для того чтобы получить поверхностную сетку высокого качества, которая будет использоваться при создании объемной сетки. Данные инструменты сгруппированы в различные подменю, которые появляются при нажатии на кнопку определенной папки. Все кнопки папок показаны на рисунке 6.



Рисунок 6 – Панель инструментов

1.1.3.1 Описание команд Edge Operations

Кнопки команд в папке EDGE OPERATIONS (*Работа с ребрами*) используются для исправления и изменения ребер геометрической модели. При нажатии на папку EDGE OPERATIONS появится группа команд работы с ребрами (рисунок 7).

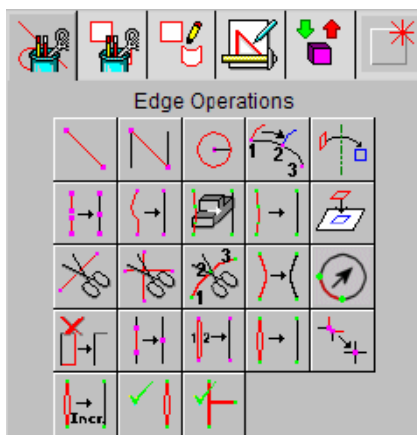


Рисунок 7 – Группа команд для работы с ребрами

В таблице 2 приведено описание команд работы с ребрами.

Таблица 2 – Описание команд работы с ребрами

Иконка	Название	Описание
	<i>Add Line Points</i>	Создает прямую линию между двумя точками с заданными координатами.
	<i>Add Line</i>	Создает прямую линию между конечными точками двух выбранных ребер (эти два ребра должны быть выбраны до выполнения этой команды).
	<i>Add Circle</i>	Создает окружность в заданной плоскости по координатам центра и радиусу.
	<i>Sweep Edges</i>	«Протягивает» набор выбранных ребер на заданный угол и вдоль заданной оси.
	<i>Sweep Curve</i>	Создает новое ребро, перемещая указанное уже существующее ребро.

Таблица 2 – Продолжение

	<i>Connect</i>	Присоединяет конечную точку выбранного ребра к самой близкой конечной точке другого ребра или позволяет выбрать нужную точку для присоединения ребра.
	<i>Straighten</i>	Соединяет конечные точки выбранного ребра прямой линией без изменения остальной части геометрии.
	<i>Make Long Edges</i>	Заменяет набор соединенных ребер, конечные точки которых совпадают, одним новым ребром.
	<i>Make One Edge</i>	Заменяет выбранный набор соединенных ребер одним длинным ребром, которое имеет ту же самую ассоциативность с поверхностями, что и замененный набор ребер.
	<i>Project Edge</i>	Проецирует ребро на выбранную поверхность.
	<i>Split Line</i>	Разбивает одно ребро на два.
	<i>Split Two</i>	Разбивает два пересекающихся ребра. Разбиение произойдет в ближайшей точке пересечения двух ребер.
	<i>Split Edge</i>	Разбивает выбранное ребро в указанной позиции.
	<i>Reverse Arc</i>	Полностью изменяет форму дугообразного ребра.
	<i>Complement Arc</i>	Продлевает дугу на противоположную сторону окружности.
	<i>Delete Edges</i>	Удаляет выбранное ребра из геометрии без изменения остальной ее части.
	<i>Del/Merge Edge</i>	Удаляет ребро, объединяя две конечных точки этого ребра в одну.
	<i>Merge Edges</i>	Объединяет два смежных ребра в одно.
	<i>Auto Merge</i>	Объединяет ребра, которые формируют зазоры между поверхностями, а также ребра, принадлежащие к прилегающим поверхностям.
	<i>Merge Points</i>	Объединяет самые близкие конечные точки двух выбранных ребер в одну точку.
	<i>Auto Incr Merge</i>	Автоматически объединяет разрывы в текущем активном наборе. Точность для объединение задается пользователем.
	<i>Identify Cracks</i>	Автоматически выбирает разрывы (то есть ребра, окрашенные в голубой цвет при выполнении команды проверки сетки "Check mesh"). Под "разрывом" понимается ребро, которое примыкает к од-

ной (или не примыкает ни к одной) поверхности.

Таблица 2 – Окончание

	<i>Identify Multiple Edges</i>	Автоматически выбирает множественные ребра (то есть ребра, окрашенные в желтый цвет при выполнении команды проверки сетки "Check mesh"). Множественное ребром – ребро, которое примыкает более чем к двум поверхностям.
--	--------------------------------	---

1.1.3.2 Описание команд Surface Operations

Кнопки команд в папке *Surface Operations (Операции с поверхностями)*



используются для восстановления и изменения геометрии поверхности (рисунок 8).

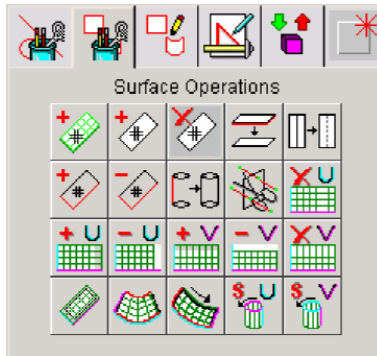


Рисунок 8 – Группа команд с поверхностями

В таблице 3 приведено описание команд работы с поверхностями.


Таблица 3 – Описание команд работы с поверхностями

Иконка	Название	Описание
	<i>Add Plane</i>	Создает новую плоскую поверхность для набора выбранных ребер. Номер созданной поверхности отображается в Информационном окне.
	<i>Add Surface</i>	Создает новую поверхность, номер которой отображается в Информационном окне.
	<i>Delete Surfaces</i>	Удаляет только выбранную поверхность из геометрии модели (без удаления ребер).
	<i>Rem Coin Faces</i>	Удаляет все двойные поверхности, построенные на тех же самых ребрах, которые могли быть созданы в результате операции «automerge».
	<i>Merge Surfaces</i>	Объединяет меньшую поверхность с большей смежной поверхностью.


--	--	--

Таблица 3 – Окончание

	<i>Add Edge(s)</i>	Добавляет выбранные ребра к указанной поверхности.
	<i>Remove Edge(s)</i>	Удаляет выбранные ребра из указанной поверхности.
	<i>Split Cylinder</i>	Разбивает все цилиндроподобные периодические поверхности на две поверхности, пригодные для построения сетки в MeshCAST.
	<i>Plane Split</i>	Разбивает геометрию в текущем активном наборе плоскостью, определенной тремя координатами.
	<i>Deldescu</i>	Удаляет элемент в описании указанной поверхности.
	<i>Incrdescu</i> (Добавить к поверхности по вертикали)	Расширяет существующее описание поверхности для включения любой неохваченной области поверхности, сформированной в результате выполнения некоторой операции MERGE.
	– <i>Incrdescu</i> (Добавить к поверхности по вертикали в начало)	
	<i>Incrdescv</i> (Добавить к поверхности по горизонтали)	
	– <i>Incrdescv</i> (Добавить к поверхности по горизонтали в начало)	
	<i>Deldescv</i>	
	<i>Plane Description</i>	Создает описание плоской поверхности для уже существующей поверхности, содержащей, по крайней мере, два ребра.
	<i>Construct Surface</i>	Создает описание поверхности по набору выбранных ребер, присутствующих в указанной поверхности.
	<i>Construct Sweep Descr</i>	Создает описание поверхности для указанного номера поверхности перемещением одного ребра вдоль остальных выбранных ребер.
	<i>Shift -U</i>	Изменяет существующее описание поверхности с целью включения в него любой раскрытой области указанной

	<i>Shift -V</i>	поверхности.
--	-----------------	--------------

1.1.3.3 Описание команд Build Operations

Кнопки команд в папке *Build Operations (Операции построения)*  используются для создания и изменения элементов геометрии (рисунок 9). В таблице 6 приведено описание команд работы с поверхностями.

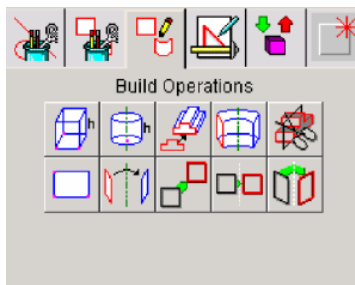













Рисунок 9 – Группа команд для построения геометрии

Таблица 4 – Описание команд работы с поверхностями

Иконка	Название	Описание
	<i>Box</i>	Создает параллелепипед, построенный на указанных координатных точках и высоте.
	<i>Cylinder</i>	Создает цилиндр по заданным оси, точке начала координат, радиусу и высоте.
	<i>Extrude</i>	Выдавливает набор предварительно выбранных ребер вдоль указанного вектора, создавая новую поверхность для каждого из выбранных ребер.
	<i>Sweep</i>	Выдавливает набор предварительно выбранных ребер, создавая новую поверхность для каждого из выбранных ребер, путем вращения их вокруг указанной оси на заданный угол поворота.
	<i>Split Geom</i>	Разбивает геометрию на две части, используя плоскость, построенную по трем координатам.
	<i>Add Rectangle</i>	Создает новую поверхность с 4 новыми ребрами, формирующими прямоугольник, по трем заданным точкам. Эти 3 точки могут быть определены в любом порядке.
	<i>Construct Periodic Surfaces</i>	Перемещает выбранные поверхности вокруг указанной оси на угол поворота.
	<i>Translate</i>	Создает набор новых ребер и поверхностей, путем перемещения набора ребер на указанное расстояние.
	<i>Mirror Symmetry</i>	Создает новый набор ребер и поверхностей, зеркально расположенных относительно заданных.

	<i>Rotational Symmetry</i>	Создает новый набор ребер путем вращения выбранного набора ребер вокруг указанной оси на заданный угол.
---	----------------------------	---

1.1.3.4 Описание команд Tools

Кнопки в папке *Tools (Инструменты)*  используются для выполнения различных операций, которые используются при исправлении геометрии (рисунок 10).

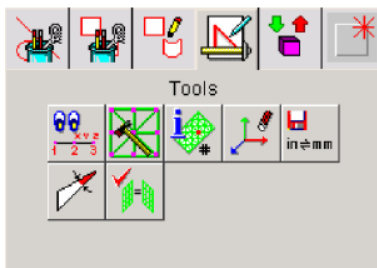









Рисунок 10 – Группа команд с исправлением геометрии

В таблице 5 приведено описание команд исправления геометрии.

Таблица 5 – Описание команд исправления геометрии

Иконка	Название	Описание
	<i>Print Co-ords</i>	Показывает координаты положения группы точек, указанных на выбранном ребре.
	<i>Auto Fix: Unmeshed Surfaces</i>	Генерирует поверхностную сетку на тех поверхностях, на которых это невозможно было сделать обычным путем.
	<i>ISN (Identify Surface Nodes) command</i>	Показывает положение выбранных узлов поверхностной сетки и указывает номера поверхностей, связанных с этими узлами.
	<i>Change View</i>	Изменяет первоначальное представление модели на текущее, которое отображено на экране.
	<i>Change Units</i>	Изменяет единицы измерения путем их преобразования.
	<i>Bad Angle Criteria</i>	Заменяет существующее значение параметра "плохого" угла на угол, который определен для этой команды.
	<i>Check Periodicity</i>	Контролирует хорошо ли выровнена поверхностная сетка, принадлежащая указанной поверхности, с сеткой второй указанной поверхности, когда первая поверхность вращается на указанный угол.

1.1.3.5 Описание команд Import/Export



Кнопки в папке *Import/Export (Импорт/Экспорт)* используются для выполнения команд импорта и экспорта (рисунок 11).




Рисунок 11 – Группа команд импорта и экспорта

В таблице 6 приведено описание команд импорта и экспорта.

Таблица 6 – Описание команд импорта и экспорта

Иконка	Название	Описание
	<i>Export Geom</i>	Сохраняет файл рестарта <i>prefix.gmrst</i> для части геометрии в текущем АКТИВНОМ наборе.
	<i>Import Geom</i>	Импортирует файл <i>prefix.gmrst</i> и присоединяет его геометрию к существующей геометрии.
	<i>Write Surface</i>	Добавляет в конец файла ' <i>meshcast_tmp</i> ' в текущем рабочем каталоге все параметры поверхности с указанным номером.
	<i>Read Surface</i>	Создает новую поверхность, все параметры которой прочитаны из файла ' <i>meshcast_tmp</i> ' в текущем рабочем каталоге. Этот файл должен быть предварительно создан командой WRITE SURFACE.
	<i>Read Surf Mesh</i>	Читает поверхностную сетку из файла <i>meshcast.tmp</i> .
	<i>Write Surface Desc</i>	Записывает описание указанной поверхности в файл ' <i>meshcast tmp</i> ' в текущем рабочем каталоге.
	<i>Read Surface Desc</i>	Читает описание поверхности, присутствующее в файле ' <i>meshcast tmp</i> ', в поверхность с указанным номером, заменяя ранее существующее описание поверхности.

1.1.3.6 Описание User Defined

Папка команд определяемых пользователем *User Defined (Пользовательские команды)*  первоначально пуста, но пользователь может добавлять часто используемые кнопки в эту папку.

1.1.4 Описание команд REPAIR FACILITATION TOOLS




Команды меню REPAIR FACILITATION TOOLS позволяют оценивать геометрию, выполнять операции выбора, активизировать подгруппы геометрии и завершить построение поверхностной сетки (рисунок 12).



Рисунок 12 – Группа команд помощи восстановления

В таблице 7 приведено описание команд помощи восстановления.

Таблица 7 – Описание команд помощи восстановления

Иконка	Название	Описание
	<i>Check Geometry</i>	Идентифицирует поверхности и ребра в геометрии, соответствующие выбранным критериям. Команда IDENTIFY отображает номера поверхностей и ребер, индексы, длины ребер и комбинации этих методов, как результат выполнения требуемой идентификации.
	<i>Display</i>	Показывает указанные поверхность(и) геометрии в рабочем окне.
	<i>Undo</i>	Отменяет операций изменения геометрии или создания поверхностной сетки (показывает название последней операции, которая будет отменена при нажатии на эту кнопку).







	<i>Store Geom</i>	Сохраняет файл рестарта с текущей геометрией.
	<i>Select</i>	Позволяет выбрать ребра в геометрии, отображенной в Рабочем Окне.
	<i>Deselect</i>	Отменяет выбор ребер в геометрии, отображенной в Рабочем Окне.
	<i>Select All</i>	Выбирает все ребра, видимые в Рабочем Окне.
	<i>Deselect All</i>	Снимает выделение всех выбранных ребер, видимых в Рабочем Окне.

Таблица 7 – Окончание

	<i>Select Remaining</i>	Выделяет все ребра, которым не были назначены какие-либо значения длины при разбиении на конечно-элементную сетку.
	<i>Active</i>	Создает активный набор поверхностей / ребер, выбранных в геометрии отображенной в Рабочем Окне.
	<i>Append Adjacent</i>	Создает новый активный набор, который будет включать все поверхности, связанные с каждым выбранным ребром в текущем активном наборе.
	<i>Active Highlight</i>	Создает новый активный набор, который будет состоять только из ребер, которые были высвечены или выбраны в текущем активном наборе.
	<i>Append</i>	Создает новый активный набор, добавляя поверхности к текущему активному набору.
	<i>De-Active</i>	Создает новый активный набор, удаляя поверхности из текущего активного набора.
	<i>Active Unmeshed</i>	Создает активный набор из всех поверхностей / ребер неразбитых на конечные элементы.
	<i>Active Bad Mesh</i>	Создает активный набор поверхностей / ребер, которые содержат "плохие" элементы.
	<i>Store Enclosure</i>	Сохраняет все поверхности, которые формируют окружение.
	<i>Show Enclosure</i>	Показывает все поверхности окружения.
	<i>Generate Surface Mesh</i>	Генерирует поверхностную конечно-элементную сетку.
	<i>Show Mesh</i>	Показывает поверхностную конечно-элементную сетку модели.
	<i>Check Mesh</i>	Проверяет качество сгенерированной поверхностной конечно-элементной сетки.
	<i>Mesh Properties</i>	Показывает общее количество ребер, поверхностей, узлов и элементов, присутствующих в настоящее время в поверхностной конечно-элементной сетке.

	<i>Go: Volume Meshing</i>	После завершения корректировки геометрии и генерации поверхностной сетки эта команда сохраняет геометрию и поверхностную сетку, а затем генерирует объемной конечно-элементную сетку.
---	---------------------------	---

1.1.5 Описание команд SETS TABLE




Меню SETS TABLE (Таблица наборов) (рисунок 15) позволяет определять наборы ребер и поверхностей, которые могут быть использованы при корректировке геометрии для изоляции ее части или для назначения величины поверхностных элементов (в разных наборах эти значения могут отличаться), которые необходимо применить к ребрам и поверхностям при построении конечно-элементной сетки.



Рисунок 15 – Таблица наборов

В таблице 8 приведено описание команд таблица наборов.

Таблица 8 – Описание команд таблица наборов

Иконка	Название	Описание
	<i>Add</i>	Позволяет добавлять наборы ребер и поверхностей
	<i>Store</i>	Назначает выбранные ребра или поверхности наборам ребер (EDGE_SET) или наборам поверхностей (SURFACE_SET).
	<i>Delete</i>	Удаляет наборы ребер или поверхностей из таблицы.

1.1.6 Описание команд MESHING ENVIRONMENT

Когда вся геометрия построена, исправлена и разбита на поверхностную конечно-элементную сетку или открыт внешний файл с поверхностной сет-

кой, инициируется среда построения объемной сетки (MESHING ENVIRONMENT) (рисунок 14), в которой может быть отредактирована поверхностная сетка и сгенерирована объемная твердотельная сетка.

1.1.6.1 Описание команд Mesh Editing Tools

Раздел редактора сетки (Mesh Editing Tools) содержит команды, которые позволяют пользователю работать с поверхностной сеткой.

EDIT MESH – Меню функций редактирования конечно-элементной сетки (рисунок 15).

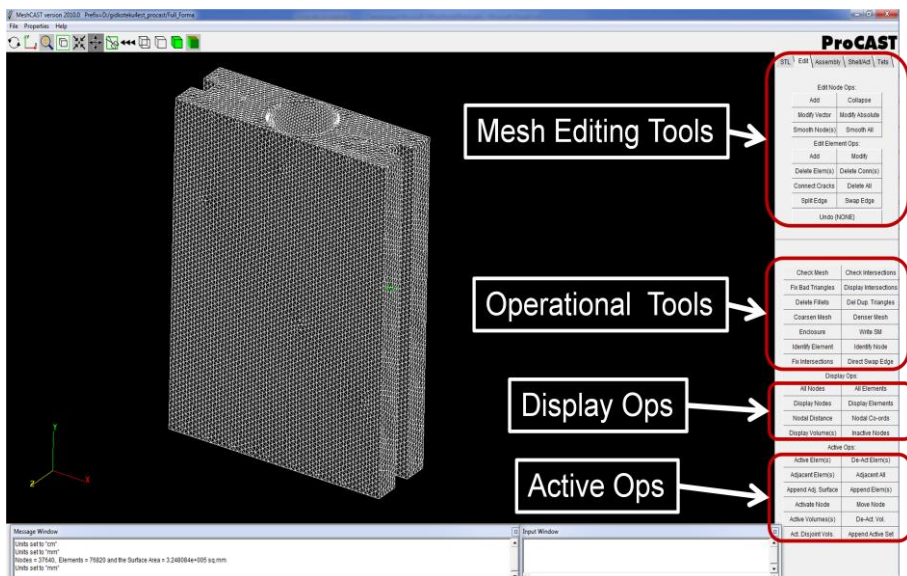


Рисунок 14 – Среда построения объемной сетки

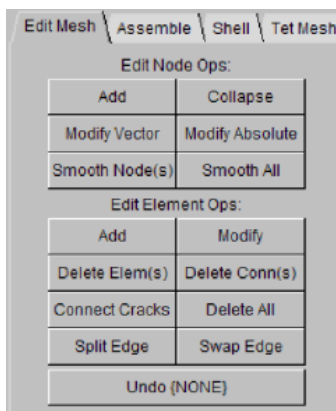


Рисунок 15 – Меню функций редактирования конечно-элементной сетки

Эти функции позволяют: перемещать узлы сетки, добавлять, удалять и изменять узлы и элементы.

Раздел *Edit Nodes Ops* позволяет выполнять различные редактирующие функции над узлами конечно-элементной сетки.

В таблице 9 приведено описание команд раздела *Edit Nodes Ops*.

Таблица 9 – Описание команд раздела *Edit Nodes Ops*

Иконка	Название	Описание
Add	<i>Add Node</i>	Добавляет узлы при помощи задания их координат.
Modify Vector	<i>Modify Vector</i>	Передвигает узлы в определенном направлении (вдоль вектора).
Smooth Node(s)	<i>Smooth Node(s)</i>	Выравнивает (сглаживает) заданные узлы для того, чтобы повысить их качество.
Smooth All	<i>Smooth All</i>	Сглаживает все узлы, отображаемые в текущем активном наборе, для повышения их качества.

Раздел *Edit Element Ops* позволяет выполнять различные функции по редактированию элементов.

В таблице 10 приведено описание команд раздела *Edit Element Ops*.

Таблица 10 – Описание команд раздела *Edit Element Ops*

Иконка	Название	Описание
Add	<i>Add Element</i>	Добавляет элементы при помощи задания 3-х узлов.
Modify	<i>Modify</i>	Редактирует элементы путем выбора номера элемента и 3-х новых номеров узлов.
Delete Elem(s)	<i>Delete Elem(s)</i>	Удаляет заданные элементы.

Delete Conn(s)	Delete Conn(s)	Удаляет все элементы, смежные с заданным узлом.
Connect Cracks	Connect Cracks	Соединяет разрывы в поверхностной сетке.
Delete All	Delete All	Удаляет все элементы, которые в настоящее время активны в рабочем окне.
Undo (DELETE ALL)	Undo	Отменяет выполнение последней операции во время редактирования сетки.

ASSEMBLE/Mesh Assembly (*Сборка конечно-элементных сеток*) – Меню команд, которые позволяют задавать и генерировать оболочковую сетку. В модуле MeshCAST возможны два варианта:

1. "Surface Mesh Assembly" (сборка поверхностных сеток) позволяет собрать автоматически или полуавтоматически две поверхностные конечно-элементные сетки, которые имеют общие поверхности. Это означает, что такие сетки соприкасаются некоторыми поверхностями и алгоритм сборки настроен на поиск и объединение этих общих поверхностей. Этот алгоритм не допускает наличия больших разрывов или наложения поверхностных сеток.

В зависимости от качества обеих поверхностных сеток и их близости алгоритм сборки может быть либо полностью автоматическим, либо требовать ручной работы. Поэтому этот вариант может использоваться только для простых сборок.

2. "Boolean Assembly" (сборка булевыми операциями) позволяет собрать две взаимно пересекающиеся поверхностные сетки. Алгоритм автоматически распознает пересечения и переразбивает локальную зону на сетку для создания единой общей поверхностной сетки. Этот алгоритм полностью автоматический. Результирующая сетка может в ряде случаев иметь мелкие дефекты, которые потребуют дальнейшего небольшого редактирования полученной сетки. В отличие от первого варианта "Boolean Assembly" позволяет осуществлять сборку не прилегающих плотно сеток.

SHELL (*Оболочка*) – Меню команд, которые позволяют задавать и генерировать оболочковую сетку (рисунок 16).



Рисунок 16 – Меню команд для задания и генерирования оболочковой сетки

Раздел *No Shell Faces (Нет оболочки)* – Задаёт регионы, где оболочковая сетка генерироваться не будет.

Раздел *Symmetry Faces (Симметричные поверхности)* – Задаёт регионы, в которых сетка генерироваться не будет.

Раздел *Element Selection (Выбор элементов)* – Задают поверхности, которые будут исключены из процесса генерации сетки (рисунок 17).

В таблице 11 приведено описание команд раздела выбора элементов.

Переключатель *Holes/Gaps (Отверстия и карманы)* – Определяет, будут ли исключены отверстия и карманы при генерации оболочковой сетки.

Команда *Apply (Применить)* – Выполняет процесс генерации оболочковой сетки с помощью использования информации, заданной в папке SHELL.

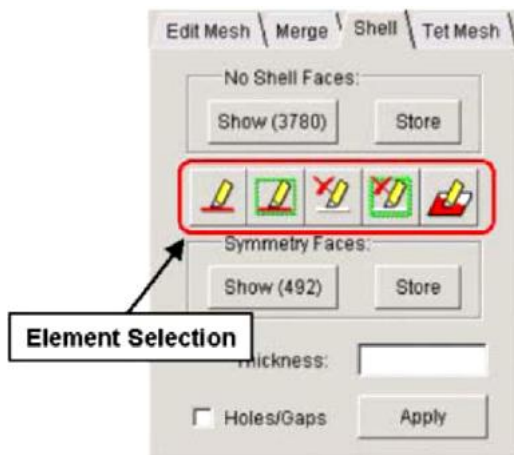


Рисунок 17 – Раздел команд для выбора элементов

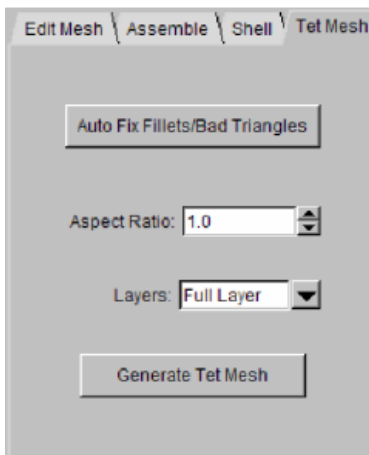


Рисунок 18 – Меню команд для генерации объемной конечно-элементной сетки

Таблица 11 – Описание команд раздела выбора элементов

Иконка	Название	Описание
	<i>Select</i>	Выбор элементов поверхности, которые используются для оболочковой сетки.
	<i>Select All</i>	Выбор всех элементов поверхности в рабочем окне, которые используются для генерации оболочковой сетки.
	<i>Deselect</i>	Отменяет выбор поверхностных элементов, которые используются для генерации оболочковой сетки.
	<i>Deselect All</i>	Отменяет выбор всех поверхностных элементов в рабочем окне, которые используются для генерации оболочковой сетки.
	<i>Select Surface</i>	Выбор всех элементов на поверхности путем задания определенного угла отклонения.

TET MESH (*Объемная сетка*) – Меню команд для генерации объемной конечно-элементной сетки (рисунок 18).

- *Auto Fix Bad Triangles* (*Устранение плохих треугольников*) – Устраняет все "плохие" треугольники в поверхностной сетке. Эта операция выполняется полностью в автоматическом режиме и не требует ввода никакой дополнительной информации. В процессе будут выполнены следующие операции над сеткой:

- ✓ удаление дублированных треугольных элементов;
- ✓ удаление треугольных элементов с углом более 165° или менее 6°;

✓ удаление скруглений с большим отношением сторон и "плохими" треугольными элементами.

- *Aspect Ratio (Отношение сторон)* – Позволяет изменять длину ребра тетраэдрального элемента.

- *Layers (Слои)* – Настройки этой команды контролируют добавление внутренних узлов во время генерации конечно-элементной сетки.

- *Generate Tet Mesh (Создать объемную сетку)* – Генерирует 3-х мерную сетку при помощи поверхностной сетки и на основе опций, заданных в папке TET MESH.

1.1.6.2 Описание команд OPERATIONAL TOOLS

Меню *OPERATIONAL TOOLS* – Содержит команды, которые используются для проверки и выполнения различных операций (рисунок 19). Описание основных команд представлено в таблице 12.

Пример выполнения команды *Delete Fillets* приведен на рисунке 20.

Check Mesh	Check Intersections
Fix Bad Triangles	Display Intersections
Delete Fillets	Del Dup. Triangles
Coarsen Mesh	Denser Mesh
Enclosure	Write SM
Identify Element	Identify Node
Fix Intersections	Direct Swap Edge

Рисунок 19 – Меню оперативных инструментов

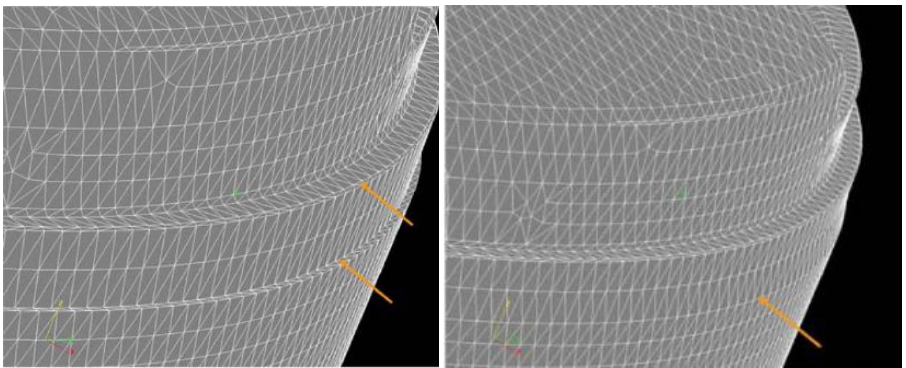


Рисунок 20 – Удаление скруглений с помощью команды *Delete Fillets*

Таблица 12 – Описание основных команд меню оперативных инструментов

Иконка	Название	Описание
Check Mesh	<i>Check Mesh</i>	Проверка качества поверхностной сетки.
Check Intersections	<i>Check Intersections</i>	Проверка пересечений в поверхностной сетке.
Delete Fillets	<i>Delete Fillets</i>	Удаляет скругления (или часть скруглений).
Del Dup. Triangles	<i>Del Dup. Triangles</i>	Удаляет все дублирующие элементы в поверхностной сетке.
Denser Mesh	<i>Denser Mesh</i>	Повышает плотность поверхностной сетки за счет увеличения количества элементов.
Coarsen Mesh	<i>Coarsen Mesh</i>	Позволяет сделать поверхностную сетку более грубой путем снижения плотности элементов.
Enclosure	<i>Enclosure</i>	Отображает ограждающую сетку (enclosure mesh).
Write SM	<i>Write SM</i>	Переписывает поверхностную сетку из текущей активной сетки.
Identify Element	<i>Identify Element</i>	Определяет номера выбранных элементов.
Identify Node	<i>Identify Node</i>	Определяет номера выбранных узлов.

Меню *DISPLAY OPS (МЕНЮ ОТОБРАЖЕНИЯ)* – Содержит различные команды, которые используются для отображения узлов и элементов (рисунок 21). Описание основных команд представлено в таблице 13.

Display Ops:	
All Nodes	All Elements
Display Nodes	Display Elements
Nodal Distance	Nodal Co-ords
Display Volume(s)	Inactive Nodes

Рисунок 21 – Меню команд отображения узлов и элементов

Таблица 13 – Описание основных команд меню отображения узлов и элементов

Иконка	Название	Описание
All Nodes	<i>All Nodes</i>	Отображает все узлы поверхностной сетки, которые находятся в текущем активном наборе.
All Elements	<i>All Elements</i>	Отображает все элементы поверхностной сетки, которые находятся в текущем активном наборе.
Display Nodes	<i>Display Nodes</i>	Показывает положение заданных узлов.

Таблица 13 – Окончание

Display Elements	<i>Display Elements</i>	Показывает положение заданных элементов.
Nodal Distance	<i>Nodal Distance</i>	Отображает расстояние между двумя заданными узлами.
Nodal Co-ords	<i>Nodal Co-ords</i>	Показывает узловые координаты всех заданных узлов.

Меню *ACTIVE OPS (МЕНЮ АКТИВИЗАЦИИ)* – Содержит командные кнопки, которые используются для активизации узлов и элементов (рисунок 22). Описание основных команд представлено в таблице 14.

Active Ops:	
Active Elem(s)	De-Act Elem(s)
Adjacent Elem(s)	Adjacent All
Append Adj. Surface	Append Elem(s)
Activate Node	Move Node
Active Volumes(s)	De-Act. Vol.
Act. Disjoint Vols.	Append Active Set

Рисунок 22 – Меню активации узлов и элементов

Таблица 14 – Описание основных команд меню активации узлов и элементов

Иконка	Название	Описание
Active Elem(s)	<i>Active Elem(s)</i>	Создает активный набор элементов из поверхностной сетки.
De-Act Elem(s)	<i>De-Act Elem(s)</i>	Делает неактивными выбранные элементы в текущем окне.
Adjacent Elem(s)	<i>Adjacent Elem(s)</i>	Добавляет все элементы, которые соединяются с заданным элементом в активном наборе.
Adjacent All	<i>Adjacent All</i>	Добавляет все элементы, которые соединяются с элементами, находящимися в текущем наборе.
Append Elem(s)	<i>Append Elem(s)</i>	Добавляет все заданные элементы в активный набор.
Append Adj. Surface	<i>Append Adj. Surface</i>	Добавляет целую поверхностную сетку, соединенную с заданным элементом.
Activate Node	<i>Activate Node</i>	Эта функция активизирует все элементы, соединенные с заданным узлом.
Move Node	<i>Move Node</i>	Для перемещения выбранного узла в направлениях X, Y и Z необходимо использовать три кнопки мыши: левую, среднюю и правую, соответственно.

После разбиения модели на трехмерную конечно-элементную сетку программа автоматически запускает *Quality Checking Environment (Инструменты проверки сетки)* для анализа полученной объемной сетки и ее редактирования. Эта опция проверяет, сглаживает и оптимизирует ее.

1.2 Общие сведения и интерфейс модуля PreCAST

Препроцессор запускается при помощи кнопки "PreCAST" (рисунок 23).

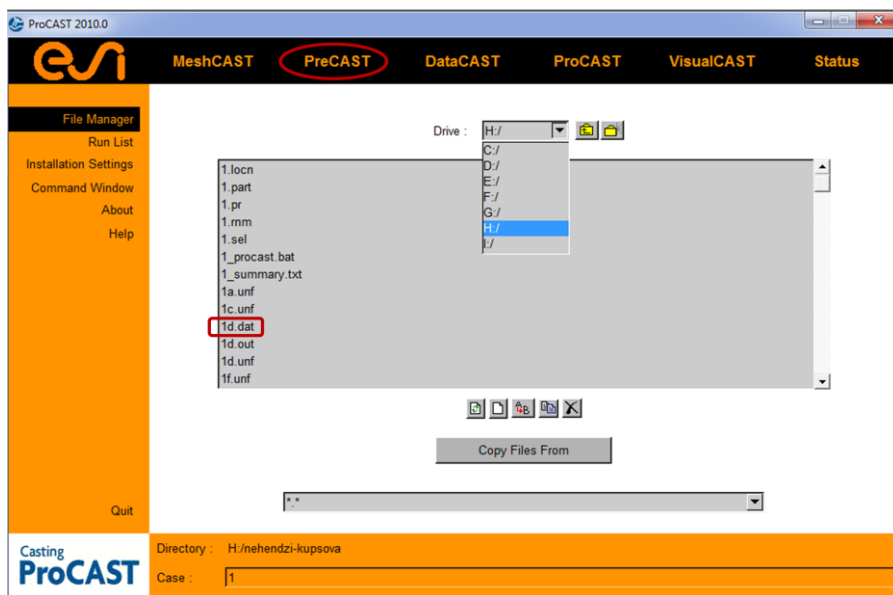


Рисунок 23 – Запуск модуля PreCAST из менеджера ProCAST

Во вкладке Drive необходимо указать путь к рабочей директории. Если уже существует файл объемной сетки case.mesh или файл исходных данных типа d.dat (cased.dat), при запуске препроцессора будут автоматически загружены данные, касающиеся задачи с именем Case. В данном случае имя расчетного файла "1".

После загрузки задачи появляется окно с информацией о геометрической модели: число материалов, количество узлов и элементов сетки, а также габаритные размеры модели (рисунок 24). С этого момента препроцессор готов к вводу данных.

Меню, расположенное в верхней части окна, содержит 9 разделов (рисунок 25), позволяющих выполнить все операции по формулировке задачи: File (Файл), Geometry (Геометрия), Materials (Материалы), Interface (Границы между телами), Boundary Conditions (Граничные условия), Process (Процесс),

Initial Conditions (Начальные условия), Run Parameters (Параметры вычислений), Inverse (Обратная задача), Help (Помощь).

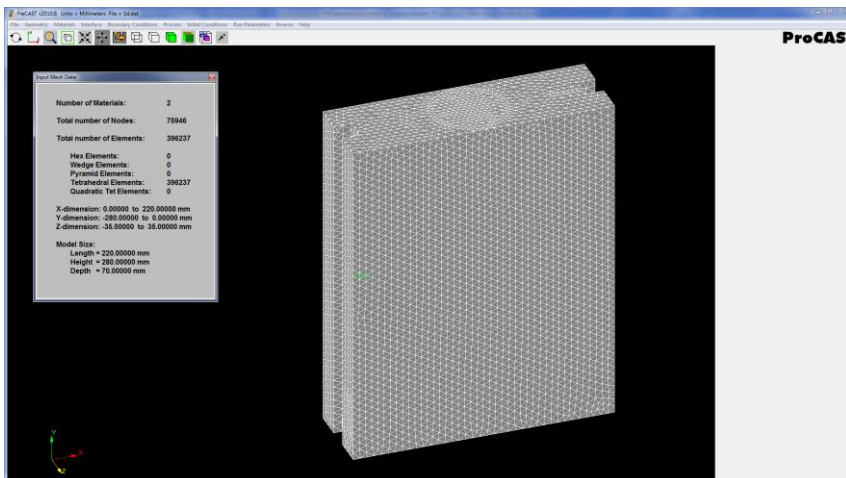


Рисунок 24 – Окно PreCAST с загруженной моделью и информацией о ней

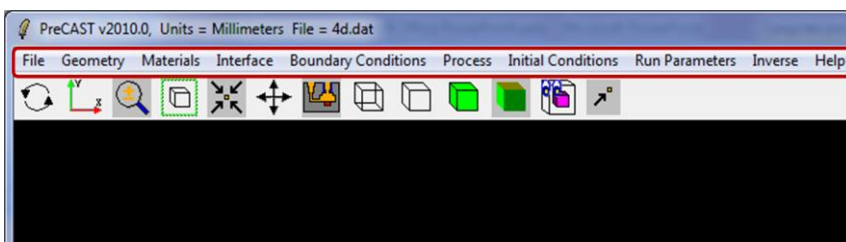


Рисунок 25 – Меню модуля PreCAST

Меню **File** (рисунок 26) позволяет открыть, экспортировать, сохранить, оптимизировать (для увеличения скорости счета) модель. С помощью этого меню можно также выйти из препроцессора.

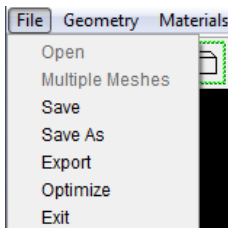


Рисунок 26 – Меню File

В меню **Geometry** (рисунок 29) могут быть определены плоскости симметрии модели и характеристики виртуальной формы. Кроме того, может быть проведена проверка МКЭ сетки и определены объемы всех областей модели.

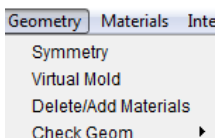


Рисунок 29 – Меню Geometry

В меню **Materials** (рисунок 28) могут быть определены характеристики каждой области (каждого материала). Кроме свойств материала здесь устанавливается тип области (отливка, форма, фильтр и др.), а также устанавливается флаг, определяющий, заполнена эта область данным материалом или нет к моменту начала вычислений (это необходимо для моделирования процесса заполнения формы).

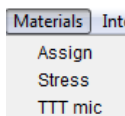


Рисунок 28 – Меню Material

Меню **Interface** не имеет подразделов. Оно открывает окно, которое позволяет определить условия взаимодействия различных материалов, например, коэффициент теплопередачи.

Меню **Boundary conditions** (рисунок 29) позволяет определить все условия взаимодействия материалов с окружающим миром (т.е условия на внешних поверхностях материалов), такие как внешнее охлаждение, скорости на поверхностях модели, необходимые для моделирования течения металла, перемещения или их отсутствие при моделировании напряженного состояния, т.д.

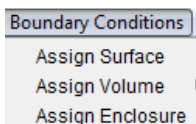


Рисунок 29 – Меню Boundary conditions

Меню **Process** (рисунок 30) позволяет определить вектор силы тяжести, назначить режимы перемещения различным областям модели или окружающим телам.

Начальные температуры для всех материалов определяются в меню **Initial conditions** (рисунок 31).

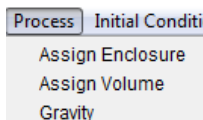


Рисунок 30 – Меню Process

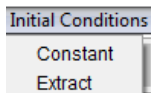





Рисунок 31 – Меню Initial conditions

Меню Run Parameters, как и меню Help, не имеет подменю. Все параметры вычислительного процесса определяются в окне, которое появляется при нажатии кнопки Run Parameters.

С помощью меню Help осуществляется оперативный доступ к описанию программы и руководству пользователя.

Ниже меню расположены иконки команд, позволяющие осуществлять ряд действий, необходимых для представления модели на экране монитора. Основные функции этих команды совпадают с командами модуля MeshCAST, описание которых приводится в разделе 2.1.2. Описание же несовпадающих команд приведено в таблице 15.

Таблица 15 – Описание команд средств отображения модели в модуле PreCAST

Иконка	Название	Описание
	<i>Active Materials</i>	Выбор материала (или области)
	<i>Display Enclosure/Casting</i>	Отображение границ формы (для радиационной модели)
	<i>Pick Node</i>	Показывает номер и положение выбранного узла конечно-элементной сетки.

1.3 Сведения о запуске задачи на счет

Как только завершена подготовка в PreCAST, необходимо выполнить две операции для выполнения расчета:

1. Запустить компилятор DataCAST.

DataCAST вызывается кнопкой «DataCAST» Программного менеджера ProCAST (рисунок 32). DataCAST конвертирует входные данные, сохраненные в коде ASCII, в файл prefixd.dat в двоичном коде, готовом для расчета. DataCAST также стирает любые ранее существовавшие файлы результата (если стоит галочка напротив Update option (-u)) и готовит новый файл. Это значит, что после выполнения DataCAST, все предыдущие результаты будут стерты. Также в DataCAST выполняется проверка ошибок.

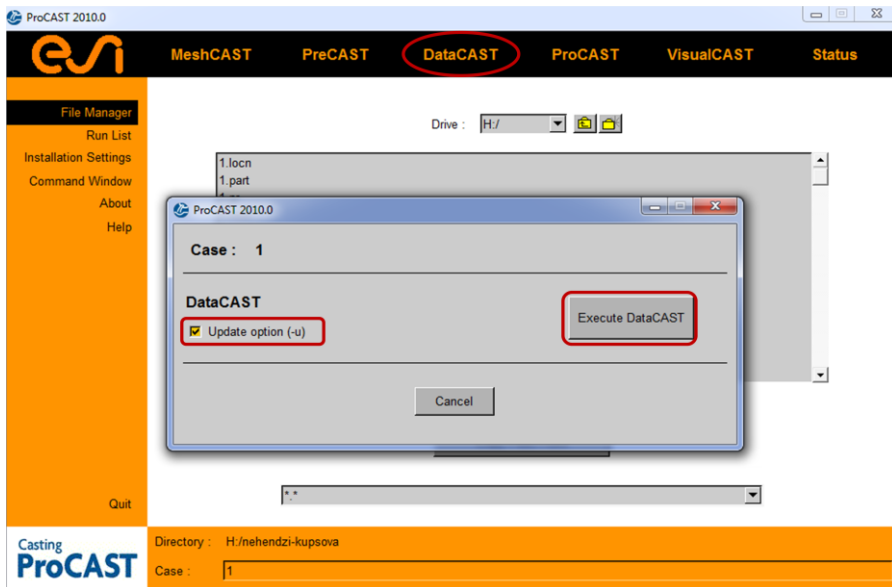


Рисунок 32 – Запуск задачи на счет в модуле DataCAST

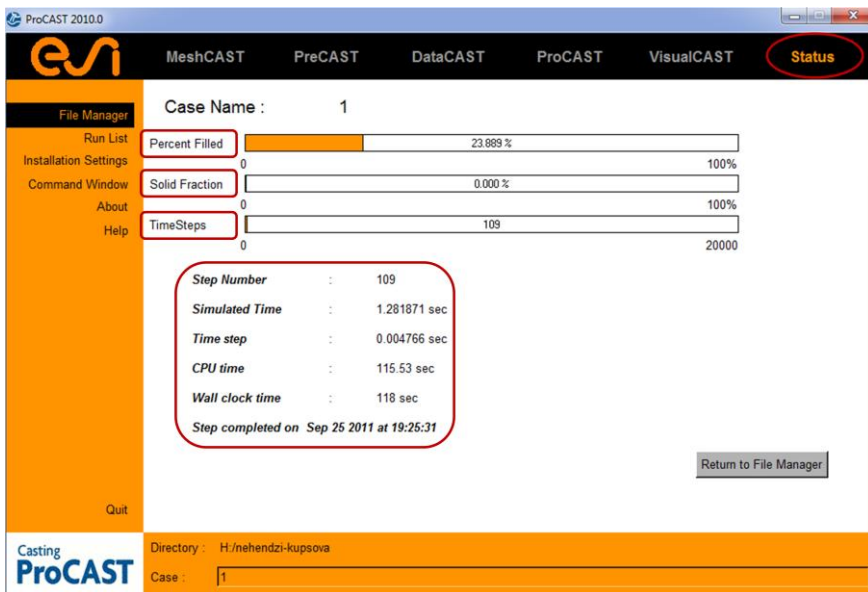


Рисунок 33 – Статус выполняемого расчета

2. Запустить решатель ProCAST.

ProCAST запускает решатель. Он не отображает никаких сообщений, кроме ситуации, когда решатель останавливается по неожиданной причине. ProCAST вызывается кнопкой «ProCAST» Программного менеджера. Во время расчета можно контролировать такие важные параметры как: процент заполнения формы (Percent Filled), процент твердой фазы (Solid Fraction) и количество шагов по времени. Для этого необходимо использовать кнопку "Status" Менеджера ProCAST (рисунок 33). Здесь же представлен целый блок не менее полезной информации, например, номер выполненного шага расчета, время выполнения расчета и др.

Кроме того, в процессе расчета можно просматривать уже полученные результаты моделирования запустив постпроцессор VisualCAST (рисунок 34).

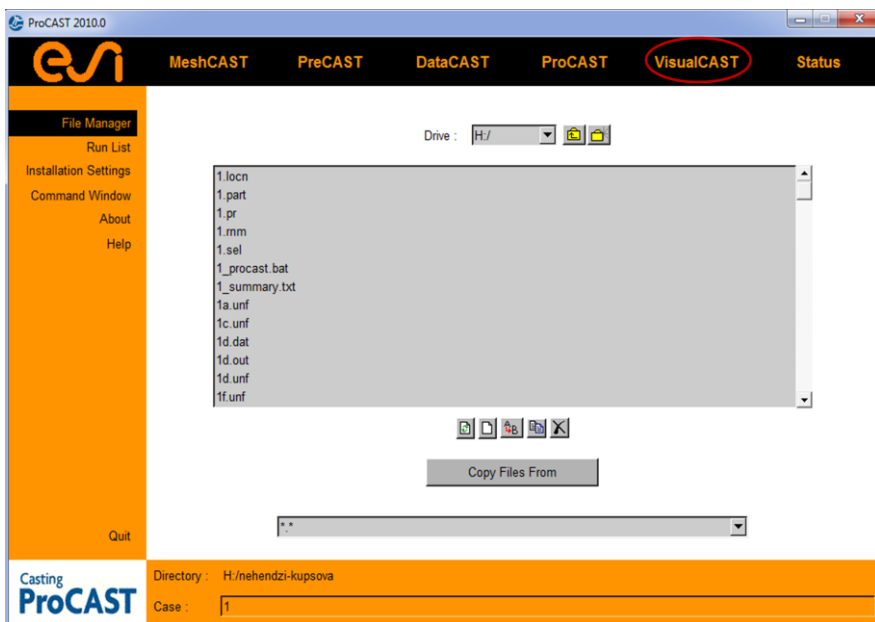


Рисунок 34 – Запуск постпроцессора

Описание возможностей постпроцессора будет рассмотрено на конкретном примере в следующем разделе.

2 ПРИМЕР КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ЛИТЬЯ В КОКИЛЬ В PROCAST

Возможности ProCAST рассмотрим на примере моделирования процессов получения малой комплексной пробы на жидкотекучесть Нехендзи-Купцова (рисунок 35), которая представляет собой усовершенствованный вариант U-образной пробы Нехендзи-Самарина. Конусная часть пробы 1 служит для определения объемной усадки; U-образный пруток 2 – для определения жидкотекучести; вертикальный пруток 3 – для определения линейной усадки. Внешний вид кокиля показан на рисунке 36.

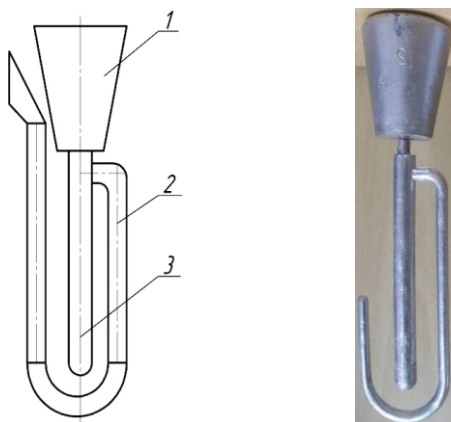


Рисунок 35 – Малая комплексная проба Нехендзи-Купцова



Рисунок 36 – Внешний вид кокиля для получения пробы на жидкотекучесть Нехендзи-Купцова

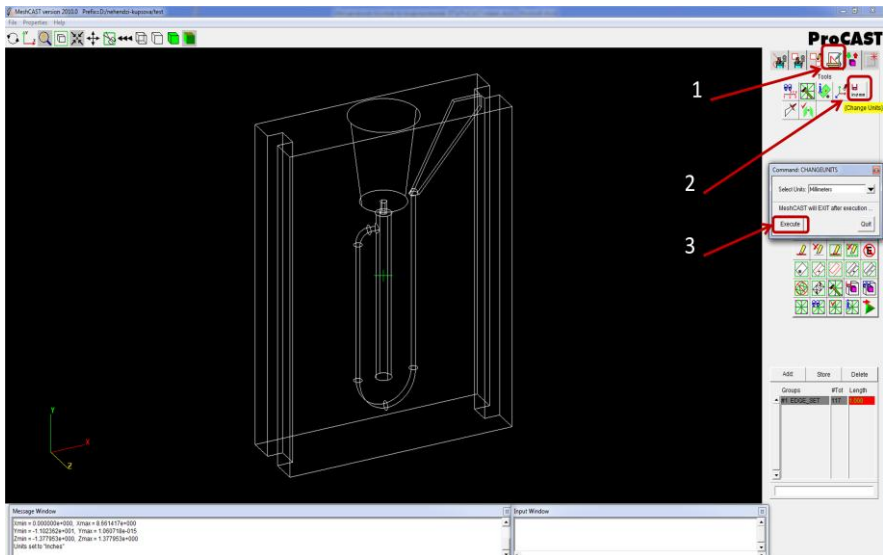


Рисунок 38 – Выбор единиц измерения

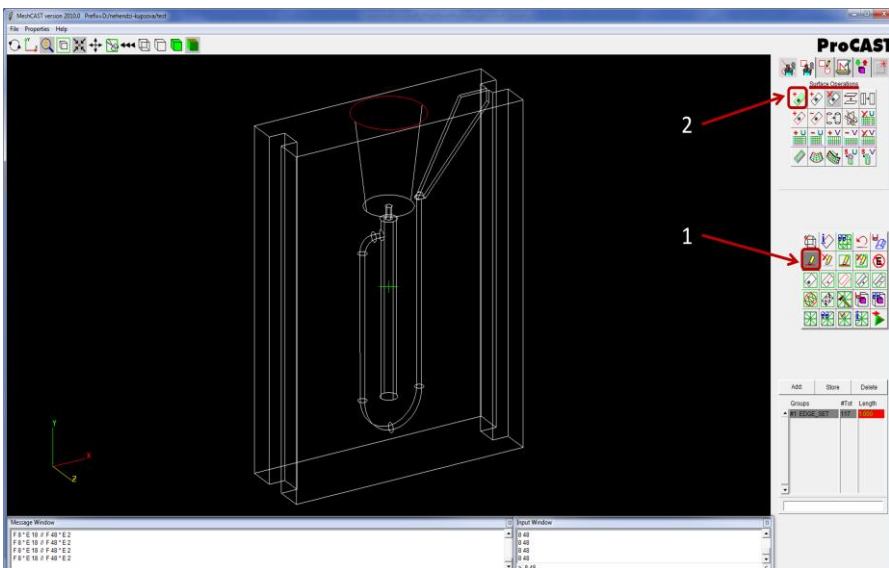


Рисунок 39 – Создание новой поверхности

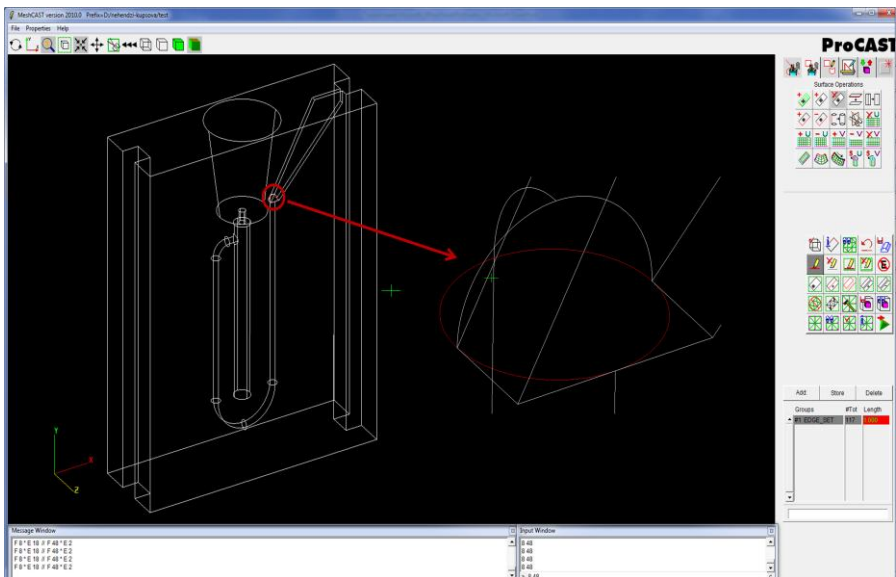


Рисунок 40 – Создание новой поверхности

После всех этих процедур приступаем к созданию поверхностной конечно-элементной сетки, от качества которой зависит объемная сетка и точность расчетов в целом. Поэтому геометрию формы необходимо разделить на несколько наборов с различной величиной конечных элементов. Так, на внешних поверхностях нет необходимости создавать мелкие элементы, тем более, что это значительно увеличит время расчета. А вот на внутренних поверхностях формы, формирующих отливку необходимо создать сетку, корректно описывающую их геометрию. На данный момент вся геометрия формы принадлежит одному набору **#1 EDGE_SET** (рисунок 41). Это можно проверить нажав в меню наборов в колонке **Groups** на пока единственный **#1 EDGE_SET**. После чего все ребра, принадлежащие данному набору будут окрашены в красный цвет. Данный прием очень удобно использовать при сложной геометрической модели, разбитой на множество наборов.

Для создания новых наборов необходимо нажать на кнопку **Add** (шаг 1) меню наборов, далее нажать на кнопку **Select** меню REPAIR FACILITATION TOOLS (шаг 2) и пересекая курсором необходимую часть геометрии модели выделить набор ребер как показано на рисунке 42. При пересечении курсором ребро окрашивается в красный цвет. После выделения всех ребер необходимо подтвердить создание нового набора нажатием кнопки **Store** (шаг 3).

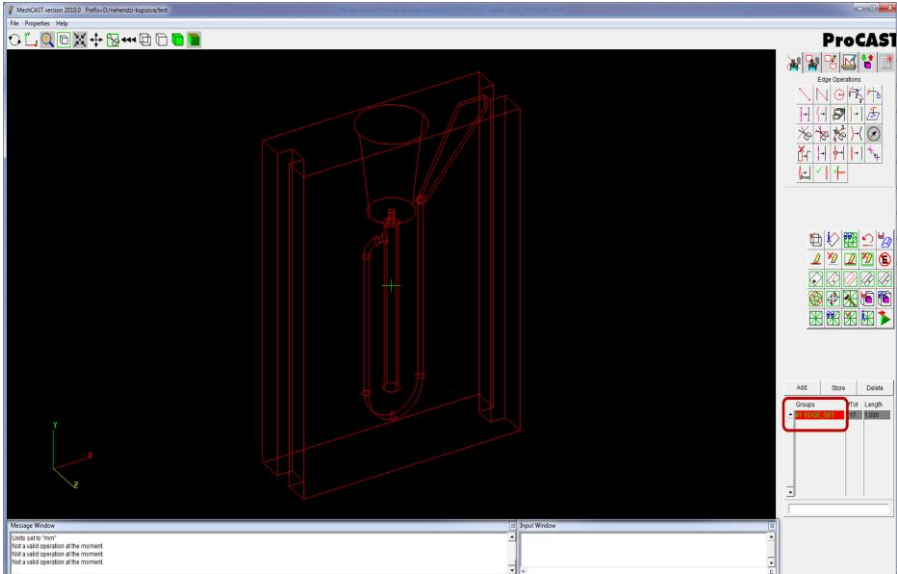


Рисунок 41 – Существующий набор ребер

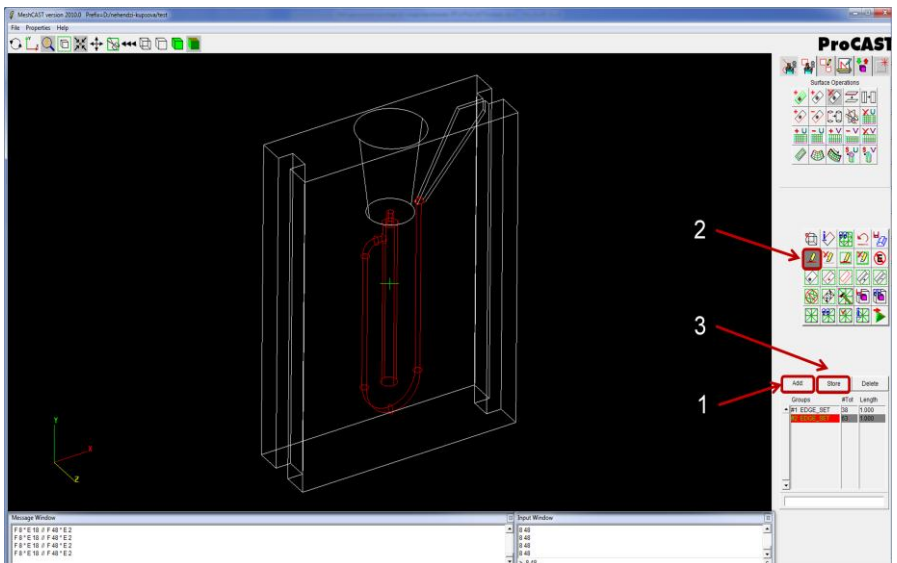


Рисунок 42 – Создание нового набора ребер

После это можно проверить правильность своих действий нажав на **#2 EDGE_SET** в меню наборов. Должны высветиться красным цветом все ребра, принадлежащие второму, только что созданному набору (рисунок 43).

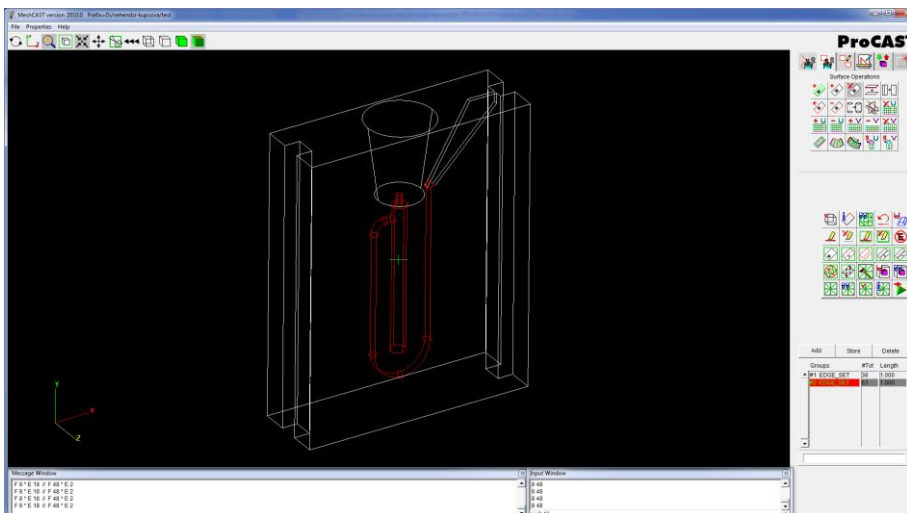


Рисунок 43 – Ребра, принадлежащие новому набору

Необходимо повторить ту же последовательность действий для создания третьего набора **#3 EDGE_SET**, показанного на рисунке 44.

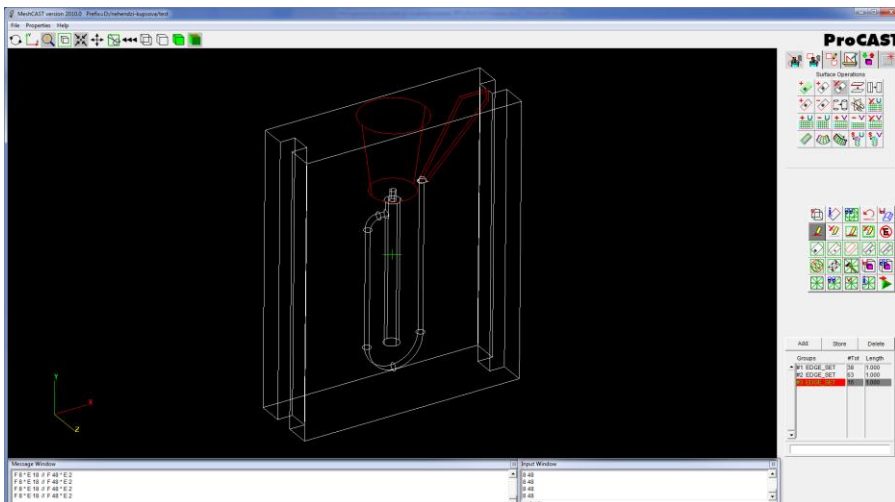


Рисунок 44 – Третий набор ребер

Элементы геометрии модели, принадлежащие каждому из трех наборов будут разбиты на сетку с разным размером конечных элементов. Это делается для того, чтобы обеспечить компромисс между качеством конечно-элементной сетки и продолжительностью расчета. Таким образом, отливка будет разбита на мелкую конечно-элементную сетку (размер 1,5 мм), прибыль – несколько крупнее (размер 3 мм), а кокиль еще крупнее (размер 5 мм).

Для того, чтобы указать размер конечного элемента (рисунок 45) необходимо ввести его значение в строку, расположенной под меню наборов (шаг 1), выделить в интересующем наборе уже установленное значение (по умолчанию 1) (шаг 2) и нажать на клавиатуре кнопку **Enter**.

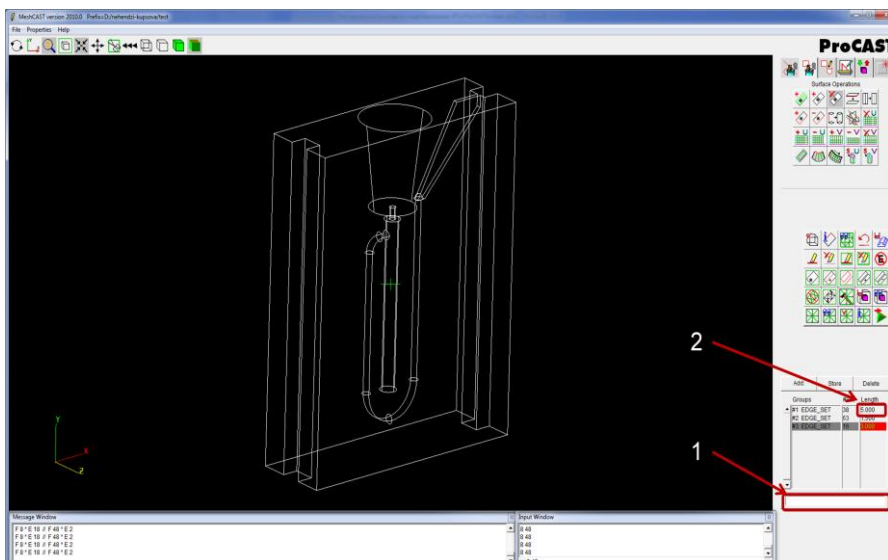


Рисунок 45 – Установка размера конечных элементов

Эту последовательность действий необходимо повторить для каждого созданного набора.

После этого генерируем поверхностную конечно-элементную сетку нажав на кнопку **Generate Surface Mesh** (рисунок 46). После чего, автоматически начнется построения конечно-элементной сетки в автоматическом режиме, а в дополнительном окне будет отражаться ход этого построения.

Посмотреть сгенерированную поверхностную сетку можно нажав на кнопку **Show Mesh** (шаг 1) (рисунок 47), а для создания объемной конечно-элементной сетки необходимо нажать кнопку **Go Volume Meshing** (шаг 2).

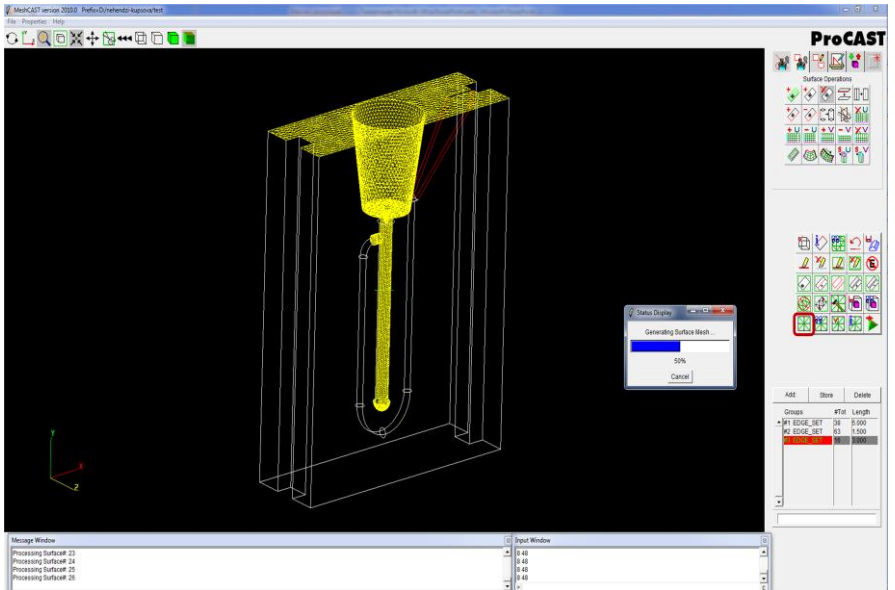


Рисунок 46 – Процесс генерирования поверхностной конечно-элементной сетки

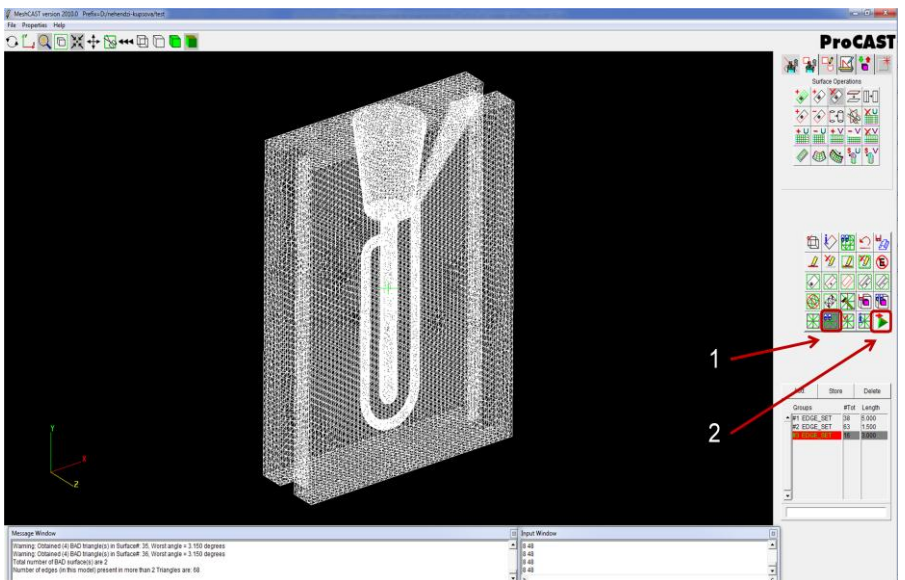


Рисунок 47 – Полученная поверхностная конечно-элементная сетка

После этого активируется среда построения объемной сетки **MESHING ENVIRONMENT**, в которой произведем проверку полученной поверхностной конечно-элементной сетки, нажав на кнопку **Check Mesh** (шаг 1) (рисунок 48). В результате в модели высветятся красным цветом все "плохие" конечные элементы, которые необходимо отредактировать. Модуль MeshCAST позволяет автоматически исправить их, а если этого не достаточно, то предусмотрены расширенные возможности редактирования конечных элементов в ручном режиме. В нашем случае нажав на кнопку **Fix Bad Triangles** (шаг 2) мы автоматически исправим все "плохие" конечные элементы и последующая проверка больше их не покажет.

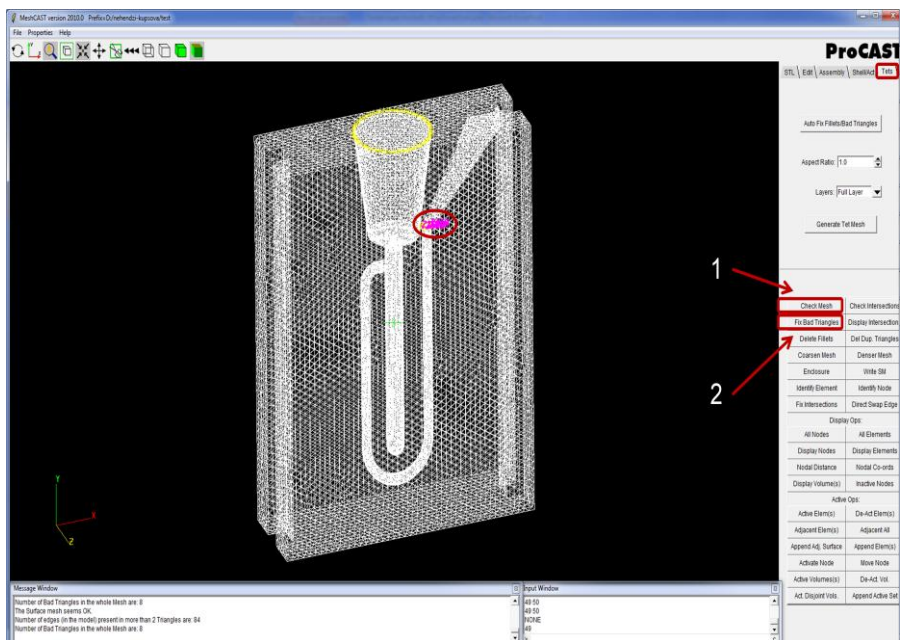


Рисунок 48 – Проверка конечно-элементной сетки на наличие "плохих" элементов

На рисунке 49 показана полученная объемная конечно-элементная сетка нашей модели, которая состоит из двух объемов: кокиля и отливки.

На этом работа в модуле MeshCAST закончена, остается сохранить созданную математическую модель с помощью меню **File** → **Save**. В результате в рабочей директории появится новый файл **test.mesh**, работу с которым необходимо продолжить в модуле PreCAST.

Запускаем модуль PreCAST как показано на рисунке 50.

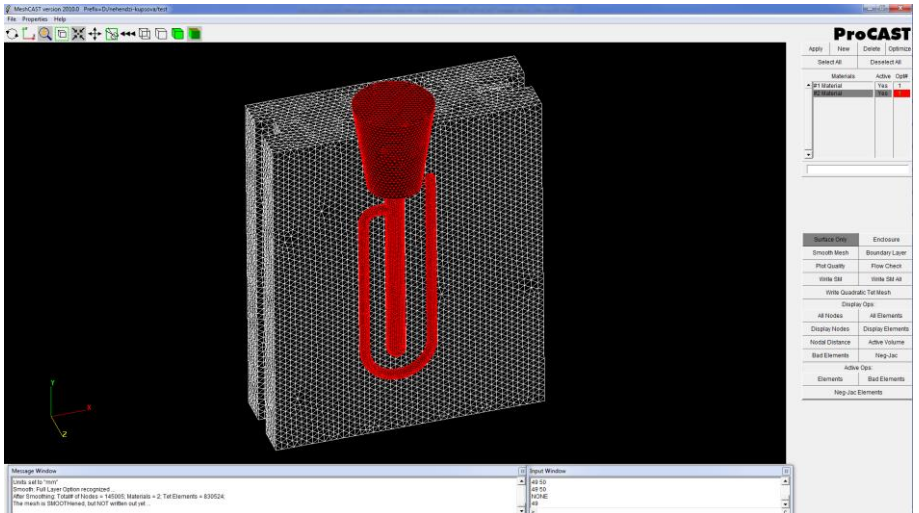


Рисунок 49 – Математическая модель

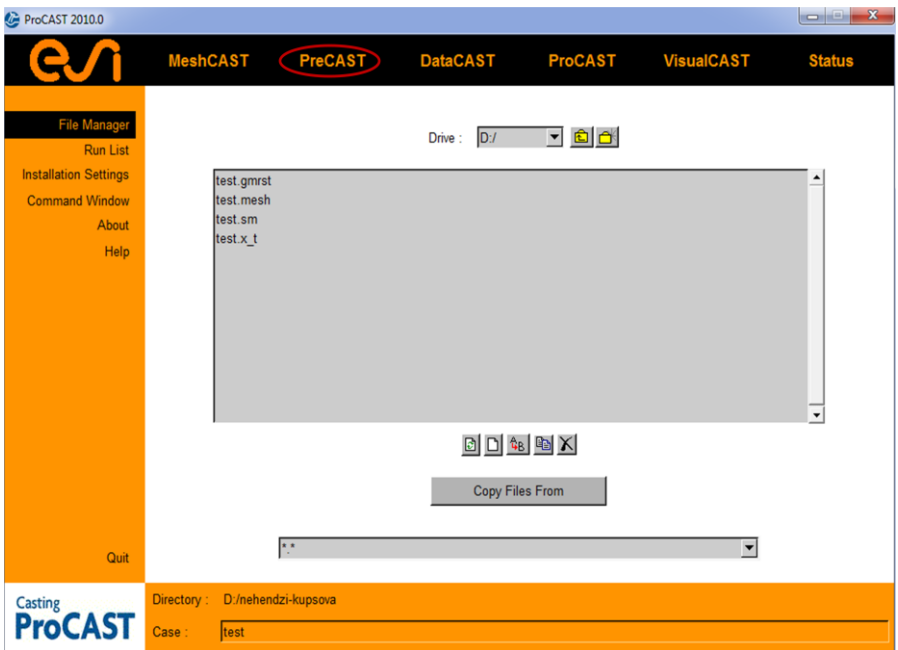


Рисунок 50 – Запуск модуля PreCAST

В результате загрузится полученная математическая модель и дополнительное окно со следующей информацией (рисунок 51): число материалов в модели, общее количество узлов и элементов, габаритные размеры модели и другое. Здесь очень важно проверить единицы измерения и размеры модели.

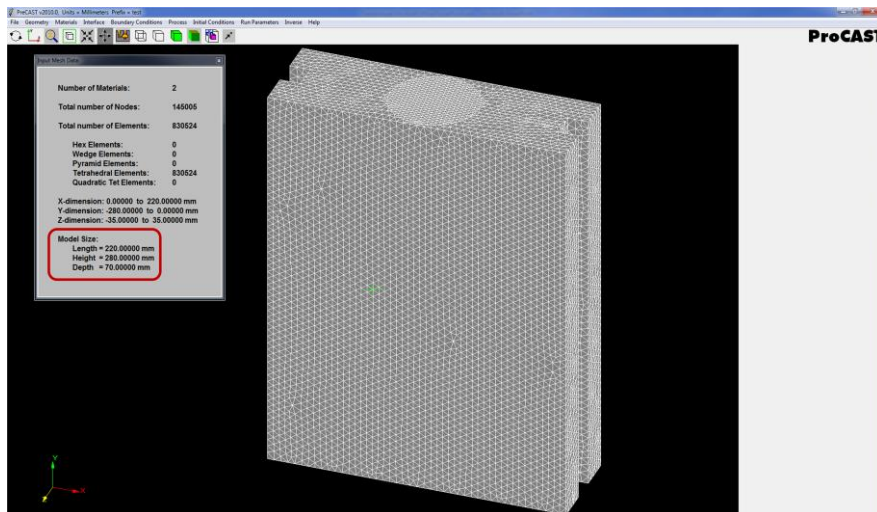


Рисунок 51 – Математическая модель

После этого необходимо оптимизировать модель, для это надо выбрать в меню **File** функцию **Optimize** (рисунок 52). При оптимизации PreCAST переименует все узлы в модели для увеличения скорости расчета. Оптимизация будет выполнена перед выходом из модуля PreCAST.

Теперь назначим материалы в нашей модели. Для этого в меню **Materials** выбираем кнопку **Assign** (шаг 1) (рисунок 53). Из существующей базы данных, находящейся в нижнем правом углу интерфейса модуля PreCAST выбираем свой материал для каждого объема модели (шаг 2) и присваиваем его нажав на кнопку **Assign** (шаг 3). Итак, в качестве материала формы (в списке материалов под номером 1) выбираем Fe_GG_20 (чугун), а в качестве материала отливки (в списке материалов под номером 2) – Al_AISi9Mg (аналог сплава АК9ч). Далее назначим тип каждого материала, для этого надо кликнуть левой кнопкой мыши на против каждого из материалов модели в столбце **Type** и из появившегося меню необходимо выбрать с помощью левой кнопки мыши **Mold** для формы, **Casting** для отливки (шаг 4). В этом разделе остается только установить с помощью левой кнопки мыши **Yes** (шаг 5) на против отливки в столбце **Empty**, это будет означать что объем отливки пуст. Это необходимо делать для моделирования гидродинамических процессов заполнения отливки.

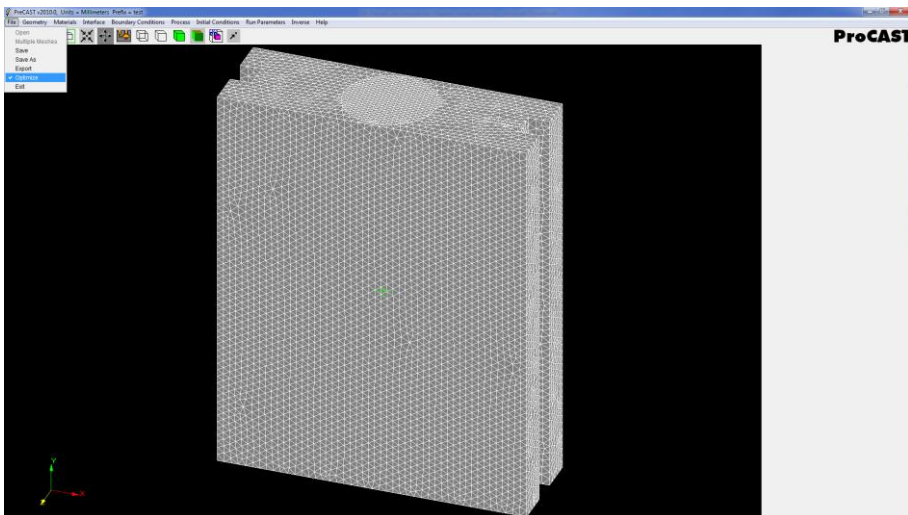


Рисунок 52 – Оптимизация модели

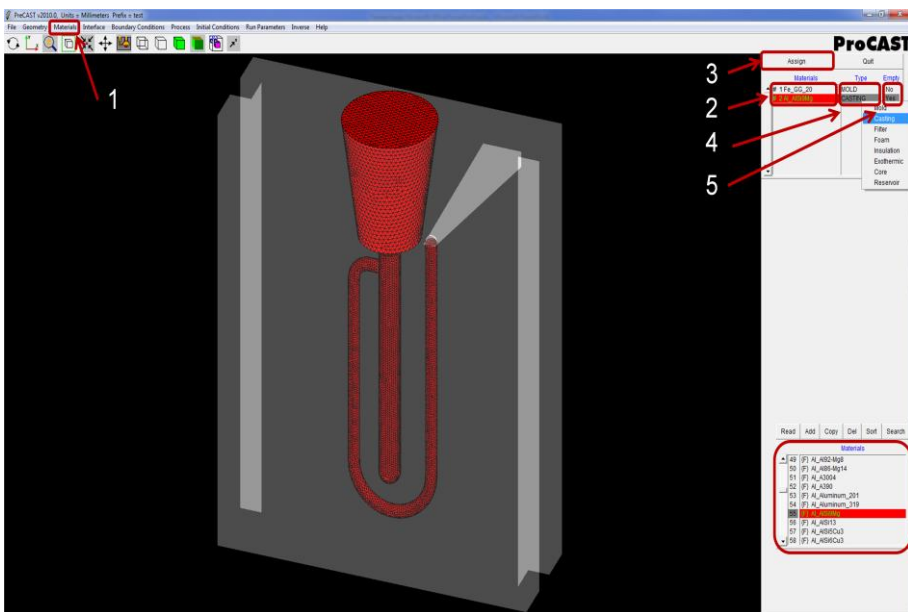


Рисунок 53 – Назначение тепловых свойств материалам отливки и формы

Для моделирования возникающих в отливке напряжений и деформаций во время ее кристаллизации необходимо задать для этого соответствующие деформационные свойства материалам отливки и формы. Для это в меню **Materials** выбираем кнопку **Stress** (рисунок 54).

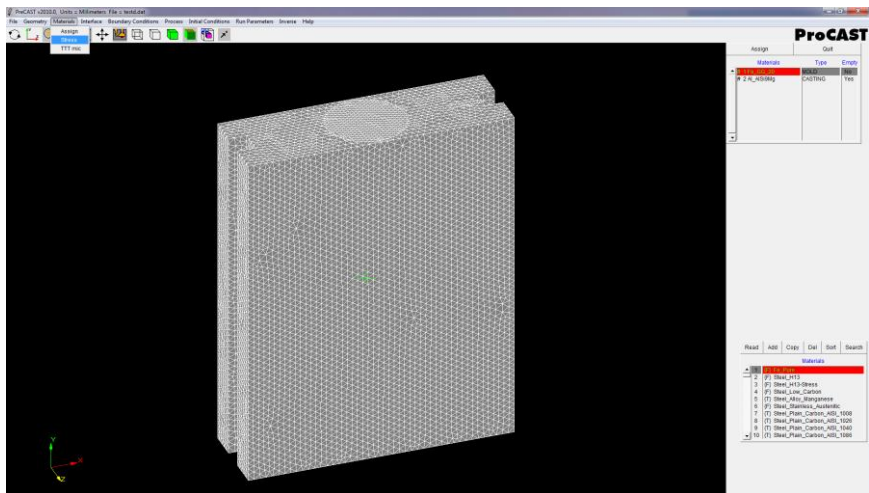


Рисунок 54 – Меню для задания соответствующих свойств материалам отливки и формы при расчете напряжений и деформаций, возникающих в отливке в процессе ее кристаллизации

Рассмотрим форму как идеально жесткое тело, а отливку будет рассчитываться по упруго-пластичной модели. Для этого выбираем описанным выше способом материалы из существующей базы данных как показано на рисунке 55.

После выбора материалов необходимо определить поверхности раздела между формой и отливкой в меню **Interface** (шаг 1) (рисунок 56). В данном меню появляются два окна в правой части экрана. Верхнее окно содержит список всех возможных поверхностных контактов в модели, нижнее окно включает базу данных по коэффициентам теплопередачи на границе раздела. Так как в данном случае модель состоит только из двух объемов – отливки и формы, то возможен только одна контактная пара (**Material Pair**). "2 и 1" означает, что существует контакт между материалами 2 и 1. Кликом правой кнопки мыши можно изменить порядок пары (**Важно** – в ProCAST принято, чтобы отливка была всегда первой!). Устанавливаем границу раздела (шаг 2) как показано на рисунке 54. После этого с помощью левой кнопки мыши устанавливаем тип контакта в **COINC** (шаг 3) и подтверждаем выбор нажатием кнопки **"Apply"**. Препроцессор автоматически создаст двойные узлы и появится сообщение, подтверждающее увеличение количества узлов в модели.

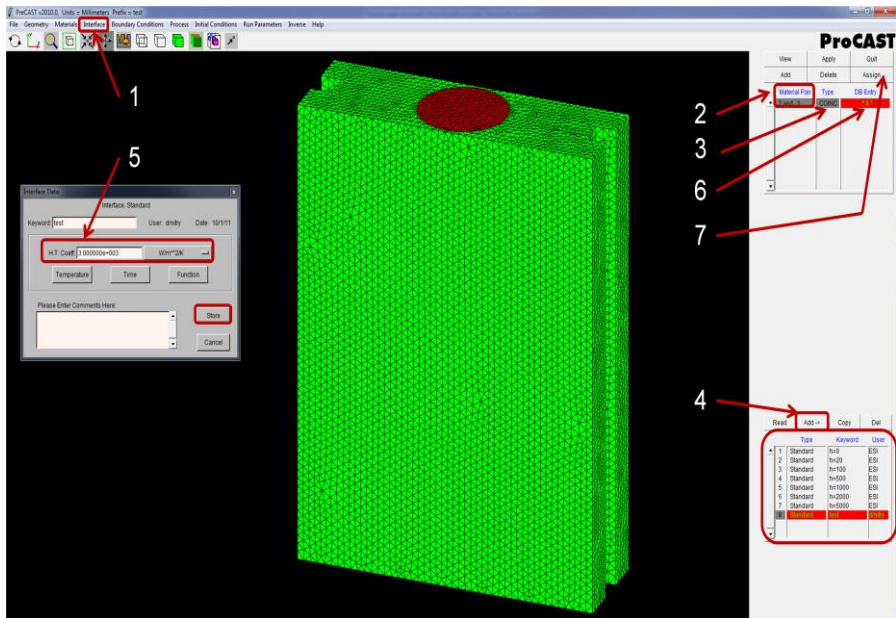


Рисунок 56 – Определение границы раздела между отливкой и формой

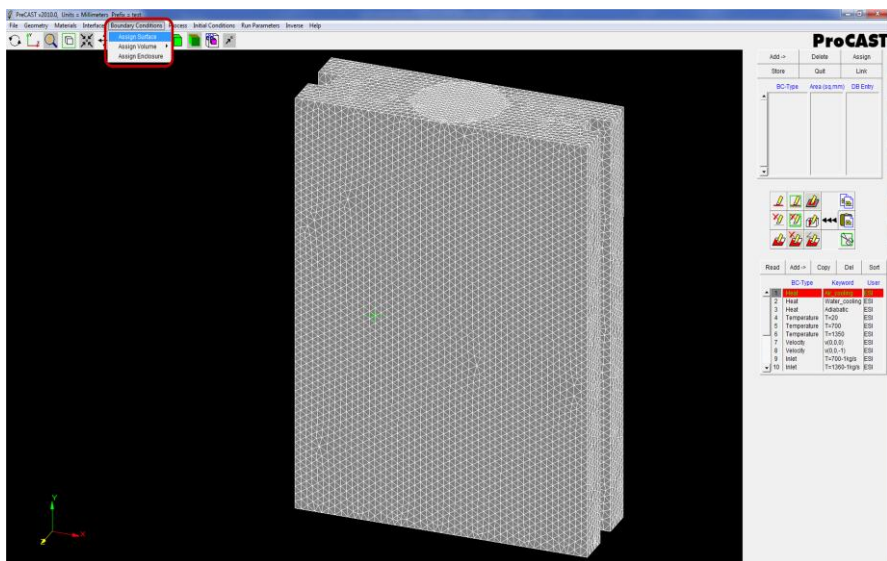


Рисунок 57 – Задание граничных условий

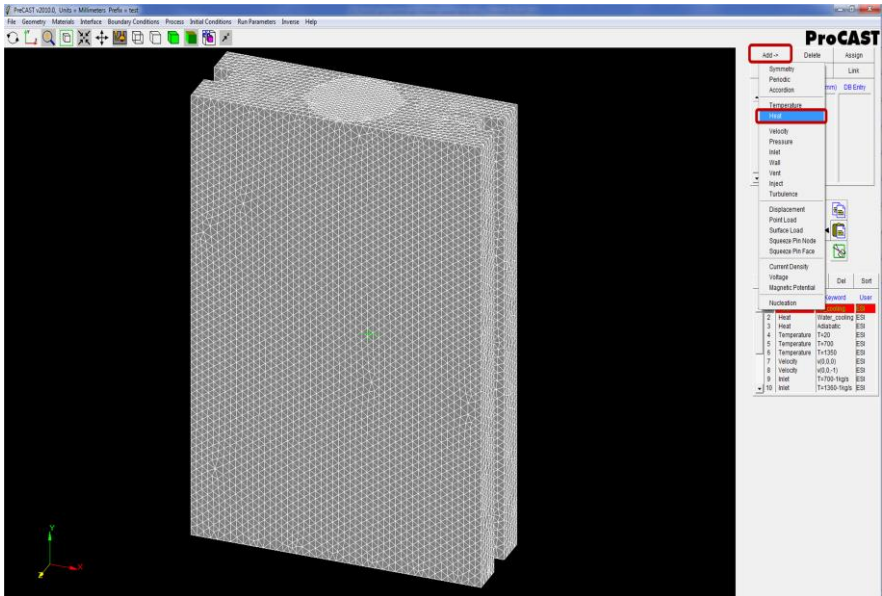


Рисунок 58 – Добавление граничных условий

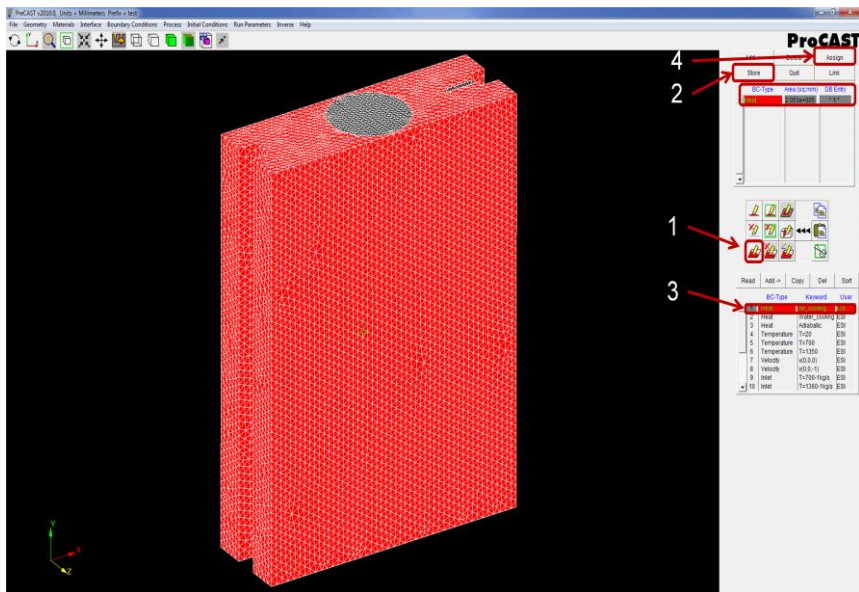


Рисунок 59 – Определение параметров граничного условия Heat

Таким же образом добавляем следующее граничное условие **Inlet** (расход металла) (рисунок 60). С помощью инструмента выбора (шаг 1) указываем сечение струи расплава (выделяем приблизительно такую же область как на рисунке 58) и подтверждаем выделение кнопкой **Store** (шаг 2). Далее добавляем параметры для граничного условия **Inlet** нажав на кнопку **Add** (шаг 3). В появившемся окне заполняем соответствующие строки как показано на рисунке 58 (шаг 4) и нажимаем кнопку **Time** (шаг 5). В появившемся новом окне вводим данные (шаг 6) в соответствии с рисунком, контролируя их на графике (шаг 7). После это сохраняем введенные значения нажав кнопки сначала **Save**, а затем **Store** (шаг 8). Выбираем в базе данных вновь созданные параметры (шаг 9) и присваиваем их граничному условию **Inlet** (шаг 10).

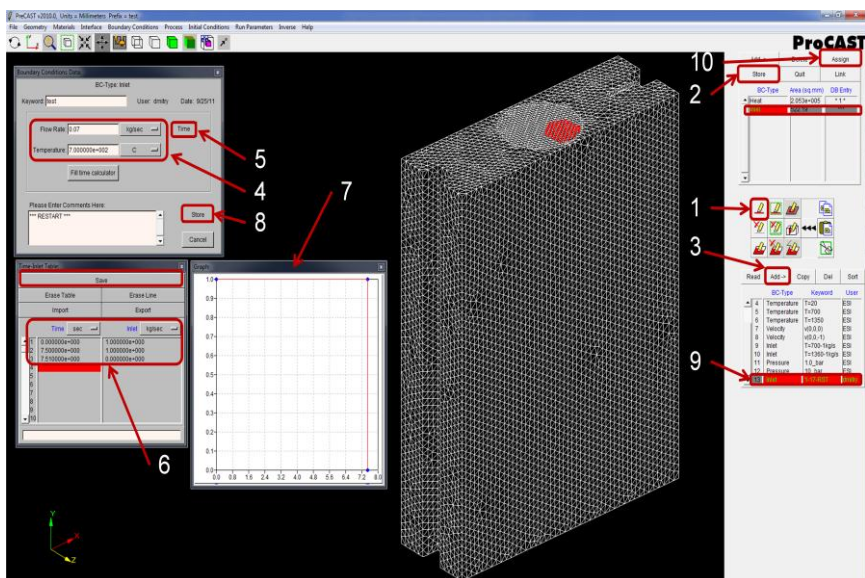


Рисунок 60 – Создание граничного условия Inlet

А также для расчета напряжений и деформаций возникающих в отливке при ее кристаллизации необходимо установить граничное условие **displacements**, для того чтобы избежать перемещения модели (рисунок 61).

И в открывшемся окне зададим перемещения по всем трем координатам равным нулю (рисунок 62).

Для того, чтобы зафиксировать форму неподвижной достаточно выделить поверхности, показанные на рисунке 63, на которые задать созданное граничное условие **Displacements**.

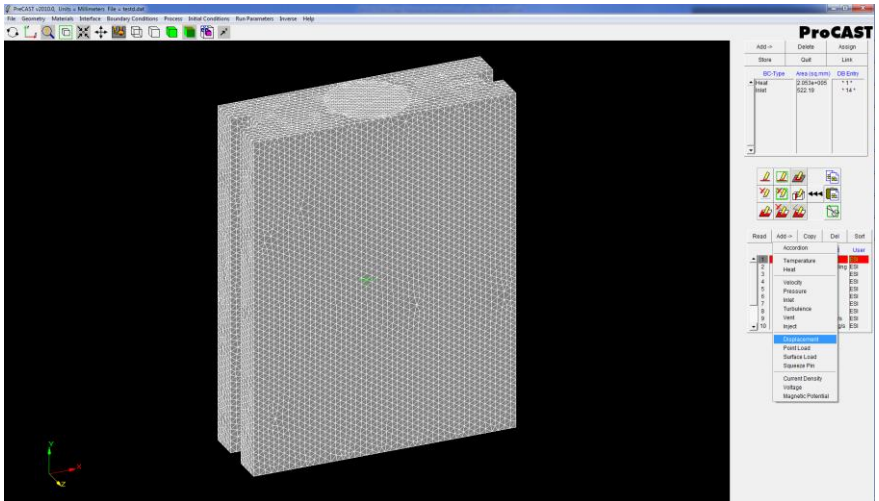


Рисунок 61 – Создание граничного условия Displacements

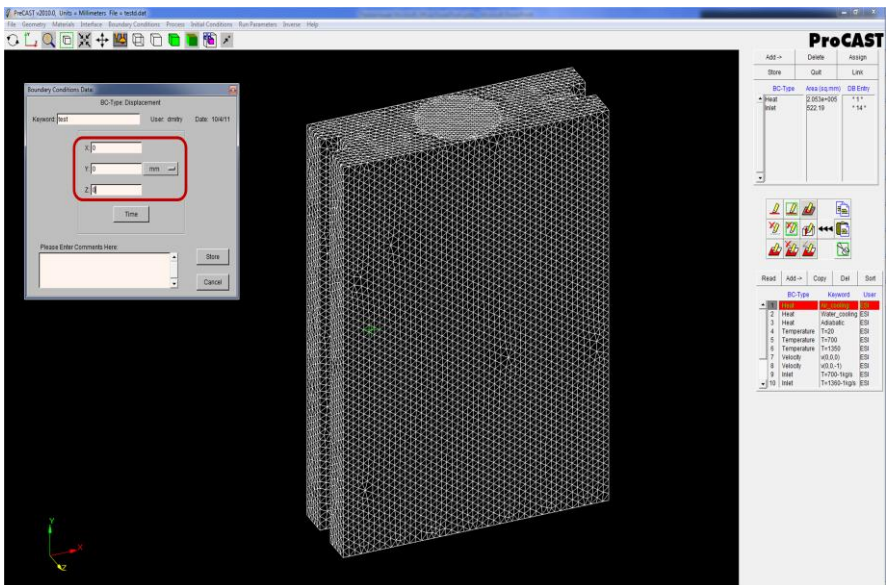


Рисунок 62 – Задание запрета перемещений формы

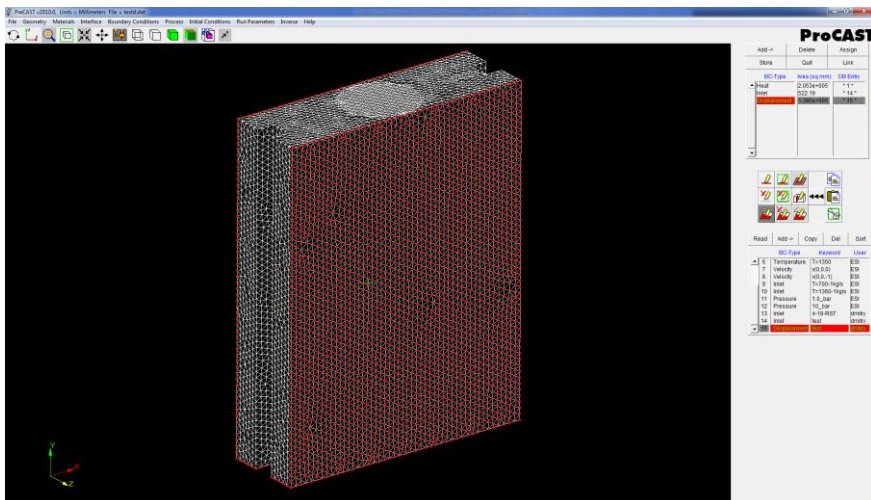


Рисунок 63 – Поверхности формы с нулевыми перемещениями

Переходим к разделу **Process** (шаг 1) (рисунок 64), где необходимо определить вектор силы тяжести. Для этого необходимо сориентироваться с помощью системы координат, расположенной в левом нижнем углу. В данном случае вектор силы тяжести должен быть направлен по оси **Y** в отрицательном направлении. Для этого дважды кликаем левой кнопкой мыши на **Y** при этом значение **-9,8** вводится автоматически (шаг 2) (один клик левой кнопки на **X**, **Y** или **Z** автоматически вводит значение 9,8). Подтверждаем сделанные изменения нажатием кнопки **Apply** (шаг 3).

Далее присваиваем начальные условия (рисунок 65). В меню **Initial Conditions** выбираем **Constant** (шаг 1). Для каждого материала вводим значения начальных температур (шаг 2) кокиля (100°C) и отливки (700°C). Эти значения необходимо написать в строке ввода (шаг 3) и нажать кнопку **Enter** на клавиатуре.

Для завершения работы в модуле PreCAST осталось задать параметры расчета. Переходим в раздел **Run Parameters** (шаг 1) (рисунок 66) и в появившемся окне переходим в меню **Preferences** (шаг 2). Из выпадающего меню выбираем **Gravity Filling** (гравитационная заливка) (шаг 3) при этом часть параметров будет настроено автоматически.

Затем переходим в раздел **General** (шаг 1) (рисунок 67) и выбираем **Standart** (шаг 2). Вводим максимальное количество шагов расчета – 20000 (шаг 3), для того чтобы расчет не закончился преждевременно. В качестве критерия окончания расчеты указываем температуру, равную 400°C до которой будет производиться расчет (шаг 4). Здесь же можно указать единицы измерения, которые будут использоваться при просмотре результатов (шаг 5).

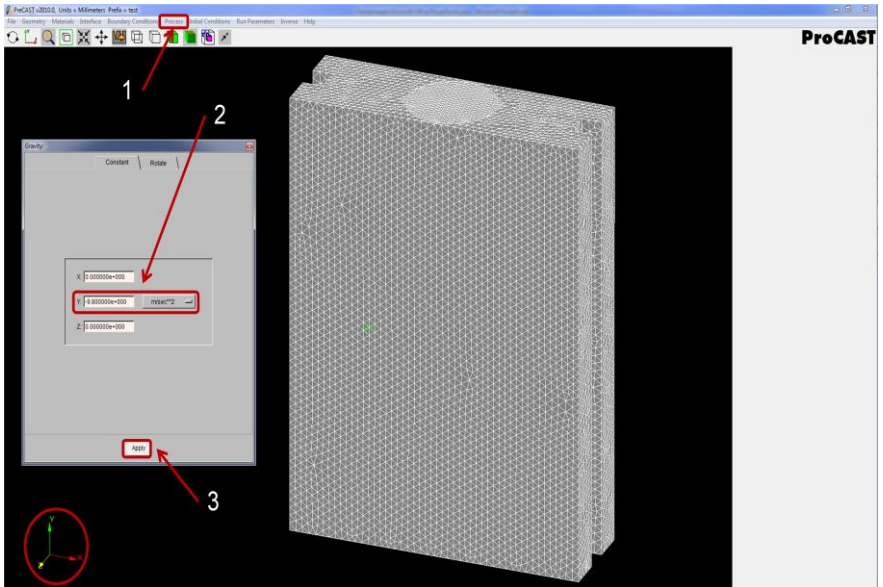


Рисунок 64 – Определение вектора силы тяжести

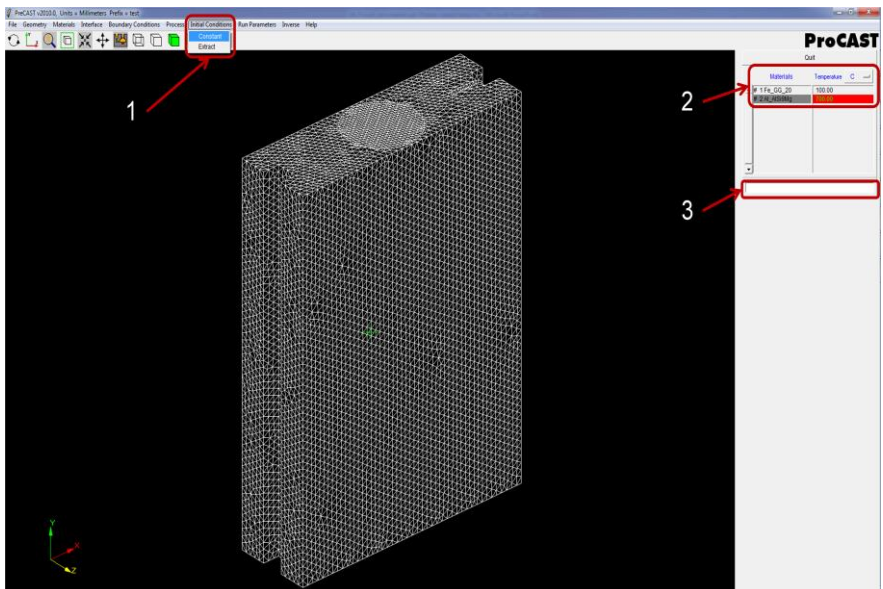


Рисунок 65 – Определение начальных условий

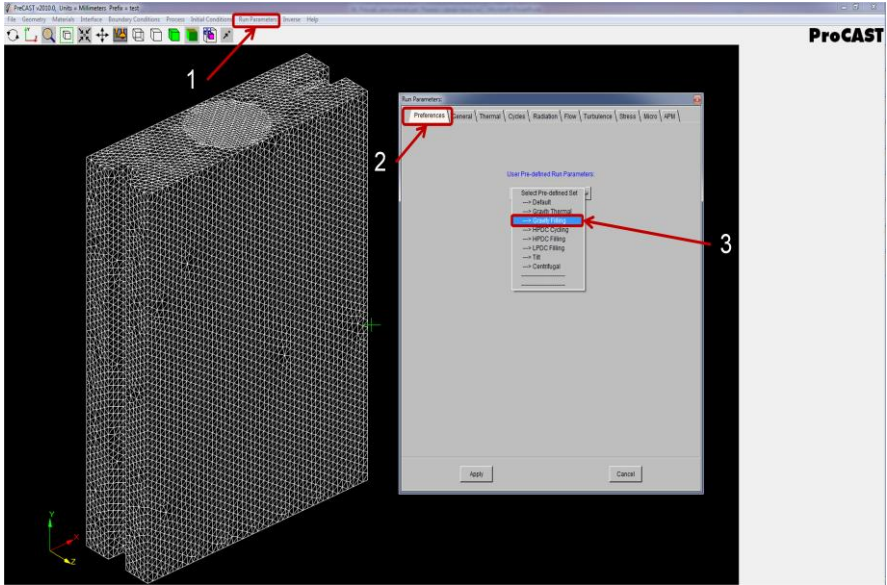


Рисунок 66 – Меню Run Parameters

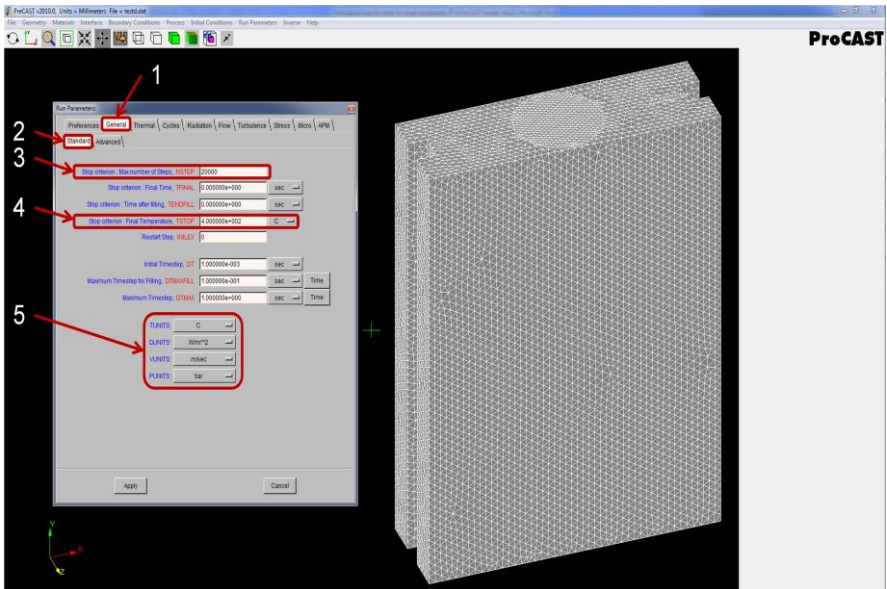


Рисунок 67 – Настройка параметров расчета в разделе General меню Run Parameters

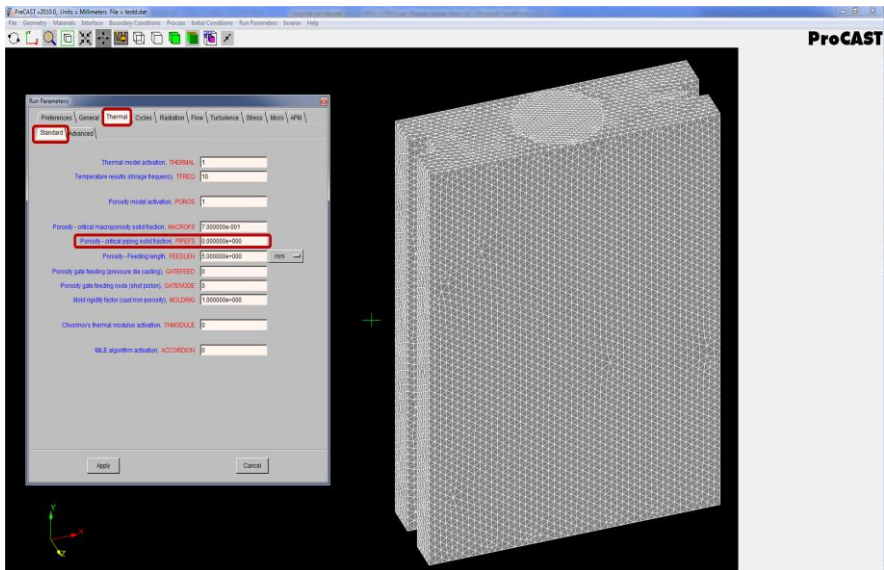


Рисунок 68 – Настройка параметров расчета в разделе Thermal меню Run Parameters

В разделе **Thermal** (рисунок 68) выбираем **Standard** и устанавливаем значение параметра **PIPEFS** равное нулю, это необходимо для расчета напряжений и деформаций в отливке.

После этого переходим в раздел **Flow** (шаг 1) (рисунок 69) и выбираем вкладку **Standard** (шаг 2). Указываем давление равным нулю (шаг 3), а значение параметра **LVSURF** устанавливаем равным 1 (шаг 4). После этого сохраняем сделанные изменения нажав кнопку **Apply** (шаг 5).

В разделе **Stress** (шаг 1) (рисунок 70) выбираем вкладку **Standard** (шаг 2). Для активации модуля напряжений устанавливаем значение параметра **STRESS** равное 1 (шаг 3) и выбираем адекватную частоту сохранения расчетных шагов (шаг 4, 5).

Далее оптимизируем и сохраняем через меню **File** сделанные настройки в модели и параметрах расчета. Запускаем модуль PreCAST (рисунок 71), ставим галочку напротив **Update option (-u)** и нажимаем на кнопку **Execute DataCAST**. Аналогичным образом поступаем с модулем ProCAST (рисунок 72).

В результате задача запускается на счет и в менеджере ProCAST можно отслеживать информацию о расчете (рисунок 73).

Контролировать правильность расчета можно в ходе его выполнения. Для этого необходимо с помощью кнопки **Return to File Manager** вернуться в менеджер ProCAST и запустить постпроцессор, нажав на **VisualCAST** (рисунок 74).

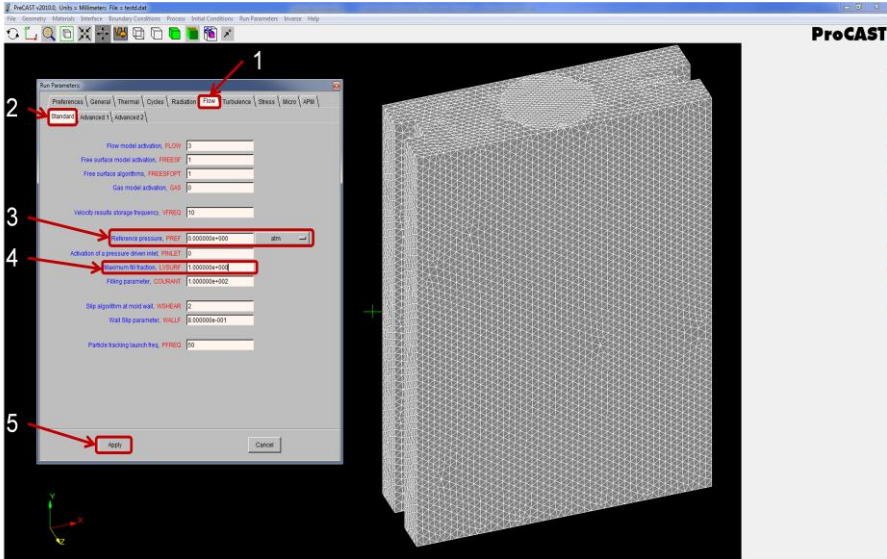


Рисунок 69 – Настройка параметров расчета в разделе Flow меню Run Parameters

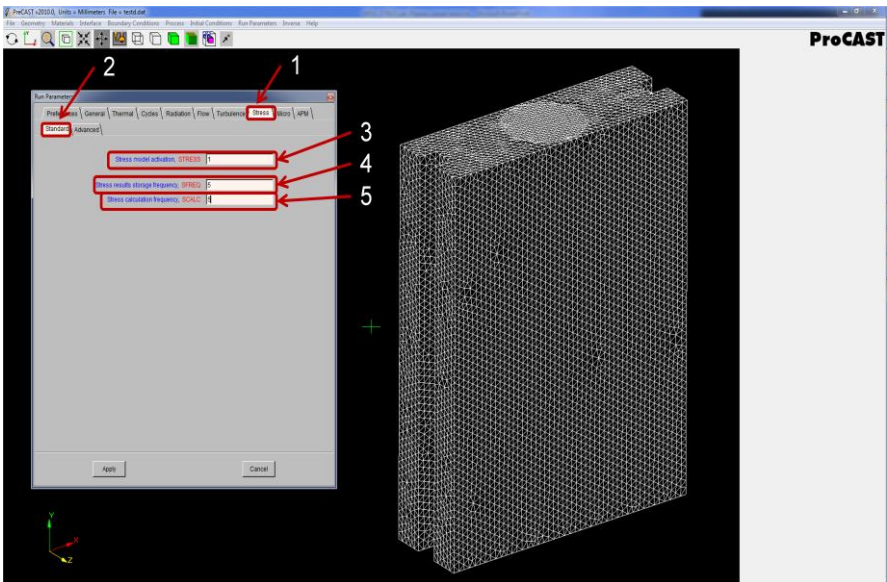


Рисунок 70 – Настройка параметров расчета в разделе Stress меню Run Parameters

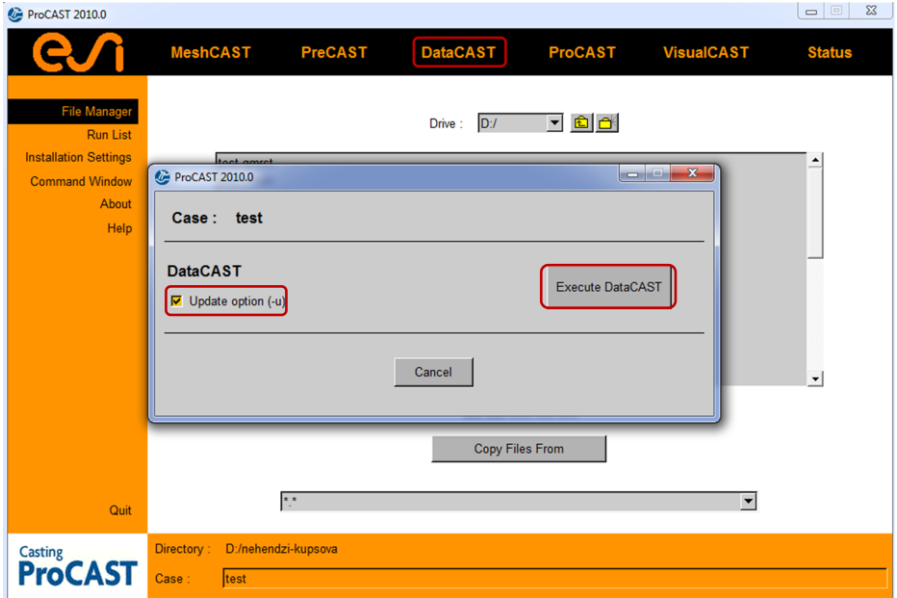


Рисунок 71 – Запуск модуля PreCAST

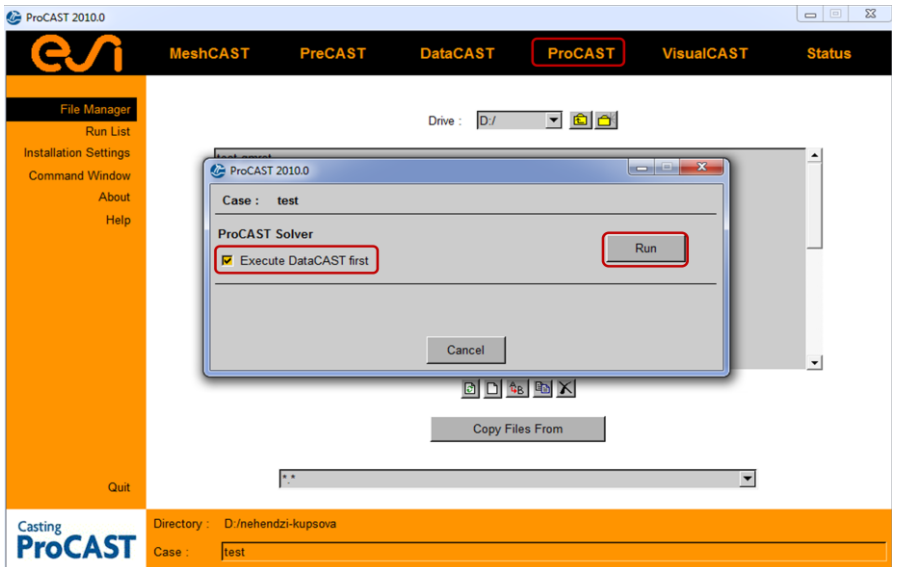


Рисунок 72 – Запуск модуля ProCAST

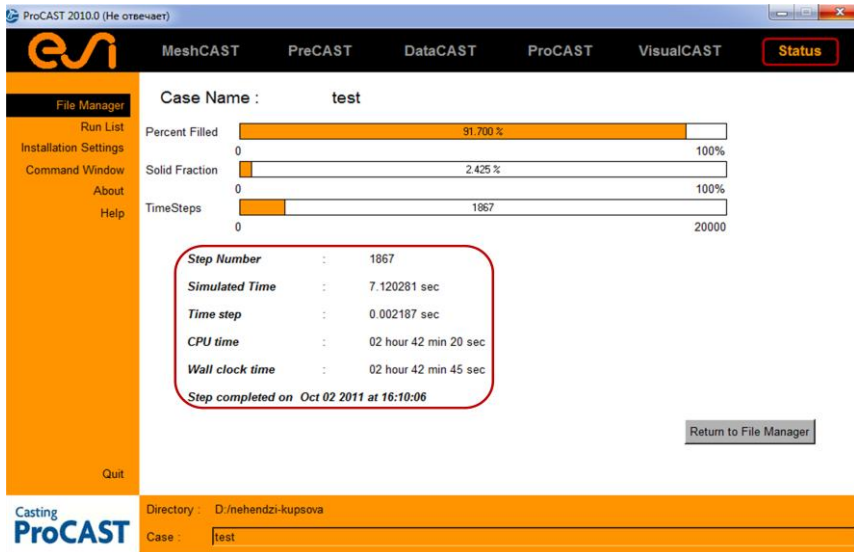


Рисунок 73 – Отображение информации о расчете в менеджере ProCAST

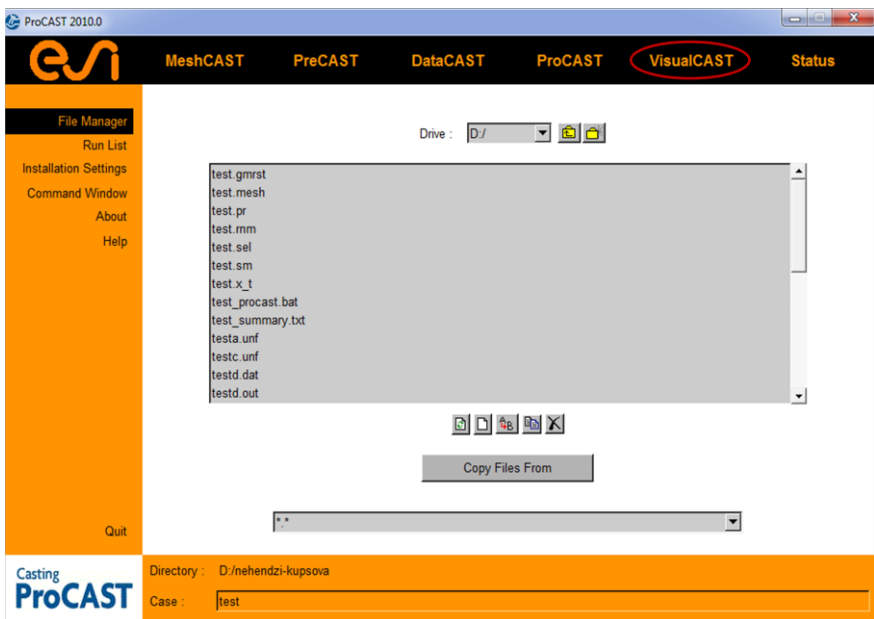


Рисунок 74 – Запуск постпроцессора VisualCAST

В результате загрузится решаемая задача в постпроцессор (рисунок 75). VisualCAST обладает множеством функций как отображения самой модели, так и различных параметров, рассмотрим некоторые из них. В зоне интерфейса под номером 1 отображается название задачи. В разделе под номером 2 отображаются части модели и их общее количество, а в разделе 3 - настройка анимации расчета и отображения различных параметров расчета, например, температуры, давления, скорости, пористости и др. Раздел 4 состоит из шкалы значений параметров, на рисунке 68 показана температура. Чтобы настроить параметры этой шкалы необходимо дважды нажать левой кнопкой мыши на нее. В зоне окна постпроцессора под номером 5 показана интерактивная система координат, с помощью которой можно настроить отображение модели или ее части. Это же можно сделать с помощью кнопок мыши: средняя кнопка вращает модель, а правая перемещает ее. И наконец в зоне под номером 6 отображается количество шагов расчета и значение текущего шага по времени, а также общее время процесса.

Приведем параметры шкалы и отображение отливки к виду, показанному на рисунке 76.

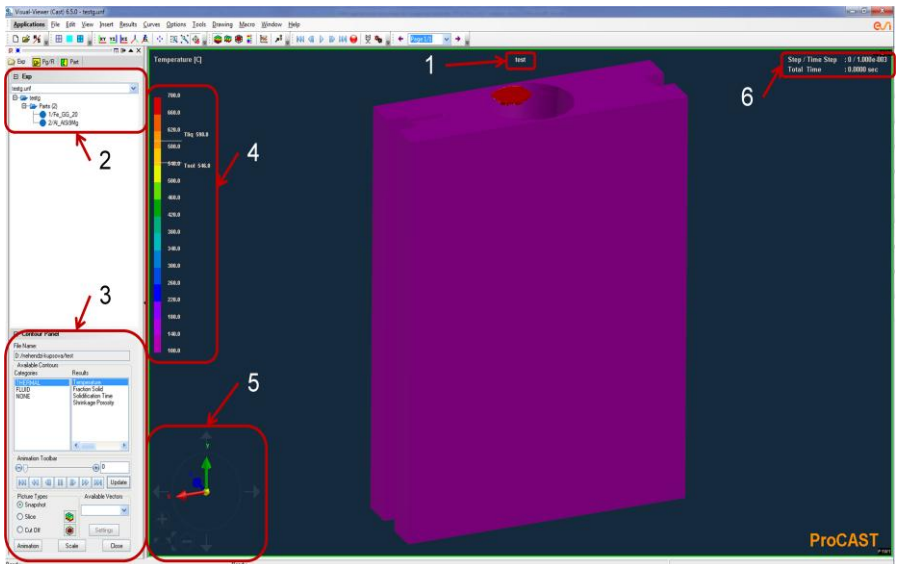


Рисунок 75 – Постпроцессор VisualCAST

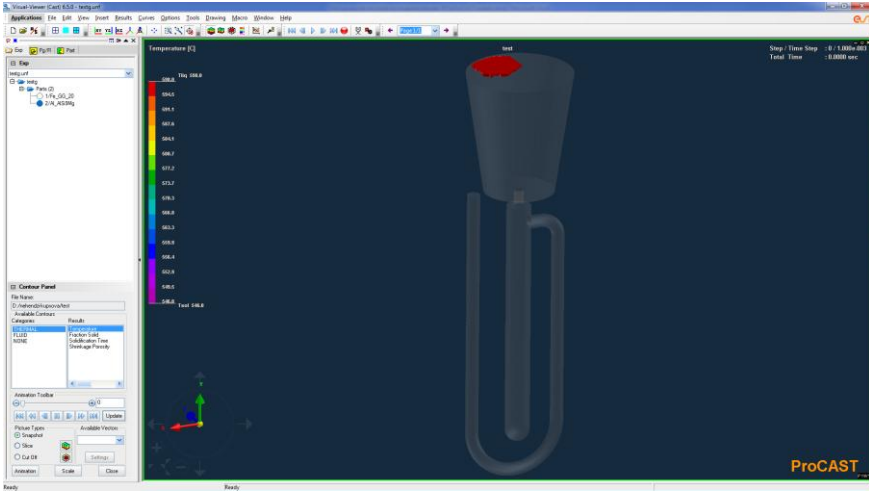


Рисунок 76 – Отображение отливки в окне постпроцессора

На рисунках 77 и 78, в качестве примера, показаны характерные стадии гидродинамического процесса заполнения кокиля расплавом.

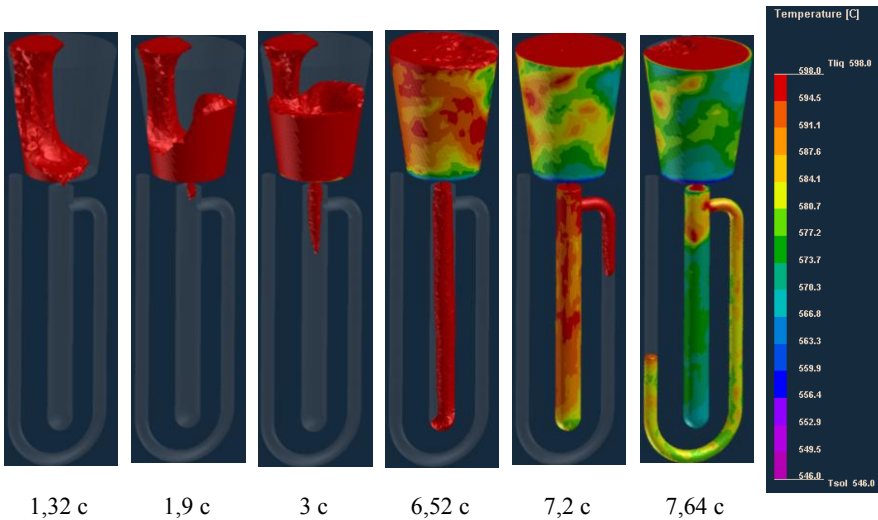


Рисунок 77 – Распределение температурных полей в процессе затвердевания расплава

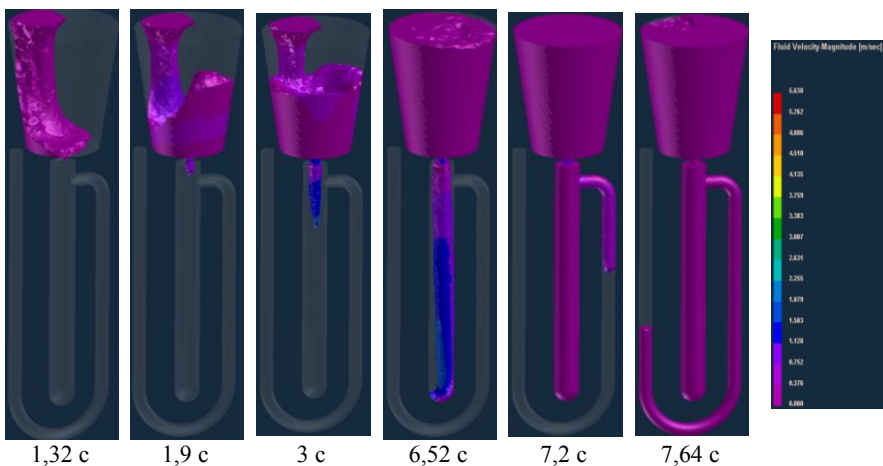


Рисунок 78 – Распределение полей скоростей расплава в процессе заполнения кокиля

А на рисунке 79 показано давление гидростатического напора в процессе заполнения кокиля расплавом.

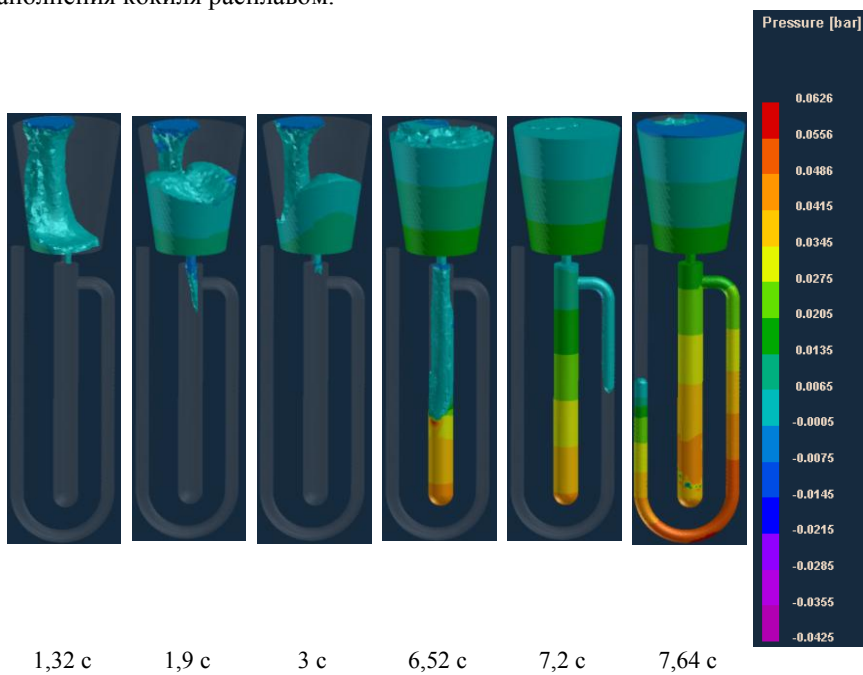


Рисунок 79 – Распределение давления гидростатического напора при заполнении формы расплавом

Помимо этого, можно предсказать возможные литейные дефекты. Так, например, на рисунке 80 показана, возникающая в процессе кристаллизации, усадочная пористость по объему отливки.

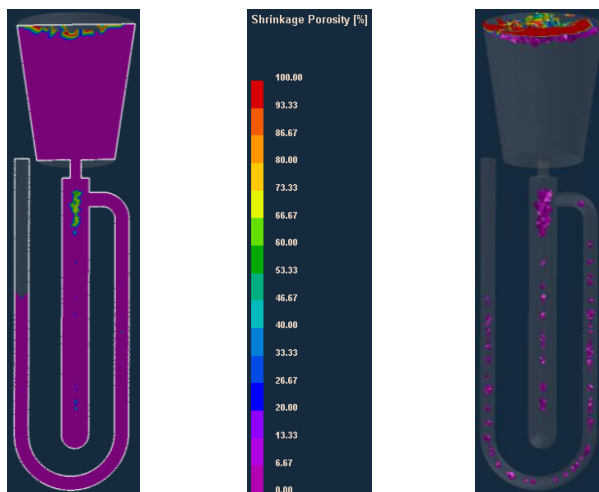


Рисунок 80 – Усадочная пористость

Процесс остывания отливки проходит, как правило, неравномерно из-за наличия в ней тонких и массивных частей, неравномерной толщины стенок формы и из-за того, что часть отливки граничит непосредственно с внешней средой. В связи с этим в отливке формируются остаточные напряжения учет которых является важной задачей. ProCAST позволяет "предсказать" эти напряжения и с помощью оптимизации литейной формы свести их к минимуму. Так, в нашем случае для визуализации рассчитанных напряжений необходимо выбрать меню **Stress** и, например, истинные напряжения (**Effective Stress**). В результате начнется процесс их расчета как показано на рисунке 81.

На рисунке 86 показаны рассчитанные истинные напряжения в отливке. На рисунке 82 показаны зоны контактного давления (**Contact Pressure**).

Проба Нехедзи-Купцова является комплексной, по длине вертикального прутка можно оценить линейную усадку сплава. Результаты моделирования перемещений отливки вдоль оси Y (**Y Displacement**) показаны на рисунке 83.

А на рисунке 84 показаны места формирования и величины зазоров между отливкой и формой (**Gap Width**).

Таким образом, компьютерное моделирование позволяет оценить спроектированную литейную форму и разработанную технологию на компьютере, не прибегая к дорогому и длительному методу проб и ошибок.

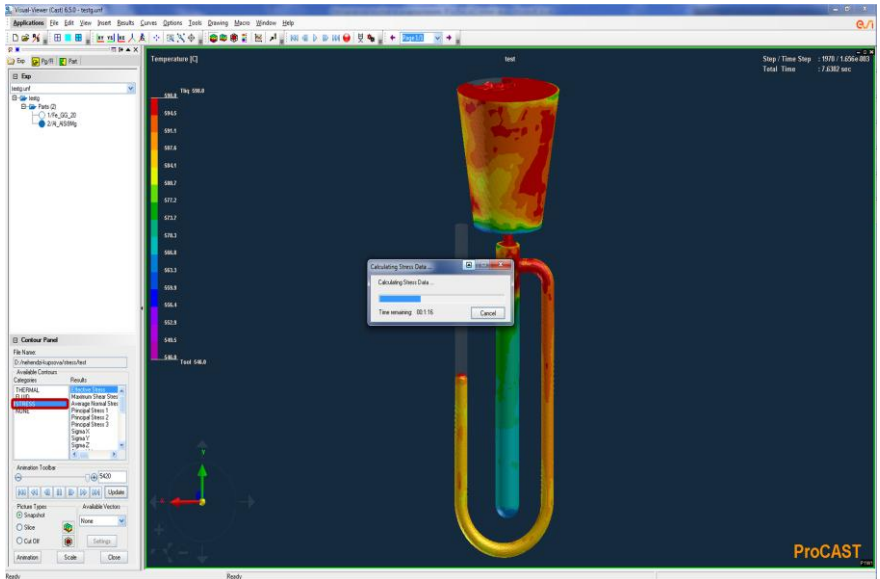


Рисунок 81 – Расчет истинных напряжений в отливке

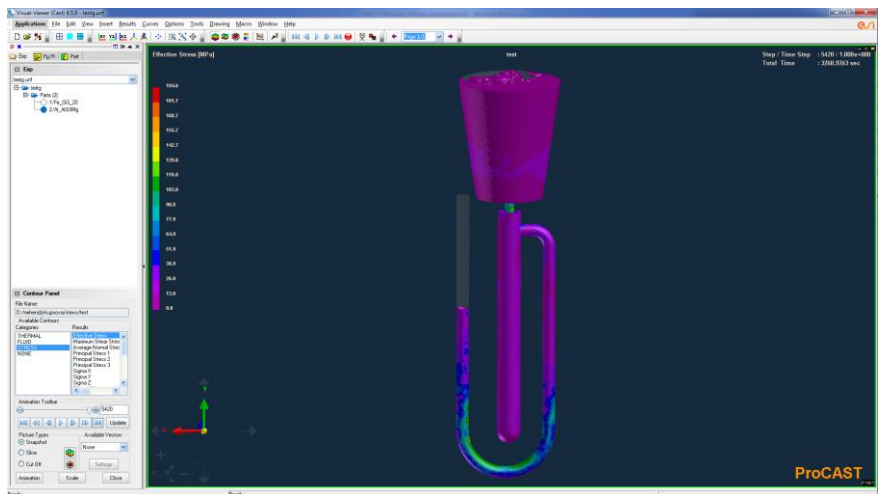


Рисунок 82 – Истинные напряжения в отливке

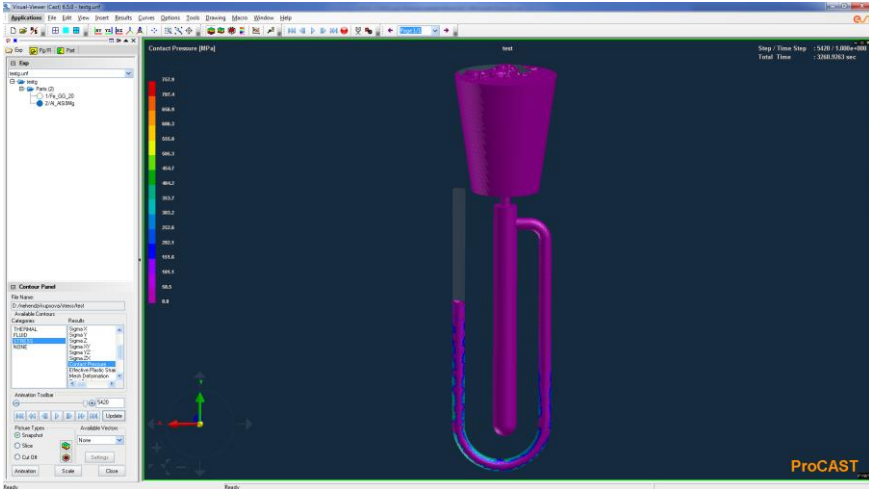


Рисунок 83 – Зоны контактного давления

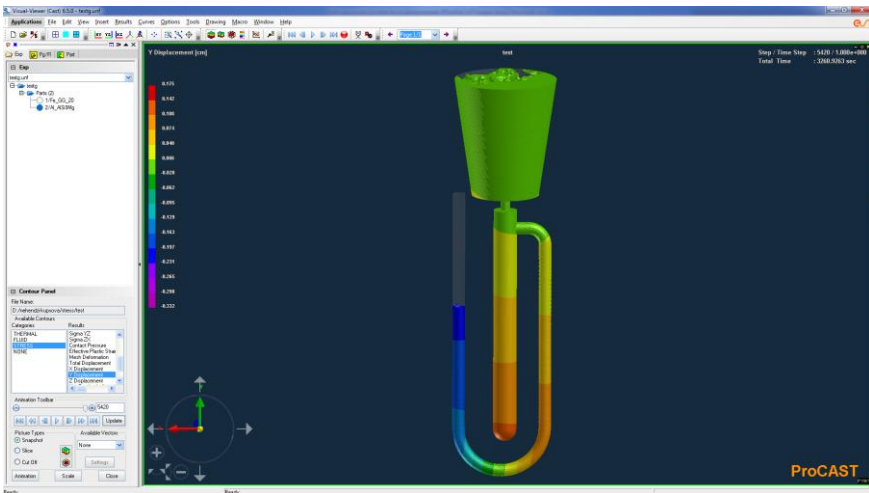


Рисунок 84 – Перемещение отливки вдоль оси Y

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Елисеев Ю.С. Технология производства авиационных газотурбинных двигателей [Текст]/Ю.С. Елисеев, А.Г. Бойцов, В.В. Крымов, Л.А. Хворостухин. – М.: Машиностроение, 2003. -512 с.
2. Фридляндер И.Н. Металловедение алюминия и его сплавов [Текст]/И.Н. Буйнов, М.Е. Дриц, И.Н. Луцкая, И.Н. Фридляндер. - М.: Металлургия, 1983. -279 с.
3. Липницкий А.М. Литье в металлические формы [Текст]/А.М. Липницкий. – Санкт-Петербург, «Машиностроение», 1969. -104 с.
4. Колобнев И.Ф. Справочник литейщика. Цветное литье из легких сплавов [Текст]/И.Ф. Колобнев, В.В. Крымов, А.В. Мельников. – М., «Машиностроение», 1974. -415 с.
5. Святкин Б.К. Литье в металлические кокили [Текст]/Б.К. Святкин. – М., «Высшая школа», 1974. -212 с.
6. Святкин Б.К. Производство отливок в кокили [Текст]/Б.К. Святкин, М.Б. Егорова. – М., «Высшая школа», 1989 -222 с.
7. Озеров В.А. Основы литейного производства [Текст]/В.А. Озеров, А.С. Муркина, М.Н. Сосненко. – М., «Высшая школа», 1987. -304 с.
8. Небогатов Ю.Е. Специальные виды литья [Текст]/Ю.Е. Небогатов, В.И. Тамаровский. – М. «Машиностроение», 1975. -175 с.
9. Тихомиров М.Д. Современный уровень теории литейных процессов [Текст]/М.Д. Тихомиров, А.А. Абрамов, В.П. Кузнецов//Литейное производство. - 1993. -№9.- С 3-5.
10. URL: <http://www.lvmflow.ru>. Дата обращения 10.10.2011.
11. Тихомиров М.Д. Модели литейных процессов в СМК ЛП «ПОЛИГОН» [Текст]//Сборник трудов ЦНИИМ, Литейные материалы, технология, оборудование, выпуск I. - Санкт-Петербург. -1995. -С. 21-26.
12. Тихомиров М.Д., Абрамов А.А., Кузнецов В.П. Современный уровень теории литейных процессов [Текст]/М.Д. Тихомиров, А.А. Абрамов, В.П. Кузнецов//Литейное производство.- 1993. -№9. С. 3-5.
13. Тихомиров М.Д. Система автоматизированного моделирования литейных процессов [Текст]/М.Д. Тихомиров//Литейное производство.- 1993. -№9. -С. 32-35.
14. Тихомиров М.Д. Модели литейных процессов в САМ ЛП «Полигон» [Текст]/М.Д. Тихомиров//Сборник трудов ЦНИИМ, Литейные материалы, технология, оборудование, выпуск I.- Санкт-Петербург. -1995 -С. 21-26.
15. Кузнецов В.П., Абрамов А.А., Тихомиров М.Д., Сабиров Д.Х. Компьютеризация и автоматизация процесса проектирования отливок и изготовления оснастки [Текст]/В.П. Кузнецов, А.А. Абрамов, М.Д. Тихомиров, Д.Х. Сабиров//Литейное производство.- №4. -1997. С. 45-47.