

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА
(национальный исследовательский университет)» (СГАУ)

**РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ МИКРО ДВС**

Электронное учебное пособие

Работа выполнена по мероприятию блока 2 «Развитие и повышение
эффективности научно-инновационной деятельности» и
блока 3 «Развитие информационной научно-образовательной среды и инфраструктуры»
Программы развития СГАУ на 2009 – 2018 годы
по проекту «Разработка технологии и методического обеспечения для создания виртуального
двигателя внутреннего сгорания и проектирование на этой основе ДВС мощностью 2 л.с.»
Соглашение № 2/13 от 03.06.2013 г.

САМАРА 2013

УДК 621.74 (075)+621.431.75(075)

ББК 34.6я7+39.55я7

P177

**Авторы: Смелов Виталий Геннадиевич,
Балякин Андрей Владимирович,
Вдовин Роман Александрович,
Кокарева Виктория Валерьевна,
Проничев Николай Дмитриевич**

Рецензент: Скуратов Д. Л., д-р техн. наук, профессор
Компьютерная верстка Р.А. Вдовин

Разработка виртуальных моделей изготовления основных деталей микро ДВС [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / В. Г. Смелов, А. В. Балякин, Р.А. Вдовин, В.В. Кокарева, Н.Д. Проничев; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (23,6 Мбайт). - Самара, 2013. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

Электронное учебное пособие предназначено для студентов факультета «Двигатели летательных аппаратов», обучающихся по специальности 160700. 65 – «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» (ГОС-2), в рамках дисциплин: «Инновационные технологии производства АД и ЭУ», курсового проекта в А семестре, для бакалавров 151900.62 – «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» (ФГОС – 3) изучающих дисциплины «Разработка оптимальных технологических процессов с использованием CAE/CAD/CAM/PDM – систем» в 8 семестре, «Разработка технологических процессов механической обработки и их реализация на виртуальных станках» в 8 семестре, для специалистов 160700.65 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» (Контрактная подготовка специалистов для ОАО "Кузнецов") (ФГОС – 3) изучающих дисциплины «Разработка оптимальных технологических процессов с использованием CAE/CAD/CAM/PDM – систем» в 8 семестре, «Разработка технологических процессов механической обработки и их реализация на виртуальных станках» в 8 семестре.

Разработано на кафедре производства двигателей летательных аппаратов.

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2013

РЕФЕРАТ

Страниц 179, рисунков 166, таблиц 3, библиографический список 7.

В учебном пособии рассмотрены вопросы проектирования отливок с помощью технологий быстрого прототипирования и механической обработки на современном высокопроизводительном оборудовании с ЧПУ деталей ДВС. Дано описание технологических процессов литья детали типа «Картер». Описаны примеры разработки и оптимизации управляющих программ токарных, фрезерных и токарно-фрезерных операций на станках с ЧПУ для деталей «Картер», «Резонансная труба» и «Кок»,

Рассмотрены вопросы выбора типа, геометрии и параметров литниково-питающих систем, способ формирования силиконовых форм и получения восковых моделей, основные принципы литья в гипсовые формы.

Для разработки управляющих программ выбраны режущие инструменты, рассчитаны режимы резания, оптимальные траектории движения инструмента и определены геометрические характеристики заготовок изготавливаемых деталей.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
Основные термины и понятия.....	9
Процесс создания управляющей программы	13
Загрузка модуля ADEM CAM/CAPP.....	13
Подготовка геометрии для составления управляющей программы токарной обработки на станке с ЧПУ	13
Открытие файла.....	14
Подготовка геометрии для составления управляющей программы токарно-фрезерной обработки на станке с ЧПУ	27
Открытие файла.....	27
Разработка управляющей программы фрезерной обработки на станке с ЧПУ корпусной детали ДВС	46
Разработка технологического процесса литья картера микро ДВС	55
Общие технологические требования для ТП литья.....	55
Толщина стенок и их сопряжения	56
Конструкция отливки.....	58
Размеры и масса отливок. Качество поверхности	62
Технология изготовления картера ДВС методом литья в кокиль.....	65
Общие сведения.....	65
Основные технологические операции	66
Достоинства и недостатки литья в кокиль	69
Технологические основы процесса	70
Проектирование литниково-питающих систем	75

Разработка технологического процесса изготовления картера ДВС методом литья в кокиль.....	77
Технология изготовления картера ДВС методом литья по выплавляемым моделям	79
Общие сведения.....	79
Особенности формирования и качество отливок	82
Эффективность производства и область применения.....	85
Проектирование литниково-питающих систем	86
Разработка технологического процесса изготовления картера ДВС методом литья по выплавляемым моделям.....	96
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЛИТЬЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ МАЛОЙ МОЩНОСТИ.....	116
Создание поверхностной сетки в модуле MechCast.....	131
Создание контактных, граничных и начальных условий в модуле PreCast .	148
Компилирование настроек и создание необходимых для расчета файлов в модуле DataCast.....	162
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	179

Введение

Развитие современного машиностроительного производства связано с ростом возможностей информационных технологий (ИТ) и функциональным наполнением станочного оборудования. Возможности ИТ развиваются бурными темпами и с появлением нового оборудования вливаются в машиностроительное производство через использование современных программных средств CAD\CAM\CAE.

В большей степени развитие современного машиностроительного производства проявляется в ходе технологической подготовки производства (ТПП), а так же при модернизации производства и переходе к новым технологиям производства.

Переход на более современное и технологичное оборудование ставит перед сотрудниками технологического отдела новые задачи. Применение высокотехнологичных станков с ЧПУ и использование современных ИТ меняет среду работы технологов и программистов, происходит их синтез, а их деятельность переносится из технологической среды (ТС) в информационно-технологическую среду (ИТС). На сегодняшний день ИТС включает в себя оборудование с ЧПУ, CAD\CAM\CAE систему, нормативно-справочную информацию, доступную в виде компьютерной базы знаний, локальную вычислительную сеть (ЛВС) и специалистов, обеспечивающих функционирование сложной информационно - технологической системы. В рамках этой среды осуществляется комплекс мероприятий, позволяющих получить из заготовки деталь наиболее рациональными и высокопроизводительными методами механической обработки на оборудовании с ЧПУ.

Сращивание потенциальных возможностей технолога и программиста при разработке УП на оборудовании с ЧПУ связано с необходимостью сокращать время выхода готового изделия со станка, что предполагает сокращение сроков ТПП. При переходе от ТС к ИТС перед технологом-программистом возникает проблема перехода от «бумажной» технологии к

«электронной» с применением ИТ. Технолог-программист получил мощный инструмент в виде CAD\CAM\CAE системы для компьютерного моделирования и постоянно пополняемую нормативно-справочную информацию по режущему инструменту, но при этом вопросы формирования операционной технологии (ОТ) не претерпели никаких существенных изменений. Поэтому технологам нужна методика разработки ОТ для решения ежедневных задач в условиях ИТС.

Модуль ADEM CAM предназначен для разработки управляющих программ (УП) для следующих видов технологического оборудования:

- Обрабатывающих центров
- Фрезерные станки
- Сверлильные и расточные станки
- Токарные станки
- Листопробивные прессы и штампы
- Электроэрозионные станки
- Оборудование для лазерной и газовой резки

и т.д.

Обработка детали в модуле проектируется на основе модели, построенной в модуле ADEM CAD. Команды обработки сначала формируются в стандартном виде, затем автоматически преобразуются в УП для конкретного станка в соответствии с правилами, заложенными в постпроцессоре.

Для создания постпроцессоров существует специальный модуль, называемый генератором постпроцессоров (ADEM GPP).

Ассоциативность геометрии детали и обработки позволяет при изменении геометрии автоматически получить новую УП.

Моделирование процесса обработки на экране позволяет проверить и отладить УП до ее выхода на станок.

Имеется возможность автоматического определения областей, оказавшихся недоступными для заданного инструмента, и обработки их инструментом меньшего диаметра.

Реализована многосторонняя обработка корпусных деталей (обработка зон).

Основные термины и понятия

Любую деталь, подлежащую обработке, можно представить набором конструктивных элементов (КЭ). Например, для фрезерной обработки это плоскость, колодец с островами, стенка и т.д.

Проектирование обработки в **ADEM CAM** выполняется поэлементно. Технологический объект (ТО) - это единица информации об обработке в модуле CAM, он содержит данные об обработке одного КЭ. Эти данные могут быть разделены на две части:

Информация о конструкции (место обработки):

1. тип конструктивного элемента (КОЛОДЕЦ, УСТУП и т. д.);
2. параметры конструктивного элемента (глубина, припуск на дне и др.);
3. геометрия конструктивного элемента (контуры).

Информация о технологии:

1. тип технологического перехода (ФРЕЗЕРОВАТЬ, ТОЧИТЬ и т.д.)
2. параметры технологических переходов (подача, частота вращения шпинделя и др.)

МАРШРУТ ОБРАБОТКИ – последовательность технологических объектов, который описывает что, как и в каком порядке будет обрабатываться:

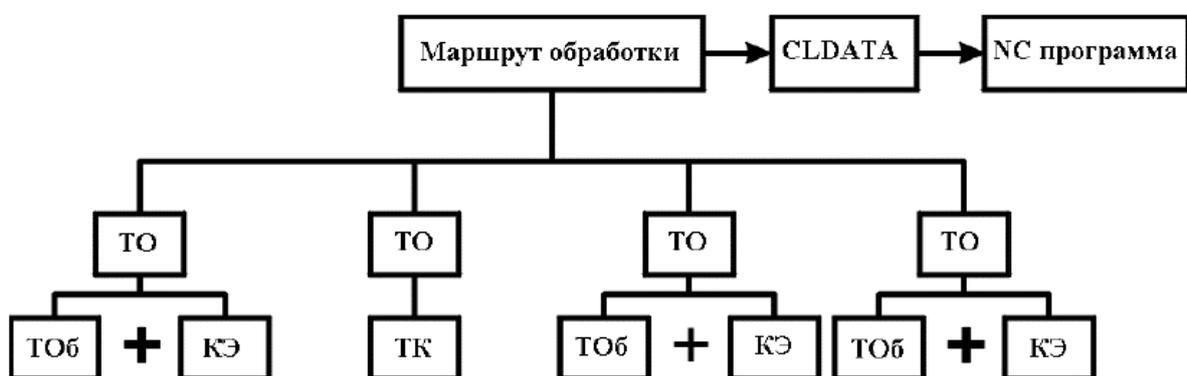


Рисунок 1 – Маршрут обработки

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ – каждый конструктивный элемент с определенным технологическим переходом или Технологическая команда.

КОНСТРУКТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ (КЭ) – элемент детали, обрабатываемый за один технологический переход. В модуле **ADEM CAM** существует 13 типов конструктивных элементов, которыми описывается любая геометрия будущего изделия. Порядок задания для всех конструктивных элементов одинаков: выбор типа конструктивного элемента, задание параметров конструктивного элемента, указание контура, определяющего границы конструктивного элемента. Конструктивный элемент - это геометрическая модель, на базе которой разрабатывается УП. Она создается в модуле двухмерного моделирования **ADEM CAD**.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОД (ТП) – набор технологических параметров, определяющих стратегию обработки одного конструктивного элемента. Для создания технологического перехода нужно выбрать тип технологического перехода, задать параметры перехода и параметры инструмента. Технологический объект, содержащий информацию об обработке одного КЭ, называется также парой переход/конструктивный элемент (ТП/КЭ).

Система сохраняет связь между технологическими объектами и геометрическими элементами, на базе которых они созданы. Если обрабатываемый контур модифицирован в **ADEM CAD**, то не нужно заново проектировать обработку, достаточно автоматический пересчитать траекторию инструмента со старыми параметрами конструктивных элементов и технологическими переходами. Это справедливо и для параметрических геометрических моделей.

Технологические объекты могут быть параметрически связаны между собой. Несколько технологических объектов могут быть созданы с одним конструктивным элементом. Если изменяется КЭ в одном из них, он автоматически меняется во всех остальных параметрических связанных технологических объектах.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КОМАНДА (ТК) - технологический объект не связанный с непосредственной обработкой (снятием металла). Кроме

вспомогательных технологических команд Вы можете определить некоторые общие команды: начало цикла, плоскость холостых ходов и т.д.

Технологические команды задают:

1. координаты начального положения инструмента и безопасной позиции;
2. плоскость холостых ходов при перемещении инструмента от одного КЭ к другому.

Также с их помощью можно включить в УП команды:

1. координаты начального положения инструмента и безопасной позиции;
2. плоскость холостых ходов при перемещении инструмента от одного КЭ к другому.

Маршрут обработки - это последовательность технологических объектов. При желании пользователь может изменить порядок технологических объектов, что приведет к изменению маршрута обработки.

После того, как создан маршрут обработки запускается команда **Процессор**, которая на основе информации, содержащейся в ТО, рассчитывает перемещения инструмента, необходимые для обработки детали. Эта последовательность перемещений инструмента называется траекторией движения инструмента.

Результатом работы команды **Процессор** является **CLDATA**. **CLDATA** – последовательность команд станку. **CLDATA** содержит команды перемещения инструмента, команды не связанные с перемещением инструмента (например, включение/выключение шпинделя, охлаждения), справочную информацию (название УП, модель станка и т.п.).

Результатом работы модуля **ADEM CAM** является управляющая программа (УП) - последовательность команд станку в формате его стойки ЧПУ. Команда Адаптер конвертирует **CLDATA** в УП соответствии с постпроцессором. Постпроцессор - это набор файлов, содержащих правила преобразования **CLDATA** в УП для конкретного станка. Для каждой модели станка/стойки ЧПУ в модуле **ADEM GPP** создается свой собственный постпроцессор.

УПРАВЛЯЮЩАЯ ПРОГРАММА (УП) - последовательность команд для определенного вида оборудования. Перед генерацией управляющей программы Вы должны рассчитать траекторию движения инструмента и выбрать конкретный вид оборудования (модель станка).

Проект - это один маршрут обработки. В одном файле можно создать несколько проектов (маршрутов обработки) и для каждого из них получить свою УП, таким образом получить на базе одной геометрической модели различные УП для различных станков.

Кроме того, один проект может быть вызван из другого. Так в системе может быть разработана УП с подпрограммами.

Процесс создания управляющей программы

Процесс создания управляющей программы условно делится на 7 действий:

1. Создание технологического перехода (фрезерование, сверление, точение и т.д.);
2. Повторение 1 действия для создания остальных ТП;
3. Если это необходимо, создание технологических команд (Начало Цикла, Плоскость Холостых ходов, Стоп и т.д.);
4. Создание заготовки;
5. Расчет траектории движения инструмента;
6. Моделирование процесса обработки;
7. Создание, просмотр и сохранение управляющей программы.

Загрузка модуля ADEM CAM/CAPP

Модуль ADEM CAM может быть загружен из модуля ADEM CAD.

Для загрузки ADEM CAM

- Выберите команду **ADEM CAM/CAPP** из меню "Модуль" (Рисунок 2).

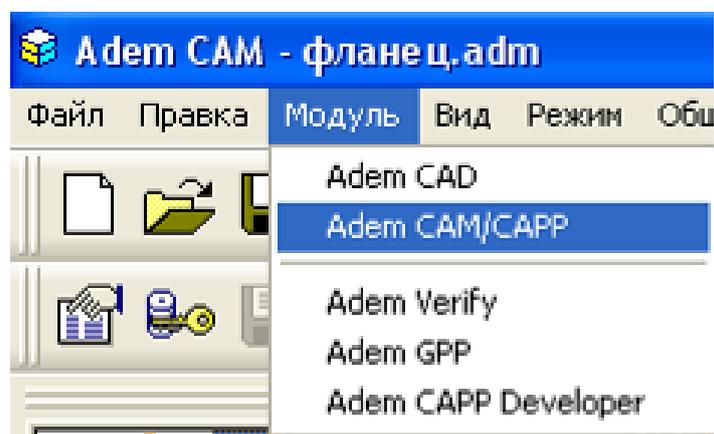


Рисунок 2 – Загрузка модуля ADEM CAM/CAPP

Подготовка геометрии для составления управляющей программы токарной обработки на станке с ЧПУ

Геометрия детали может быть создана в модуле **ADEM CAD** или импортирована из другой системы. Для работы в модуле **ADEM CAM** геометрия детали должна быть соответствующим образом доработана: задана

граница заготовки, задана система координат, произведена разборка (сборка) контура.

Открытие файла

Для открытия файла:

1. Выберите команду "Открыть" из меню "Файл" (Рисунок 3).
2. Выберите файл «ПД-2-СГАУ.01.035 - Резонансная труба (средняя часть)».

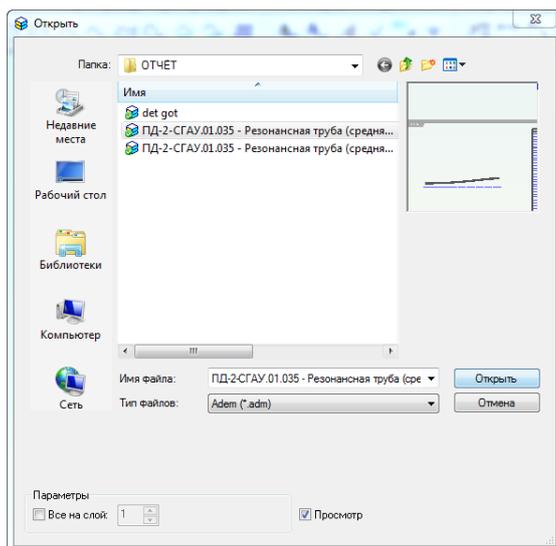


Рисунок 3 – Загрузка файла

Система **ADEM** загрузит выбранный файл. На экране появится деталь для обработки.

Создание маршрута обработки

Маршрут обработки этой детали состоит из следующих технологических объектов:

1. Заготовка;
2. Начало цикла;
3. Плоскость холостых ходов;
4. Расточить область с припуском 0,5 мм;
5. Расточить область.

Изменение положения начала системы координат

Изменим, положение начала системы координат.

Для изменения положения начала системы координат:

1. Притянитесь курсором к оси симметрии и правому торцу детали.

2. Нажмите клавишу **O** на клавиатуре (Рисунок 4).

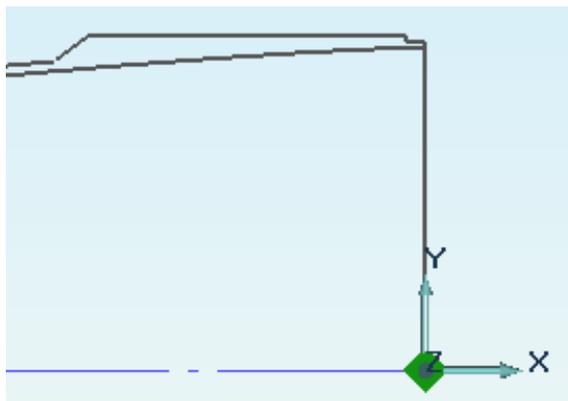


Рисунок 4 – Перенос системы координат

Задание контура заготовки

1. Начертим, контур заготовки. Для задания контура заготовки выполним следующие действия:
2. Нажмите кнопку  "Отрезок" на панели "2D Объекты".
3. Нажмите клавишу **X** на клавиатуре. Введите значение **0** в строке ввода значений и нажмите клавишу **Tab** на клавиатуре. Курсор переместиться в позицию координаты **Y**. Введите значение **5** в строке ввода значений и нажмите кнопку **Ok** или клавишу **Enter** на клавиатуре. Курсор переместиться в координаты **0** по оси **X** и на **5** мм по оси **Y**.
4. Нажмите левую кнопку мыши или клавишу **Пробел** на клавиатуре.
5. Нажмите клавишу **X** на клавиатуре. Введите значение **-280** в строке ввода значений и нажмите кнопку **Ok** или клавишу **Enter** на клавиатуре. Курсор переместиться на **-280** мм по оси **X**.
6. Нажмите левую кнопку мыши или клавишу **Пробел** на клавиатуре.
7. Нажмите клавишу **Y** на клавиатуре. Введите значение **35** в строке ввода значений и нажмите кнопку **Ok** или клавишу **Enter** на клавиатуре. Курсор переместиться на **35** мм по оси **Y** вверх.
8. Нажмите левую кнопку мыши или клавишу **Пробел** на клавиатуре.
9. Нажмите клавишу **X** на клавиатуре. Введите значение **0** в строке ввода значений и нажмите кнопку **Ok** или клавишу **Enter** на клавиатуре.
10. Нажмите левую кнопку мыши или клавишу **Пробел** на клавиатуре.

11.Нажмите кнопку **Esc** на клавиатуре или среднюю кнопку мыши.

Задание технологической команды "Заготовка"

1. Нажмите кнопку  "Заготовка" на панели инструментов "Технологические команды". Появится диалог "Заготовка".
2. Установите флажок "Тело вращения".
3. В поле **Xmin**, введите **-280**.
4. В поле **Xmax**, введите **0**.
5. В поле **Rmin**, введите **5**.
6. В поле **Rmax**, введите **35** (Рисунок 5).
7. Нажмите кнопку **ОК**. Будет создан технологический объект "Заготовка". Название ТО появится в дереве ТП.

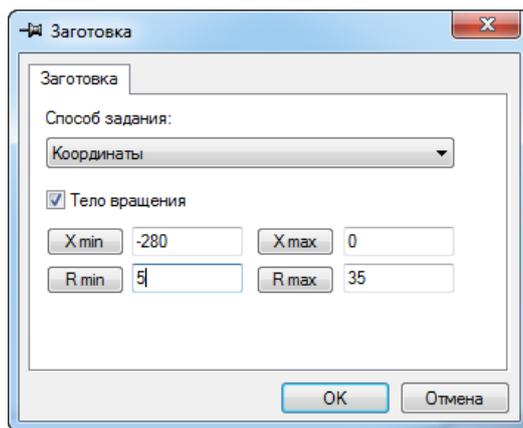


Рисунок 5 – Задание параметров заготовки

Задание положения начала цикла

Положение начала цикла задается командой "**Начало цикла**".

Начало цикла

Положение начала цикла – точка в пространстве, характеризующая положение настроечной точки инструмента перед началом обработки.

Для задания положения начала цикла:

1. Нажмите кнопку  "Начало цикла" на панели "Команды". Появится диалог "Начало цикла" (Рисунок 6).
2. В поле **Координата X**, введите значение **10**.

3. Нажмите кнопку **ОК**. Будет создан технологический объект "**Начало цикла**". Название ТО появится в дереве ТП.

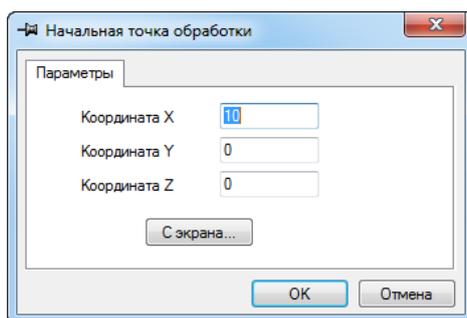


Рисунок 6 – Задание параметров начальной точки обработки

Задание плоскости холостых ходов

Положение плоскости холостых ходов задается командой "**Плоскость холостых ходов**".

Плоскость холостых ходов

Плоскость холостых ходов – плоскость, по которой выполняются холостые перемещения инструмента при переходе от одного конструктивного элемента к другому. Траектория движения инструмента рассчитывается по правилу:

- инструмент перемещается из исходной точки в плоскость холостых ходов по кратчайшему расстоянию
- в пределах плоскости холостых ходов в новую точку
- по кратчайшему расстоянию новую точку

Для задания положения плоскости холостых ходов

1. Нажмите кнопку  "**Плоскость холостых ходов**" на панели "**Команды**". Появится диалог "**Плоскость холостых ходов**".
2. Установите галочки в строчках "**Модальная команда**" и "**Вкл./выкл.**".
3. Выберите строчку "**параллельно плоскости XY**".
4. В строке "**Установить – Координата Z**" введите значение **1**.
5. Нажмите кнопку **ОК**. Будет создан технологический объект "**Плоскость холостых ходов**". Название ТО появится в дереве ТП.

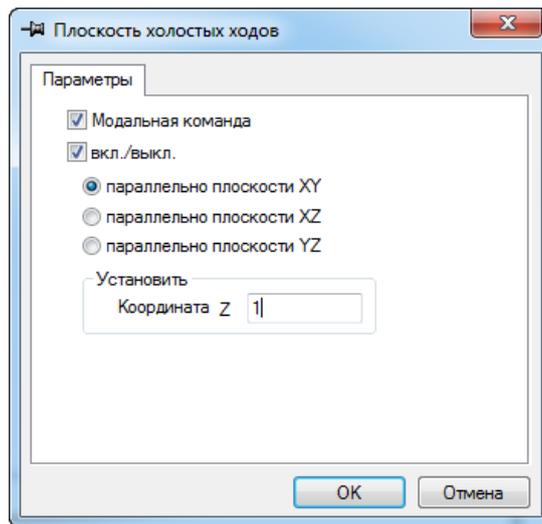


Рисунок 7 – Задание плоскости холостых ходов

Создание перехода Расточить

1. Нажмите и удерживайте кнопку **"Точить"** на панели **"Переходы"**. Переведите указатель мышки на кнопку **"Расточить"**. Загрузится диалог **"Расточить"** (Рисунок 8).
2. Во вкладке **"Параметры"** в строке **"Припуск"** поставьте значение **0,5**.
3. Выберите закладку **"Шпиндель/Подачи"** (Рисунок 9).
4. В поле **"N"**, введите значение 1000.
5. Выберите **"Вращение" – ПЧС**.
6. В поле **"Основная подача"**, значения **"мм/об" – 0,1**.

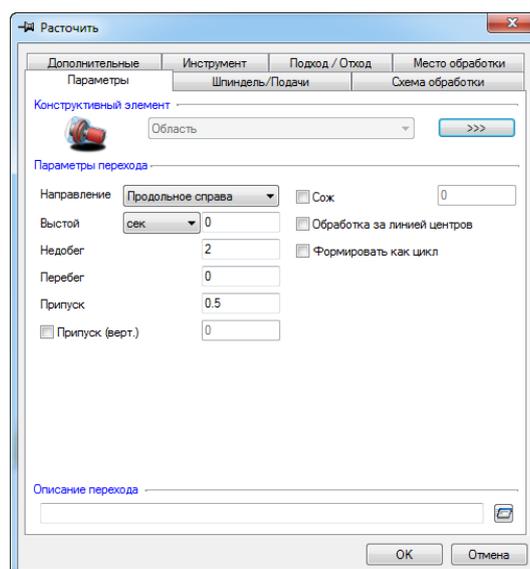


Рисунок 8 – Задание параметров токарной обработки

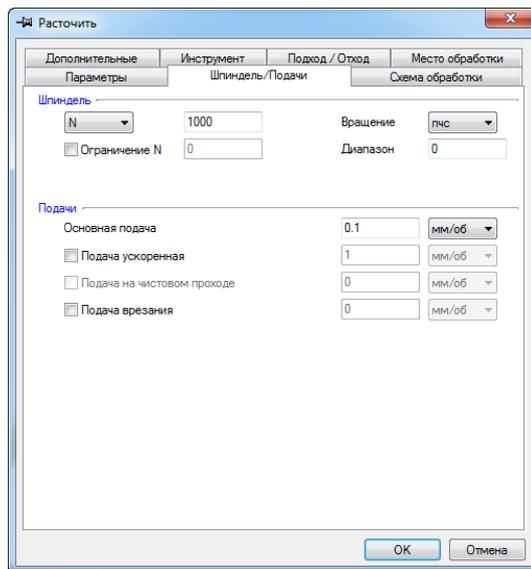


Рисунок 9 – Задание параметров токарной обработки. Вкладка Шпиндель/Подачи

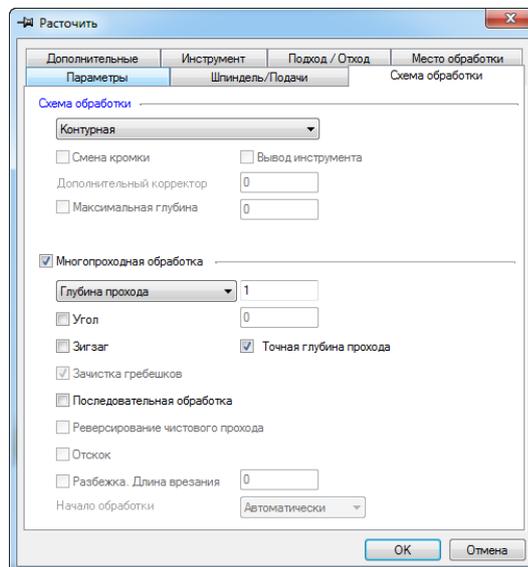


Рисунок 10 – Задание параметров токарной обработки. Вкладка Схема обработки

7. Выберите закладку "**Схема обработки**" (Рисунок 10).
8. Выберите схему обработки "**Контурная**".
9. Включите режим "**Многопроходной обработки**".
10. Выберите параметр "**Глубина прохода**", значение **1**.
11. Выберите закладку "**Инструмент**" (Рисунок 11).
12. Введите в поле "**Ширина**", значения **3**.
13. Выберите в поле "**Ориентация**", значение **270 град.**
14. Выберите закладку "**Место обработки**" (Рисунок 12).

15. Выберите "Параметры – Добавить – Контур".

16. Поставьте флажок 2D Элементы , выберите элемент указанный на рисунке

13. Нажмите кнопку **Esc** на клавиатуре или среднюю кнопку мыши.

17. Выберите "Параметры – Добавить – Контур заготовки".

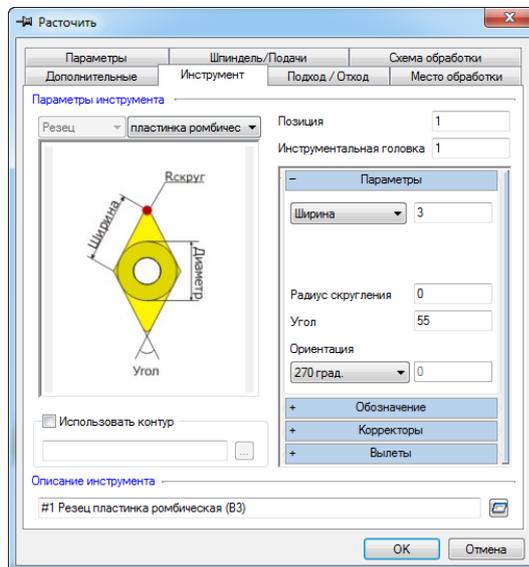


Рисунок 11 – Задание параметров токарной обработки. Вкладка Инструмент

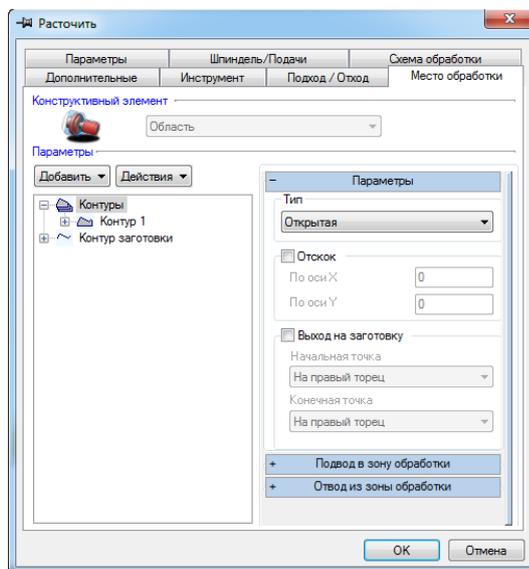


Рисунок 12 – Задание параметров токарной обработки. Вкладка Место обработки



Рисунок 13 – Выбор элемента обработки

18. Укажите отрезок расположенный внутри контура. Нажмите кнопку **Esc** на клавиатуре или среднюю кнопку мыши.
19. Нажмите кнопку **ОК**. В дереве ТП появится новый объект "**Расточить область**".
20. Наведите курсор мыши на появившийся объект "**Расточить область**" и нажмите правую кнопку мыши.
21. В появившемся меню выберите строчку "**Копировать**".
22. Наведите курсор мыши на строчку операции "**005 Программная ...**" и нажмите правую кнопку мыши.
23. В появившемся меню выберите строчку "**Вставить**".
24. Наведите курсор мыши на вновь появившийся объект "**Расточить область**" и нажмите дважды левую кнопку мыши.
25. Загрузиться окно задания параметров токарной обработки. В этом окне отредактируйте следующую позицию в поле "**Припуск**", введите значение – **0**. Во вкладке "**Схема обработки**" уберите галочку в строке многопроходная обработка. Во вкладке "**Место обработки**" удалите контур заготовки.
26. Нажмите кнопку **ОК** в окне задания параметров токарной обработки.

Расчет траектории движения инструмента и моделирование обработки

После определения маршрута обработки технолог может рассчитать траекторию движения инструмента. Расчет производится при помощи команды "**Процессор**". Результатом расчета является файл "**CLData**", который содержит последовательность команд для станка с **ЧПУ**. Можно рассчитать траекторию движения инструмента, как для всей операции, так и для одного текущего технологического перехода. После выполнения команды "**Процессор**" Вы можете просмотреть файл "**CLData**".

В системе **ADEM** существует несколько типов моделирования: полное моделирование, пошаговое моделирование, отображение траектории движения инструмента и моделирование с 3D-отображением инструмента.

Для объемного отображения траектории движения инструмента и моделирования обработки можно использовать любой верификатор обработки.

Расчет траектории движения инструмента

Для того чтобы рассчитать траекторию движения инструмента для всей операции, необходимо сделать текущим объект "**Операция**" и выполнить следующие действия:

1. Нажмите кнопку  "**Расчитать все объекты**" на панели "**Процессор**".
2. При выполнении команды "**Процессор**" будет показана траектория движения инструмента и появится диалог "**Процессор**" с сообщением "**Успешное завершение**" (Рисунок 14). После выполнения этой команды, будет сформирован файл **CLData**.

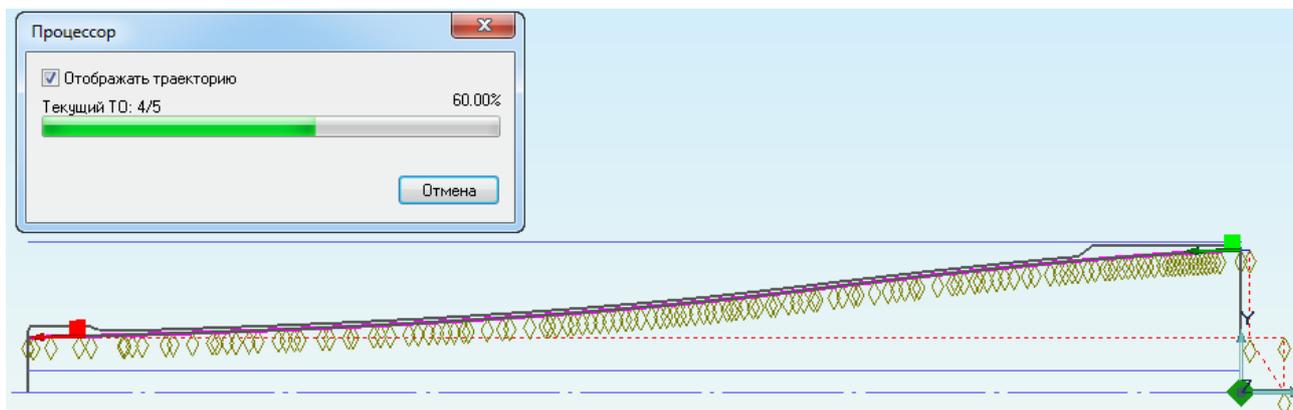


Рисунок 14 – Расчет траектории движения инструмента

3. Нажмите кнопку  "**Моделирование с 3D-отображением инструмента**" на панели "**Моделирование**". В диалоге "**Моделирование**" нажмите кнопку "**Старт**" .
4. Нажмите кнопку  "**Объемное моделирование обработки**" на панели инструментов "**Моделирование обработки**".
5. Нажмите кнопку  "**Старт**", результат обработки на рисунке 15.

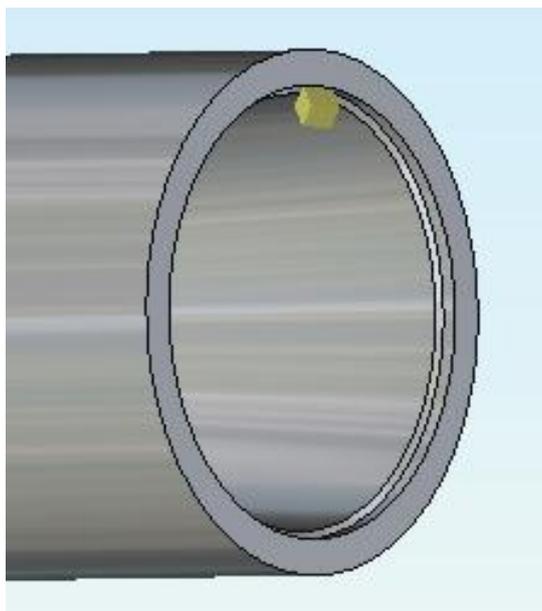


Рисунок 15 – Объемное моделирование процесса обработки

6. Нажмите кнопку  для завершения работы.

Просмотр файла CLData

Для того, чтобы посмотреть сформированный файл CLData нажмите кнопку  "Просмотр CLData" на панели "Постпроцессор".

Преобразование "CLData" в управляющую программу

Управляющая программа (УП) - последовательность команд для определенного вида оборудования. Перед генерацией управляющей программы необходимо рассчитать траекторию движения инструмента (получить файл "CLData") и выбрать конкретный вид оборудования (модель станка).

Файл "CLData" транслируется в управляющую программу при помощи команды "Адаптер". После трансляции "CLData" в УП появится диалог "Параметры" с параметрами: время обработки и длина управляющей программы в килобайтах.

1. В дереве ТП наведите курсор на наименование операции **"005 ПРОГРАММНАЯ"**.
2. Нажмите правую кнопку мыши, выберите **"Редактировать"**.
3. Нажмите кнопку  **"Станок"** (Рисунок 16).

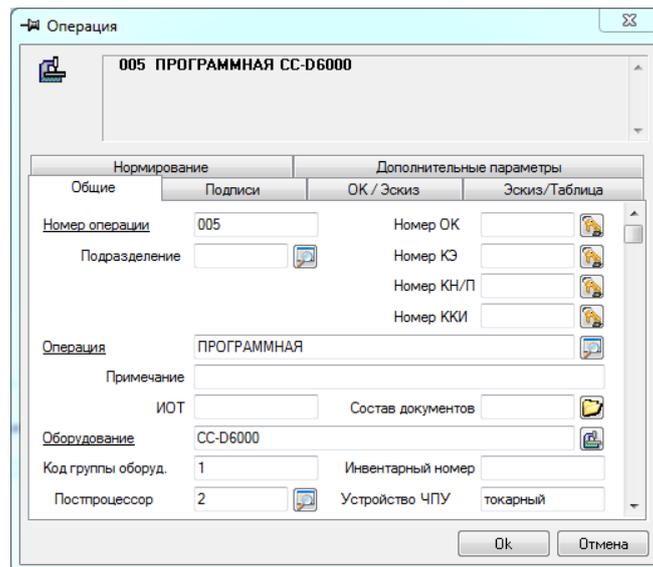


Рисунок 16 – Диалог Операция

4. Выберите Модель – **СС-D6000**. (Рисунок 17)
5. Нажмите – **Ок**.

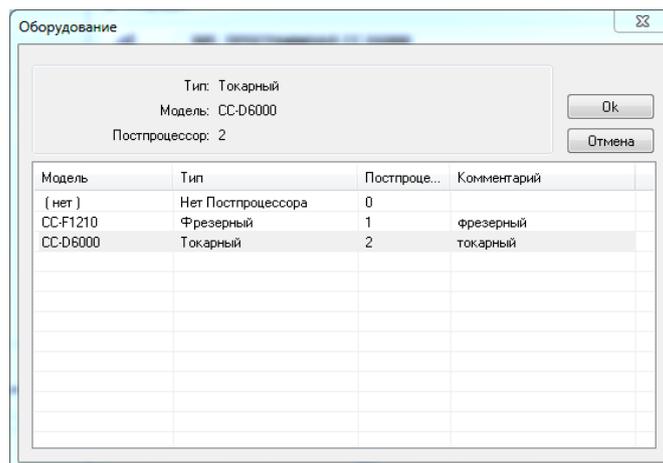


Рисунок 17 – Выбор оборудования

6. Нажмите – **Ок**.
7. Нажмите кнопку  **"Расчитать все объекты"**
8. Нажмите кнопку  **"Адаптер"** на панели **"Процессор"**.

Просмотр управляющей программы

После преобразования файла **"CLData"** в управляющую программу можно просмотреть текст УП.

Для просмотра УП нажмите кнопку  **"Просмотр управляющей программы"** на панели **"Постпроцессор"**.

Время обработки

При выполнении команды "Адаптер" вычисляется машинное время обработки для определенного вида оборудования и длина управляющей программы в метрах перфоленты.

Для просмотра этих параметров нажмите кнопку  **"Время и длина"** на панели **"Постпроцессор"**. Появится диалог **"Параметры"** со временем обработки и длиной УП (Рисунок 18).

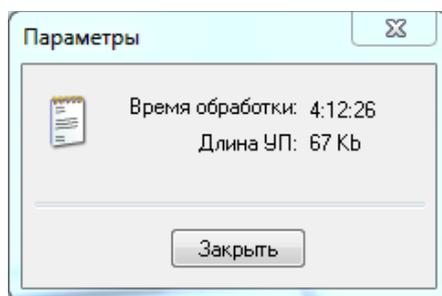


Рисунок 18 – Параметры управляющей программы

Сохранение управляющей программы

Сгенерированную управляющую программу можно сохранить в форматах <имя файла УП>.TAP и <имя файла УП>.TNC.

Для сохранения УП необходимо выполнить следующие действия:

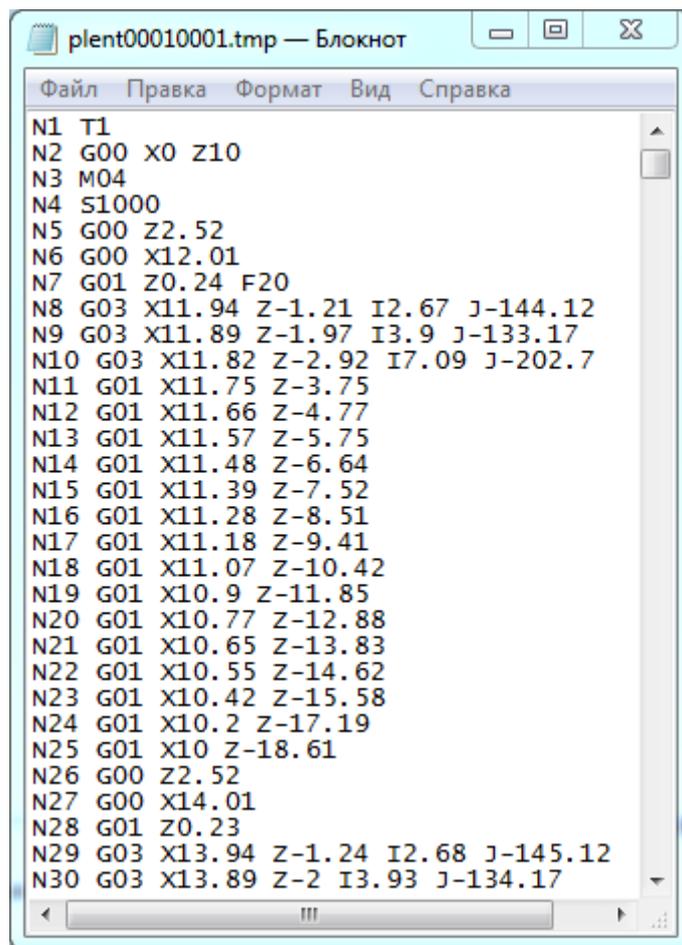
1. Выберите команду **"Сохранить управляющую программу как..."** из меню **"Файл"**.
2. Введите имя управляющей программы в поле **"Имя файла"**.
3. Выберите диск и каталог.
4. Нажмите кнопку **ОК**.

В указанном месте автоматически будет создано два файла: один в формате <имя файла УП>.TAP, другой в формате <имя файла УП>.TNC.

Другой вариант сохранения управляющей программы:

1. Нажмите кнопку  **"Просмотр управляющей программы"**.

2. Открывается программа "Блокнот" с текстом управляющей программы (Рисунок 19).



```
plent00010001.tmp — Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
N1 T1
N2 G00 X0 Z10
N3 M04
N4 S1000
N5 G00 Z2.52
N6 G00 X12.01
N7 G01 Z0.24 F20
N8 G03 X11.94 Z-1.21 I2.67 J-144.12
N9 G03 X11.89 Z-1.97 I3.9 J-133.17
N10 G03 X11.82 Z-2.92 I7.09 J-202.7
N11 G01 X11.75 Z-3.75
N12 G01 X11.66 Z-4.77
N13 G01 X11.57 Z-5.75
N14 G01 X11.48 Z-6.64
N15 G01 X11.39 Z-7.52
N16 G01 X11.28 Z-8.51
N17 G01 X11.18 Z-9.41
N18 G01 X11.07 Z-10.42
N19 G01 X10.9 Z-11.85
N20 G01 X10.77 Z-12.88
N21 G01 X10.65 Z-13.83
N22 G01 X10.55 Z-14.62
N23 G01 X10.42 Z-15.58
N24 G01 X10.2 Z-17.19
N25 G01 X10 Z-18.61
N26 G00 Z2.52
N27 G00 X14.01
N28 G01 Z0.23
N29 G03 X13.94 Z-1.24 I2.68 J-145.12
N30 G03 X13.89 Z-2 I3.93 J-134.17
```

Рисунок 19 – Текст управляющей программы

3. Выберите команду "Сохранить как ..." из меню "Файл".
4. Введите имя управляющей программы в поле "Имя файла".
5. Выберите диск и каталог.
6. Нажмите кнопку **ОК**.

Сохранение технологического процесса обработки

Нажмите кнопку "Сохранить"  на панели "Стандартная".

Подготовка геометрии для составления управляющей программы токарно-фрезерной обработки на станке с ЧПУ

Геометрия детали может быть создана в модуле **ADEM CAD** или импортирована из другой системы. Для работы в модуле **ADEM CAM** геометрия детали должна быть соответствующим образом доработана: задана граница заготовки, задана система координат, произведена разборка (сборка) контура.

Открытие файла

Для открытия файла:

1. Выберите команду "Открыть" из меню "Файл" (Рисунок 20).
2. Выберите файл «ПД-2-СГАУ.01.037 - Обтекатель».

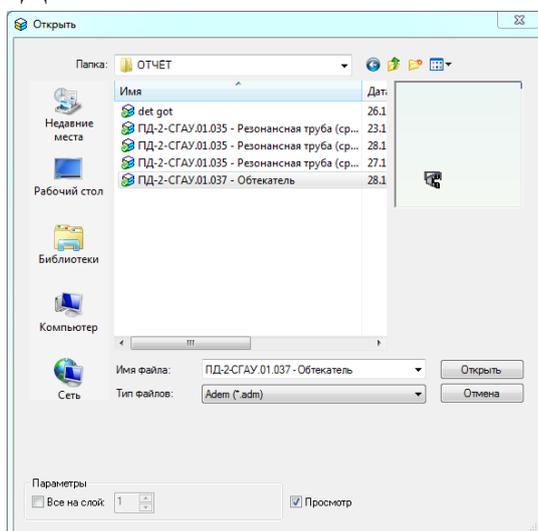


Рисунок 20 – Загрузка файла

Система **ADEM** загрузит выбранный файл. На экране появится деталь для обработки.

Создание маршрута обработки

Маршрут обработки этой детали состоит из следующих технологических объектов:

1. Заготовка;
2. Начало цикла;
3. Плоскость холостых ходов;
4. Подрезать торец;
5. Сверлить торец;

6. Расточить область;
7. Расточить область;
8. Фрезеровать стенку;
9. Фрезеровать стенку;
10. Точить область;
11. Точить область;
12. Отрезать торец.

Изменение положения начала системы координат

Изменим, положение начала системы координат.

Для изменения положения начала системы координат:

1. Притяните курсором к оси симметрии и правому торцу детали.
2. Нажмите клавишу **O** на клавиатуре (Рисунок 21).

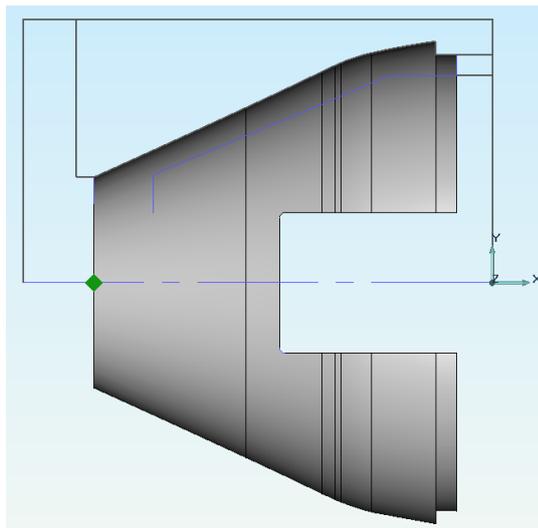


Рисунок 21 – Перенос системы координат

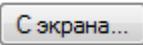
Задание контура заготовки

Начертим, контур заготовки в модуле CAD системы ADEM. Для задания контура заготовки выполним следующие действия:

1. Нажмите кнопку  "Отрезок" на панели "2D Объекты".
2. Нажмите клавишу **Home** на клавиатуре. Нажмите клавишу **Y** на клавиатуре. Введите значение **15** в строке ввода значений и нажмите кнопку **Ok** или клавишу **Enter** на клавиатуре. Курсор переместиться в координаты **0** по оси **X** и на **15** мм по оси **Y**.

3. Нажмите левую кнопку мыши или клавишу **Пробел** на клавиатуре дважды.
4. Нажмите клавишу **X** на клавиатуре. Введите значение **-26,5** в строке ввода значений и нажмите кнопку **Ok** или клавишу **Enter** на клавиатуре. Курсор переместиться на **-26,5** мм по оси **X**.
5. Нажмите левую кнопку мыши или клавишу **Пробел** на клавиатуре дважды.
6. Нажмите клавишу **Y** на клавиатуре. Введите значение **0** в строке ввода значений и нажмите кнопку **Ok** или клавишу **Enter** на клавиатуре. Курсор переместиться на **15** мм по оси **Y** вниз.
7. Нажмите левую кнопку мыши или клавишу **Пробел** на клавиатуре.
8. Нажмите кнопку **Esc** на клавиатуре или среднюю кнопку мыши.

Задание технологической команды "Заготовка"

1. Нажмите кнопку  "Заготовка" на панели инструментов "Технологические команды". Появится диалог "Заготовка" (Рисунок 22).
2. Выберите "Способ задания" заготовки "Контур".
3. Установите флажок "Тело вращения".
4. Нажмите кнопку , укажите начерченный ранее контур заготовки.
5. Нажмите кнопку **OK**. Будет создан технологический объект "Заготовка". Название ТО появится в дереве ТП.

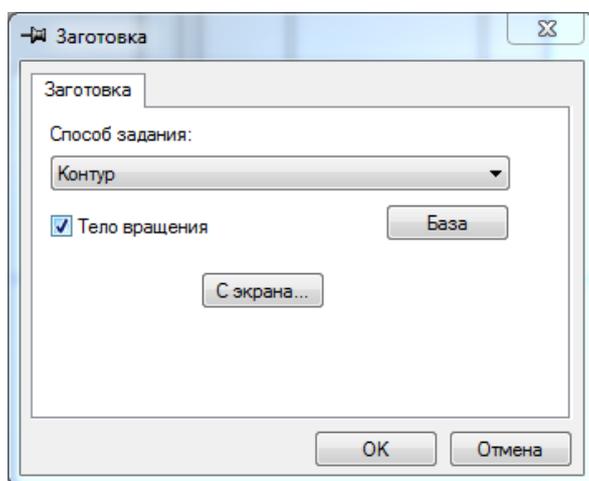


Рисунок 22 – Задание параметров заготовки

Задание положения начала цикла

Для задания положения начала цикла:

1. Нажмите кнопку  "**Начало цикла**" на панели "**Команды**".
Появится диалог "**Начало цикла**" (Рисунок 23).
2. В поле **Координата X**, введите значение **10**.
3. В поле **Координата Y**, введите значение **20**.
4. Нажмите кнопку **ОК**. Будет создан технологический объект "**Начало цикла**". Название ТО появится в дереве ТП.

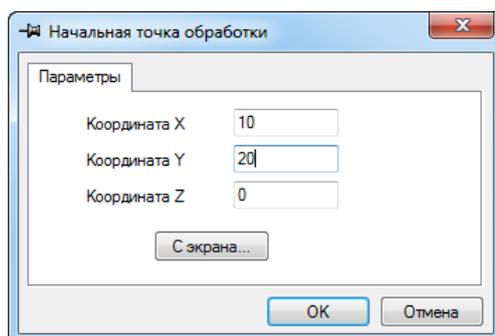


Рисунок 23 – Задание параметров начальной точки обработки

Задание плоскости холостых ходов

Для задания положения плоскости холостых ходов

1. Нажмите кнопку  "**Плоскость холостых ходов**" на панели "**Команды**". Появится диалог "**Плоскость холостых ходов**".
2. Установите галочки в строчках "**Модальная команда**" и "**вкл./выкл.**".
3. Выберите строчку "**параллельно плоскости XY**".
4. В строке "**Установить – Координата Z**" введите значение **1**.
5. Нажмите кнопку **ОК**. Будет создан технологический объект "**Плоскость холостых ходов**". Название ТО появится в дереве ТП.

Создание перехода **Подрезать торец**

1. Нажмите и удерживайте кнопку "**Точить**" на панели "**Переходы**". Переведите указатель мышки на кнопку "**Подрезать**". Загрузится диалог "**Подрезать**". (Рисунок 24).

2. Во вкладке "Параметры" в строке "Недобег" поставьте значение **1**.
3. В строке "Перебег" поставьте значение **1**.
4. Включите режим "Многопроходной обработки".
5. В строке "Глубина", значение **1**.
6. В строке "Проходов", значение **3**.
7. Выберите закладку "Шпиндель/Подачи".
8. В поле "N", введите значение **800**.
9. Выберите "Вращение" – ПЧС.
10. В поле "Основная подача", значения "мм/об" – **0,1**.

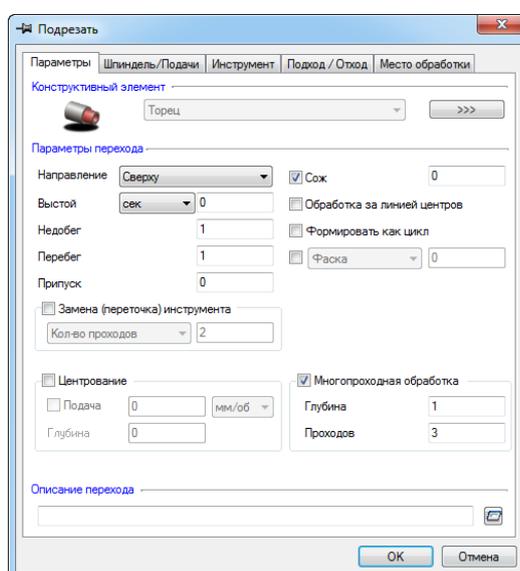


Рисунок 24 – Задание параметров токарной обработки

11. Выберите закладку "Инструмент" (Рисунок 25).
12. Выберите в поле "Резец", выберите "пластинка треугольная".
13. В поле строки "Позиция", значение **5**.
14. Введите в поле "Ширина", значение **5**.
15. В поле строки "Радиус скругления", значение **0,1**.
16. Выберите в поле "Ориентация", значение **0 град**.
17. Выберите закладку "Место обработки" (Рисунок 26).
18. Выберите "Параметры – Добавить – X торца".
19. Поставьте флажок **3D Грани**, выберите элемент указанный на рисунке 27.

Нажмите кнопку **Esc** на клавиатуре или среднюю кнопку мыши.

20. Выберите "Параметры – Добавить – D нач."

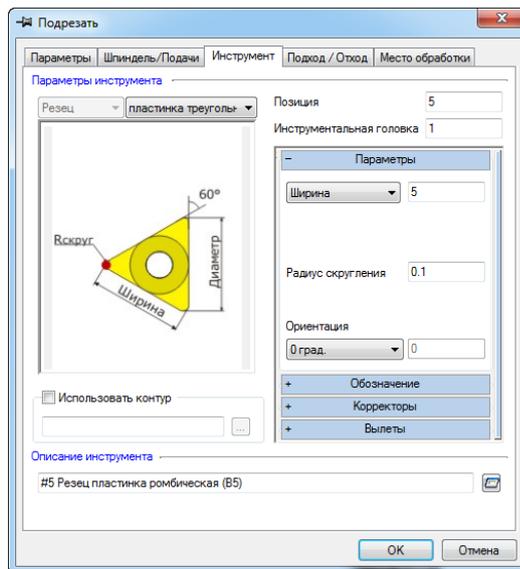


Рисунок 25 – Задание параметров токарной обработки. Вкладка Инструмент

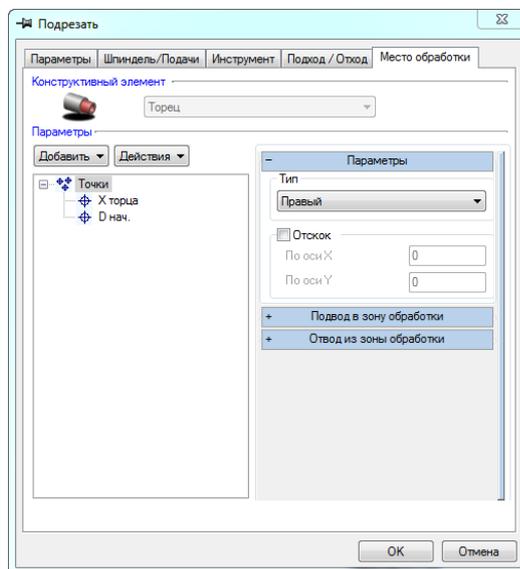


Рисунок 26 – Задание параметров токарной обработки. Вкладка Место обработки

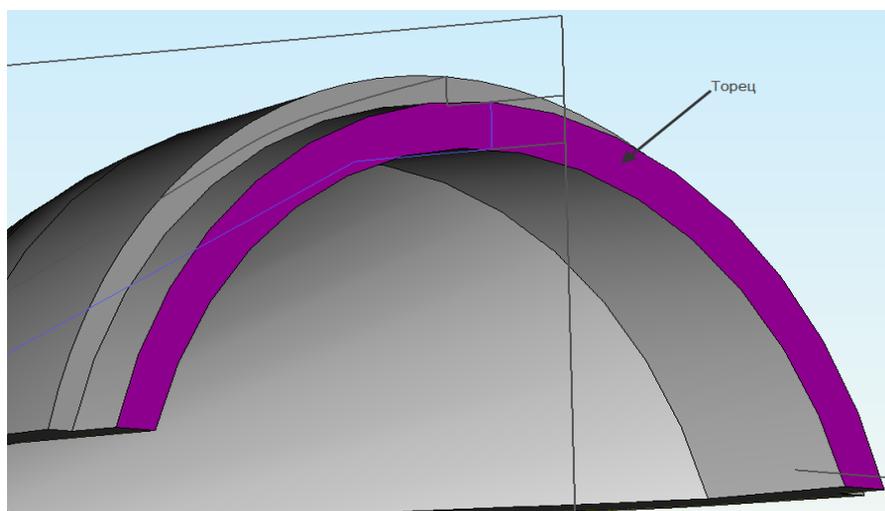


Рисунок 27 – Выбор элемента обработки

21.Поставьте флажок **2D Элементы** , выберите элемент указанный на рисунке

28. Нажмите кнопку **Esc** на клавиатуре или среднюю кнопку мыши.

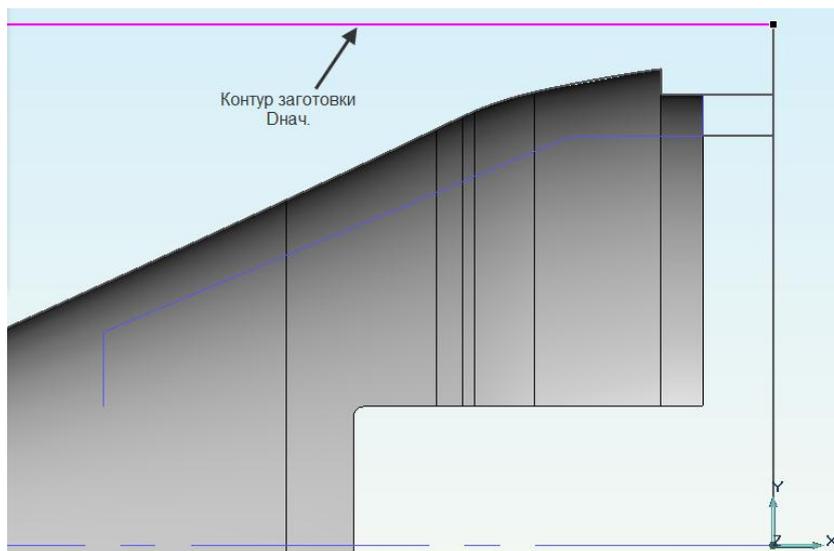


Рисунок 28 – Выбор элемента обработки

22.Нажмите кнопку **ОК**. В дереве ТП появится новый объект "**Подрезать торец**".

Создание перехода Сверлить торец

1. Нажмите и удерживайте кнопку "**Подрезать**" на панели "**Переходы**". Переведите указатель мышки на кнопку "**Сверлить**". Загрузится диалог "**Сверлить**". (Рисунок 29).
2. Во вкладке "**Параметры**" в строке "**N**", значение **2000**.

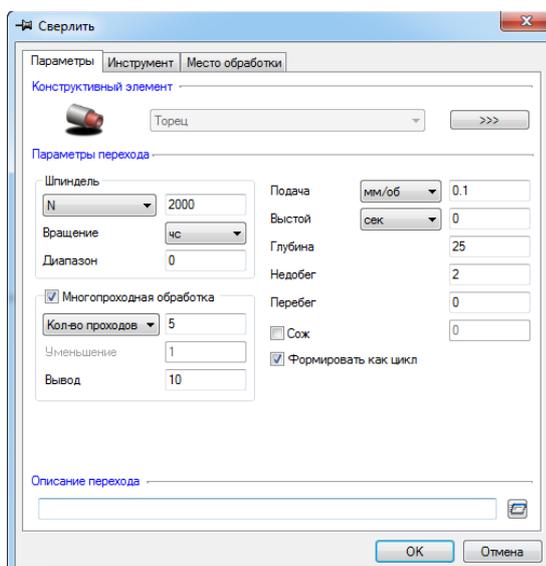


Рисунок 29 – Задание параметров сверления торца

3. В поле строки "**Подача**", значение **0,1**.
4. Включите режим "**Многопроходной обработки**".
5. В строке "**Кол-во проходов**", значение **5**.
6. В строке "**Вывод**", значение **10**.
7. В строке "**Глубина**", значение **25**.
8. В строке "**Недобег**", значение **2**.
9. Выберите закладку "**Инструмент**" (Рисунок 30).

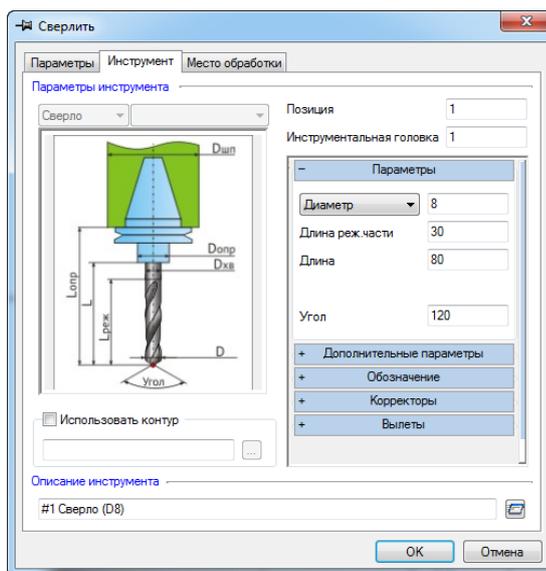


Рисунок 30 – Задание параметров сверления. Вкладка Инструмент

10. В поле строки "**Позиция**", значение **1**.
11. Введите в поле "**Диаметр**", значение **8**.
12. В поле строки "**Длина реж. части**", значение **30**.
13. Введите в поле "**Длина**", значение **80**.
14. Введите в поле "**Угол**", значение **120**.
15. Выберите закладку "**Место обработки**".
16. Выберите "**Параметры – Добавить – X торца**".
17. Поставьте флажок **3D Грани**, выберите элемент указанный на рисунке 27.
Нажмите кнопку **Esc** на клавиатуре или среднюю кнопку мыши.
18. Нажмите кнопку **ОК**. В дереве ТП появится новый объект "**Сверлить торец**".

Создание перехода Расточить

1. Нажмите и удерживайте кнопку **"Сверлить"** на панели **"Переходы"**.
Переведите указатель мышки на кнопку **"Расточить"**. Загрузится диалог **"Расточить"** (Рисунок 8).
2. Во вкладке **"Параметры"** в строке **"Припуск"** поставьте значение **0,5**.
3. Введите в поле **"Недобег"**, значение **2**.
4. Выберите закладку **"Шпиндель/Подачи"** (Рисунок 9).
5. В поле **"Шпиндель"** выберите **"Vc"**, введите значение **100**.
6. Выберите **"Вращение"** – ПЧС.
7. В поле **"Основная подача"**, значения **"мм/об"** – **0,1**.
8. Выберите закладку **"Схема обработки"** (Рисунок 10).
9. Выберите схему обработки **"Черновая"**.
10. Включите режим **"Многопроходной обработки"**.
11. Выберите параметр **"Глубина прохода"**, значение **0,5**.
12. Выберите закладку **"Инструмент"** (Рисунок 11).
13. Выберите в поле **"Резец"**, выберите **"пластинка ромбическая"**.
14. В поле строки **"Позиция"**, значение **3**.
15. Введите в поле **"Ширина"**, значение **3**.
16. В поле строки **"Радиус скругления"**, значение **0,1**.
17. Введите в поле **"Угол"**, значение **80**.
18. Выберите в поле **"Ориентация"**, значение **315 град**.
19. Выберите закладку **"Место обработки"** (Рисунок 12).
20. Выберите **"Параметры – Добавить – Контур"**.
21. Поставьте флажок **3D Грани**, выберите элемент указанный на рисунке 31.
Нажмите кнопку **Esc** на клавиатуре или среднюю кнопку мыши.
22. Нажмите кнопку **ОК**. В дереве ТП появится новый объект **" Расточить область"**.
23. Наведите курсор мыши на появившийся объект **"Расточить область"** и нажмите правую кнопку мыши.
24. В появившемся меню выберите строчку **"Копировать"**.

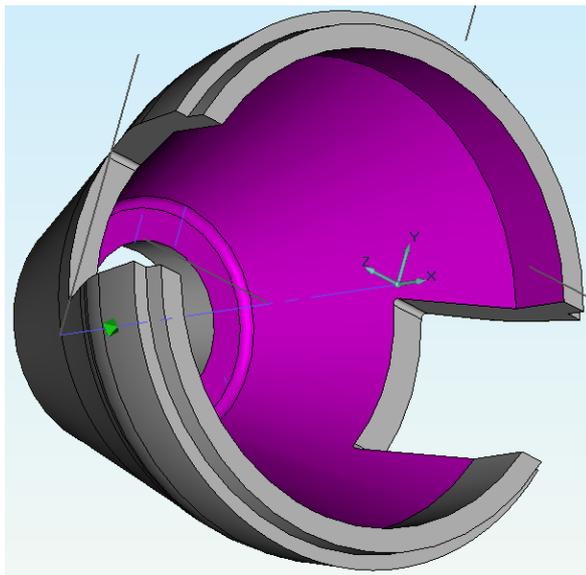


Рисунок 31 – Выбор контура обработки

25. Наведите курсор мыши на строчку операции **"005 Программная ..."** и нажмите правую кнопку мыши.
26. В появившемся меню выберите строчку **"Вставить"**.
27. Наведите курсор мыши на вновь появившийся объект **"Расточить область"** и нажмите дважды левую кнопку мыши.
28. Загрузится окно задания параметров токарной обработки. В этом окне отредактируйте следующую позицию в поле, введите значение – **0**. Во вкладке **"Схема обработки"** уберите галочку в строке многопроходная обработка и схему обработки поменяйте на **"Чистовая"**.
29. Нажмите кнопку **ОК** в окне задания параметров токарной обработки.

Создание перехода Фрезеровать 2.5X

1. Нажмите кнопку **"Фрезеровать 2.5X"** на панели **"Переходы"**. (Рисунок 32).
2. Выберите в блоке **"Конструктивный элемент"** из списка выберите **"Стенка"**.

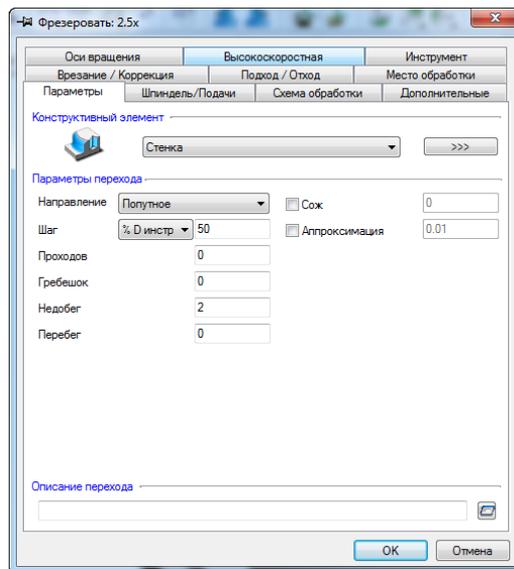


Рисунок 32 – Выбор параметров фрезерования

3. Выберите закладку "**Шпиндель/Подачи**" (Рисунок 33).
4. В поле "**N**", введите значение **1000**.
5. Выберите "**Вращение**" – **ЧС**.
6. В поле "**Основная подача**", значения "**мм/мин**" – **20**.

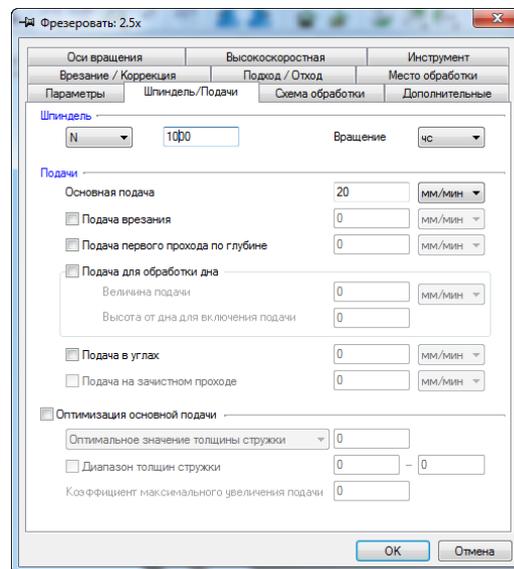


Рисунок 33 – Параметры фрезерования. Вкладка Шпиндель/Подача

7. Выберите закладку "**Схема обработки**" (Рисунок 34).
8. Выберите схему обработки "**Эквидистанта**".

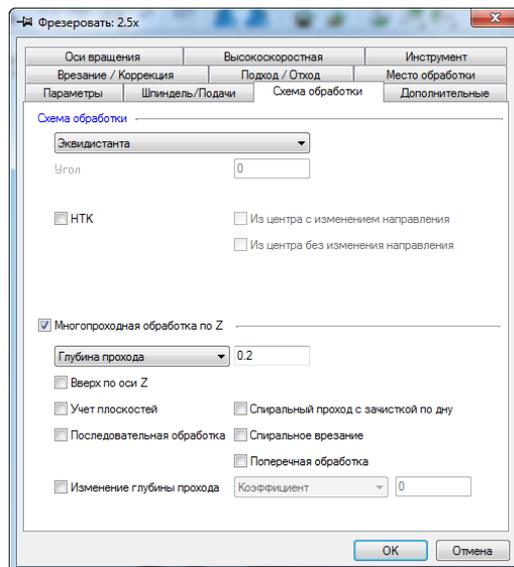


Рисунок 34 – Параметры фрезерования. Вкладка Схема обработки

9. Включите режим "**Многопроходной обработки**".

10. Выберите параметр "**Глубина прохода**", значение **0,2**.

11. Выберите закладку "**Инструмент**" (Рисунок 35).

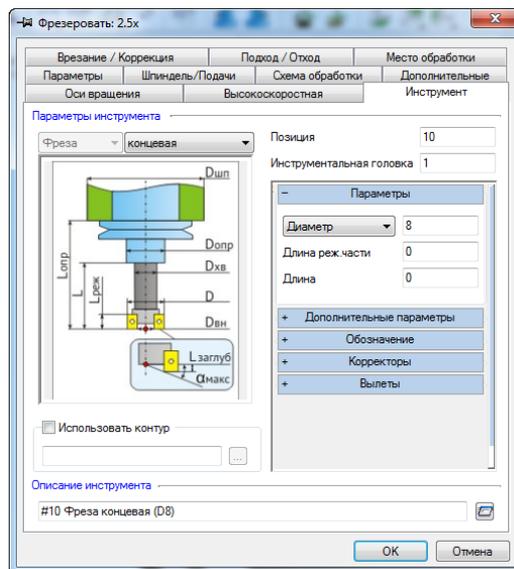


Рисунок 35 – Параметры фрезерования. Вкладка Инструмент

12. Выберите в поле "**Фреза**", выберите "**концевая**".

13. В поле строки "**Позиция**", значение **10**.

14. Введите в поле "**Диаметр**", значение **8**.

15. Выберите закладку "**Место обработки**" (Рисунок 36).

16. В поле строки "**Глубина**", значение **10**.

17. Выберите "**Параметры – Добавить – Контур**".

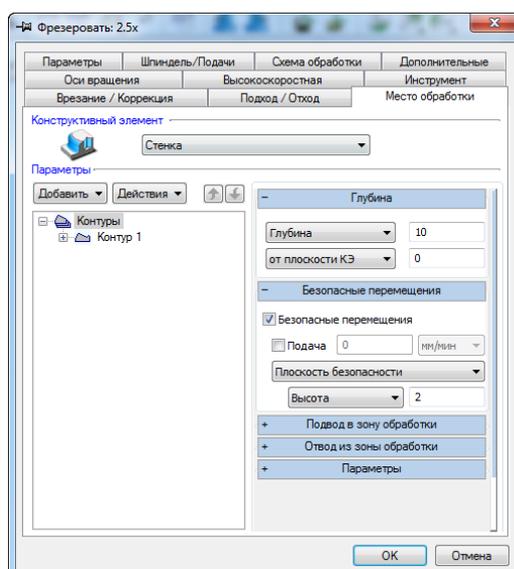


Рисунок 36 – Параметры фрезерования. Вкладка Место обработки

18. Поставьте флажок **2D Элементы** , выберите элемент указанный на рисунке
37. Нажмите кнопку **Esc** на клавиатуре или среднюю кнопку мыши.

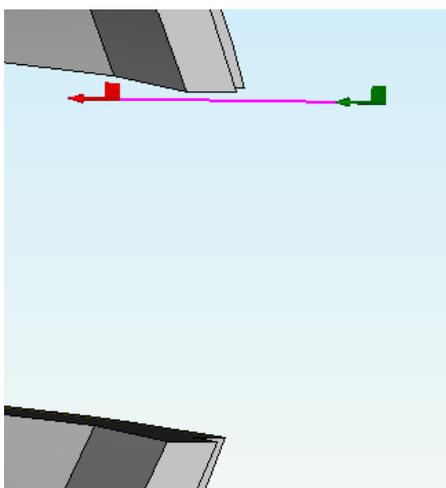


Рисунок 37 – Выбор контура обработки

19. Нажмите кнопку **ОК**. В дереве ТП появится новый объект "**Фрезеровать стенку**".
20. Наведите курсор мыши на появившийся объект "**Фрезеровать стенку**" и нажмите правую кнопку мыши.
21. В появившемся меню выберите строчку "**Копировать**".
22. Наведите курсор мыши на строчку операции "**005 Программная ...**" и нажмите правую кнопку мыши.

23. В появившемся меню выберите строчку "**Вставить**".
24. Наведите курсор мыши на вновь появившийся объект "**Фрезеровать стенку**" и нажмите дважды левую кнопку мыши.
25. Загрузится окно задания параметров токарной обработки. В этом окне отредактируйте вкладку "**Схема обработки**".
26. Нажмите кнопку "**Действие**" выберите строчку "**Удалить все**".
27. Выберите "**Параметры – Добавить – Контур**".
28. Выберите элемент паза с противоположной стороны детали. Нажмите кнопку **Esc** на клавиатуре или среднюю кнопку мыши.
29. Нажмите кнопку **ОК** в окне задания параметров фрезерной обработки.

Создание перехода **Точить область**

1. Нажмите и удерживайте кнопку "**Сверлить**" на панели "**Переходы**". Переведите указатель мышки на кнопку "**Точить**". Загрузится диалог "**Точить**". (Рисунок 38).

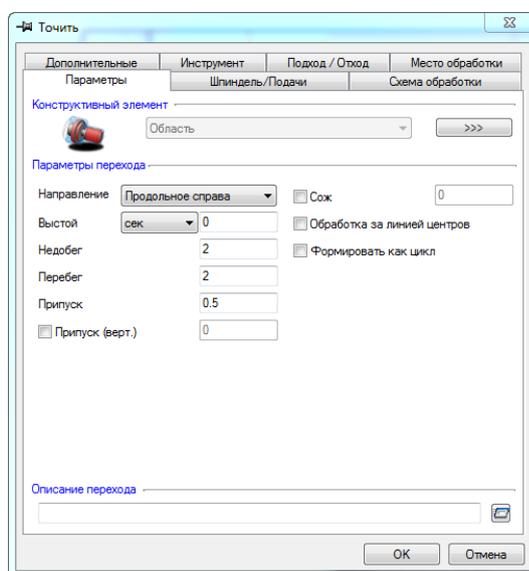


Рисунок 38 – Параметры токарной обработки. Вкладка Параметры

2. Во вкладке "**Параметры**" в строке "**Недобег**" поставьте значение **2**.
3. В строке "**Перебег**" поставьте значение **2**.
4. Выберите закладку "**Шпиндель/Подачи**" (Рисунок 9).
5. В поле "**N**", введите значение **1000**.

6. Выберите "**Вращение**" – ПЧС.
7. В поле "**Основная подача**", значения "**мм/об**" – **0,1**.
8. Выберите закладку "**Схема обработки**" (Рисунок 10).
9. Выберите схему обработки "**Чистовая**".
10. Включите режим "**Многопроходной обработки**".
11. Выберите параметр "**Глубина прохода**", значение **0,5**.
12. Выберите закладку "**Инструмент**" (Рисунок 11).
13. Выберите в поле "**Резец**", выберите "**пластинка ромбическая**".
14. В поле строки "**Позиция**", значение **7**.
15. Введите в поле "**Ширина**", значения **10**.
16. В поле строки "**Радиус скругления**", значение **0,1**.
17. Введите в поле "**Угол**", значение **35**.
18. Выберите в поле "**Ориентация**", значение **45 град.**
19. Выберите закладку "**Место обработки**" (Рисунок 12).
20. Выберите "**Параметры – Добавить – Контур**".
21. Поставьте флажок **3D Грани** , выберите элементы указанные на рисунке
39. Нажмите кнопку **Esc** на клавиатуре или среднюю кнопку мыши.

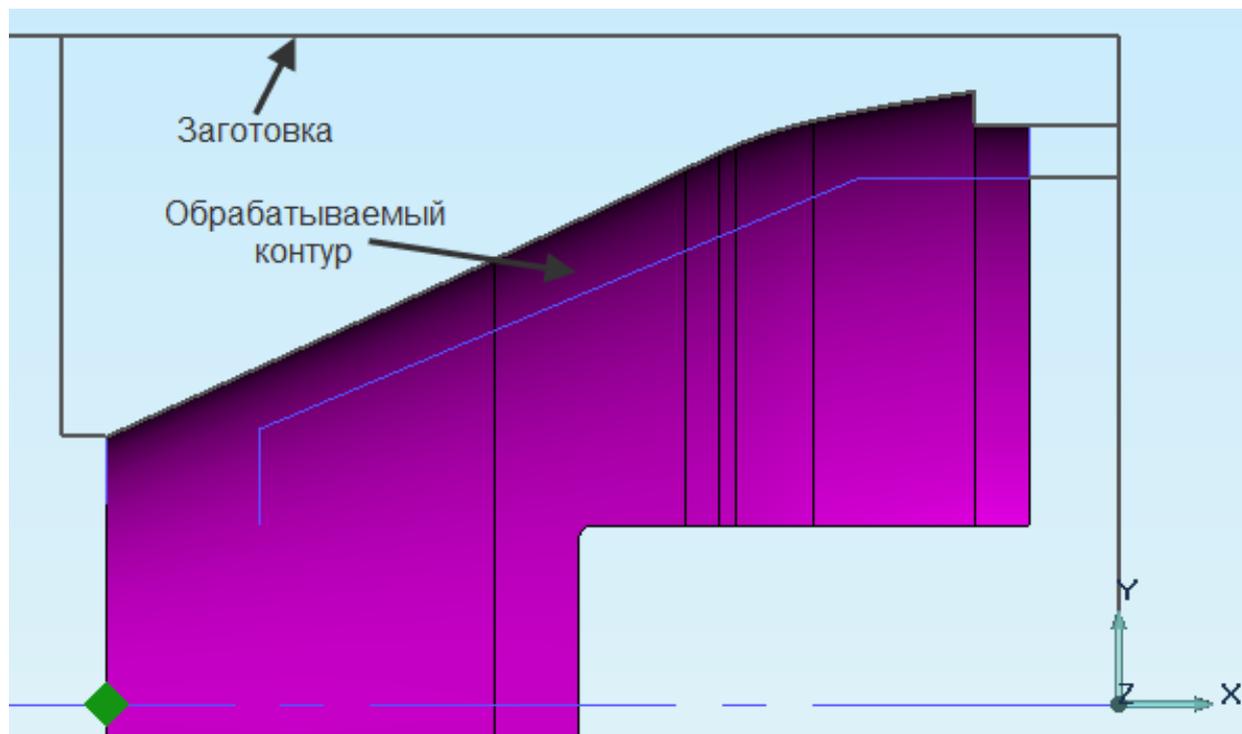


Рисунок 39 – Выбор элементов обработки

22. Выберите "**Параметры – Добавить – Контур заготовки**".
23. Поставьте флажок **2D Элементы** , выберите элемент указанный на рисунке
39. Нажмите кнопку **Esc** на клавиатуре или среднюю кнопку мыши.
24. Нажмите кнопку **ОК**. В дереве ТП появится новый объект "**Точить область**".
25. Наведите курсор мыши на появившийся объект "**Точить область**" и нажмите правую кнопку мыши.
26. В появившемся меню выберите строчку "**Копировать**".
27. Наведите курсор мыши на строчку операции "**005 Программная ...**" и нажмите правую кнопку мыши.
28. В появившемся меню выберите строчку "**Вставить**".
29. Наведите курсор мыши на вновь появившийся объект "**Точить область**" и нажмите дважды левую кнопку мыши.
30. Загрузиться окно задания параметров токарной обработки. В этом окне отредактируйте следующую позицию в поле, введите значение – **0**. Во вкладке "**Схема обработки**" уберите галочку в строке многопроходная обработка.
31. Нажмите кнопку **ОК** в окне задания параметров токарной обработки.

Создание перехода Точить область

1. Нажмите и удерживайте кнопку "**Точить**" на панели "**Переходы**". Переведите указатель мышки на кнопку "**Отрезать**". Загрузится диалог "**Отрезать**".
2. Во вкладке "**Параметры**" в строке "**Недобег**" поставьте значение **2**.
3. В строке "**Перебег**" поставьте значение **0**.
4. Выберите закладку "**Шпиндель/Подачи**".
5. В поле "**N**", введите значение **800**.
6. Выберите "**Вращение**" – ПЧС.
7. В поле "**Основная подача**", значения "**мм/об**" – **0,1**.

8. Выберите закладку "Инструмент".
9. Выберите в поле "Резец", выберите "пластинка прорезная".
10. В поле строки "Позиция", значение **11**.
11. Введите в поле "Ширина", значения **3**.
12. В поле строки "Радиус скругления", значение **0,3**.
13. Выберите в поле "Ориентация", значение **90 град.**
14. Выберите закладку "Место обработки".
15. Выберите "Параметры – Добавить – X торца".
16. Поставьте флажок 3D Грани, выберите торец элемента указанного на рисунке 40. Нажмите кнопку **Esc** на клавиатуре или среднюю кнопку мыши.

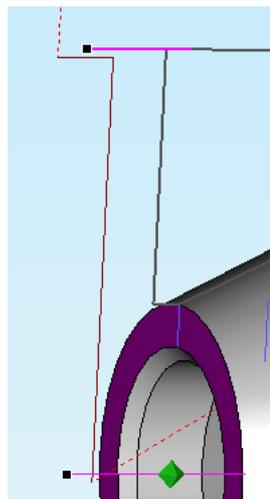


Рисунок 40 – Выбор элементов обработки

17. Выберите "Параметры – Добавить – Начальный диаметр".
18. Поставьте флажок 2D Элементы, выберите верхний контур заготовки указанный на рисунке 40. Нажмите кнопку **Esc** на клавиатуре или среднюю кнопку мыши.
19. Выберите "Параметры – Добавить – Конечный диаметр".
20. Нажмите кнопку **ОК**. В дереве ТП появится новый объект "Отрезать торец".

Расчет траектории движения инструмента

Для того чтобы рассчитать траекторию движения инструмента для всей операции, необходимо сделать текущим объект "**Операция**" и выполнить следующие действия:

1. Нажмите кнопку  "**Расчитать все объекты**" на панели "**Процессор**".
2. При выполнении команды "**Процессор**" будет показана траектория движения инструмента и появится диалог "**Процессор**" с сообщением "**Успешное завершение**". После выполнения этой команды, будет сформирован файл **CLData**.
3. Нажмите кнопку  "**Моделирование с 3D-отображением инструмента**" на панели "**Моделирование**". В диалоге "**Моделирование**" нажмите кнопку "**Старт**" .
4. Нажмите кнопку  "**Объемное моделирование обработки**" на панели инструментов "**Моделирование обработки**".
5. Нажмите кнопку  "**Старт**".
6. Нажмите кнопку  для завершения работы.

Просмотр файла CLData

Для того, чтобы посмотреть сформированный файл CLData нажмите кнопку  "**Просмотр CLData**" на панели "**Постпроцессор**".

Преобразование "CLData" в управляющую программу

1. В дереве ТП наведите курсор на наименование операции "**005 ПРОГРАММНАЯ**".
2. Нажмите правую кнопку мыши, выберите "**Редактировать**".
3. Нажмите кнопку  "**Станок**" (Рисунок 16).
4. Выберите Модель – **Traub TNA 300**.
5. Нажмите – **Ок**.
6. Нажмите – **Ок**.

7. Нажмите кнопку  "Рассчитать все объекты"

8. Нажмите кнопку  "Адаптер" на панели "Процессор".

Просмотр управляющей программы

Для просмотра УП нажмите кнопку  "Просмотр управляющей программы" на панели "Постпроцессор".

Сохранение управляющей программы

Для сохранения УП необходимо выполнить следующие действия:

1. Нажмите кнопку  "Просмотр управляющей программы".
2. Открывается программа "Блокнот" с текстом управляющей программы.
3. Выберите команду "Сохранить как ..." из меню "Файл".
4. Введите имя управляющей программы в поле "Имя файла".
5. Выберите диск и каталог.
6. Нажмите кнопку **ОК**.

Сохранение технологического процесса обработки

Нажмите кнопку "Сохранить"  на панели "Стандартная".

Разработка управляющей программы фрезерной обработки на станке с ЧПУ корпусной детали ДВС

Задание положения начала цикла

1. Нажмите кнопку  "**Начало цикла**" на панели "**Команды**". Появится диалог "**Начало цикла**".
2. В поле **Координата Z**, введите значение **10**.
3. Нажмите кнопку **ОК**. Будет создан технологический объект "**Начало цикла**". Название ТО появится в дереве ТП.

Задание плоскости холостых ходов

1. Нажмите кнопку  "**Плоскость холостых ходов**" на панели "**Команды**". Появится диалог "**Плоскость холостых ходов**".
2. Установите галочки в строчках "**Модальная команда**" и "**вкл./выкл.**"
3. Выберите строчку "**параллельно плоскости XY**".
4. В строке "**Установить – Координата Z**" введите значение **1** (Рисунок 41).
5. Нажмите кнопку **ОК**. Будет создан технологический объект "**Плоскость холостых ходов**". Название ТО появится в дереве ТП.

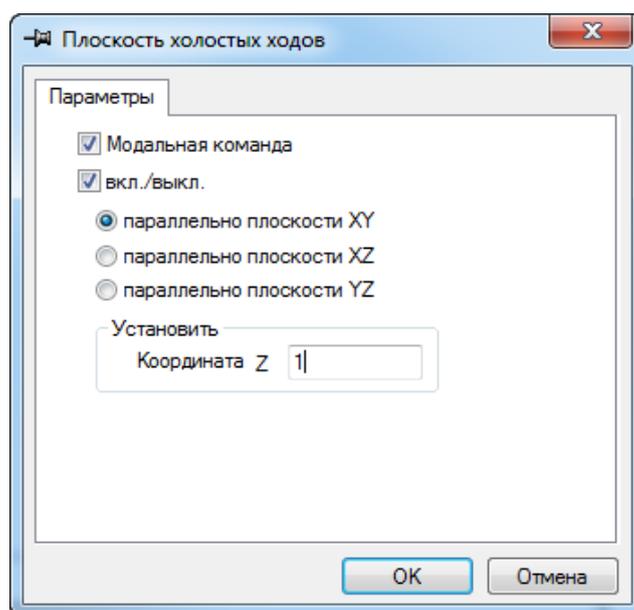


Рисунок 41 – Задание плоскости холостых ходов

Создание перехода Фрезеровать

1. Нажмите кнопку **"Фрезеровать 2.5X"** на панели **"Переходы"**. (Рисунок 42).
2. Выберите в блоке **"Конструктивный элемент"** из списка **"Плоскость"**.

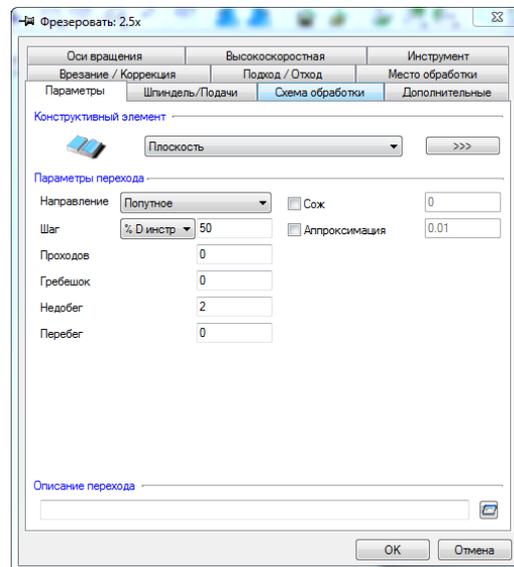


Рисунок 42 – Выбор параметров фрезерования

3. Выберите закладку **"Шпиндель/Подачи"** (Рисунок 33).
 4. В поле **"N"**, введите значение **3000**.
 5. Выберите **"Вращение"** – **ЧС**.
 6. В поле **"Основная подача"**, значения **"мм/мин"** – **20**.
 7. Выберите закладку **"Инструмент"**
 8. Выберите в поле **"Фреза"**, выберите **"концевая"**.
 9. В поле строки **"Позиция"**, значение **1**.
 10. Введите в поле **"Диаметр"**, значение **10**.
 11. Выберите закладку **"Место обработки"**.
 12. В поле строки **"Глубина"**, значение **0**.
 13. Выберите **"Параметры – Добавить – Контур"**.
 14. Поставьте флажок **3D Ребра**, выберите элемент указанный на рисунке
43. Нажмите кнопку **Esc** на клавиатуре или среднюю кнопку мыши.

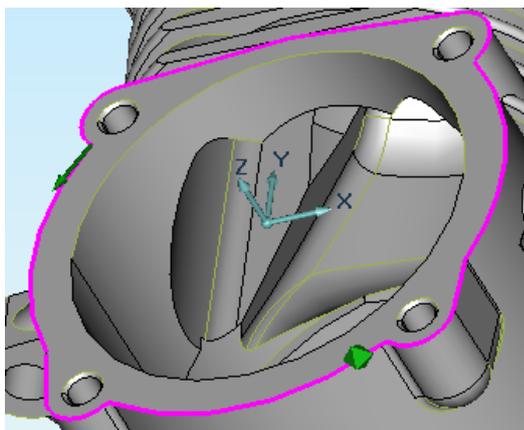


Рисунок 43 – Выбор контура обработки

- 15.Нажмите кнопку **ОК**. В дереве ТП появится новый объект "**Фрезеровать плоскость**".
- 16.Наведите курсор мыши на появившийся объект "**Фрезеровать стенку**" и нажмите правую кнопку мыши.
- 17.В появившемся меню выберите строчку "**Копировать**".
- 18.Наведите курсор мыши на строчку операции "**005 Программная ...**" и нажмите правую кнопку мыши.
- 19.В появившемся меню выберите строчку "**Вставить**".
- 20.Наведите курсор мыши на вновь появившийся объект "**Фрезеровать плоскость**" и нажмите дважды левую кнопку мыши.
- 21.Загрузиться окно задания параметров фрезерной обработки. В этом окне отредактируйте вкладку "**Схема обработки**".
- 22.Нажмите кнопку "**Действие**" выберите строчку "**Удалить все**".
- 23.Выберите "**Параметры – Добавить – Контур**".
- 24.Выберите элемент указанный на рисунке 44. Нажмите кнопку **Esc** на клавиатуре или среднюю кнопку мыши.
- 25.Выберите в блоке "**Конструктивный элемент**" из списка "**Колодец**".
- 26.Выберите "**Параметры – Добавить – Плоскость, определяющую глубину КЭ**".

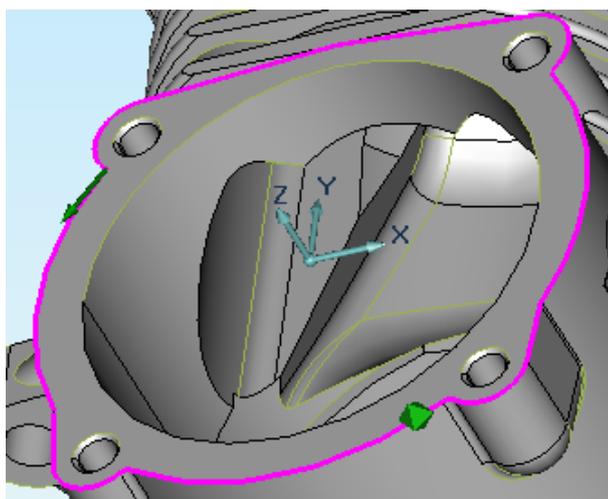


Рисунок 44 – Выбор контура обработки

27. Выберите элемент указанный на рисунке 45. Нажмите кнопку **Esc** на клавиатуре или среднюю кнопку мыши.

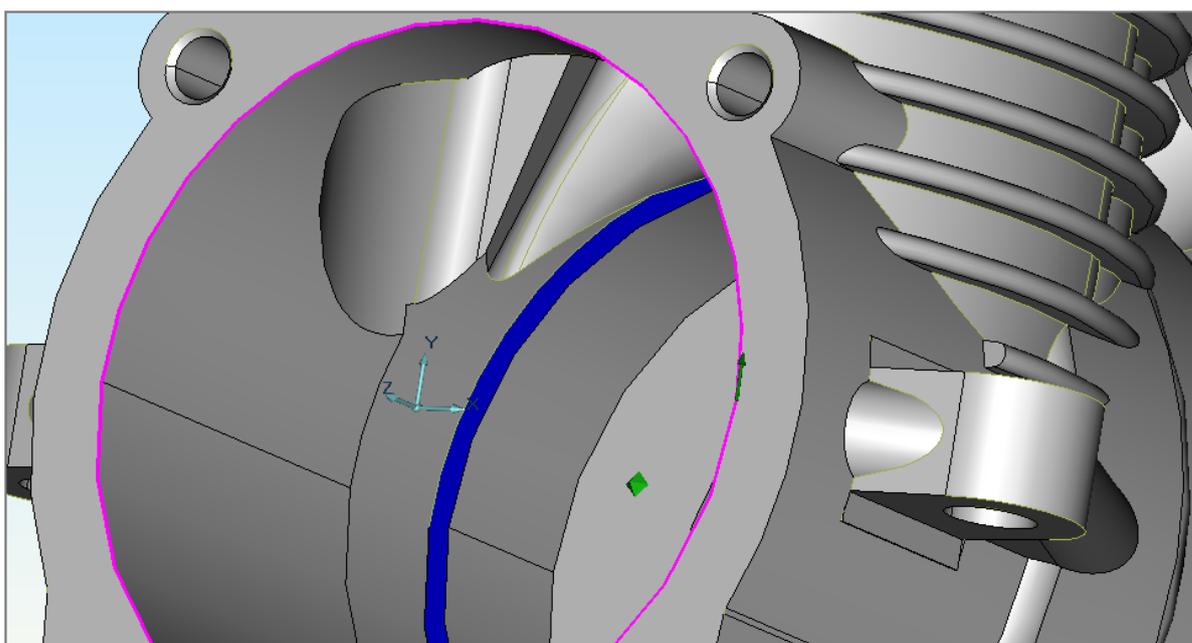


Рисунок 45 – Выбор плоскости определяющую глубину фрезеровки

28. Нажмите кнопку **OK** в окне задания параметров фрезерной обработки.

29. В дереве ТП появится новый объект "**Фрезеровать колодец**".

30. Наведите курсор мыши на появившийся объект "**Фрезеровать колодец**" и нажмите правую кнопку мыши.

31. В появившемся меню выберите строчку "**Копировать**".

32. Наведите курсор мыши на строчку операции "**005 Программная ...**" и нажмите правую кнопку мыши.
33. В появившемся меню выберите строчку "**Вставить**".
34. Наведите курсор мыши на вновь появившийся объект "**Фрезеровать колодец**" и нажмите дважды левую кнопку мыши.
35. Загрузится окно задания параметров фрезерной обработки. В этом окне отредактируйте вкладку "**Схема обработки**".
36. Нажмите кнопку "**Действие**" выберите строчку "**Удалить все**".
37. Выберите "**Параметры – Добавить – Контур**".
38. Выберите элемент указанный на рисунке 46. Нажмите кнопку **Esc** на клавиатуре или среднюю кнопку мыши.

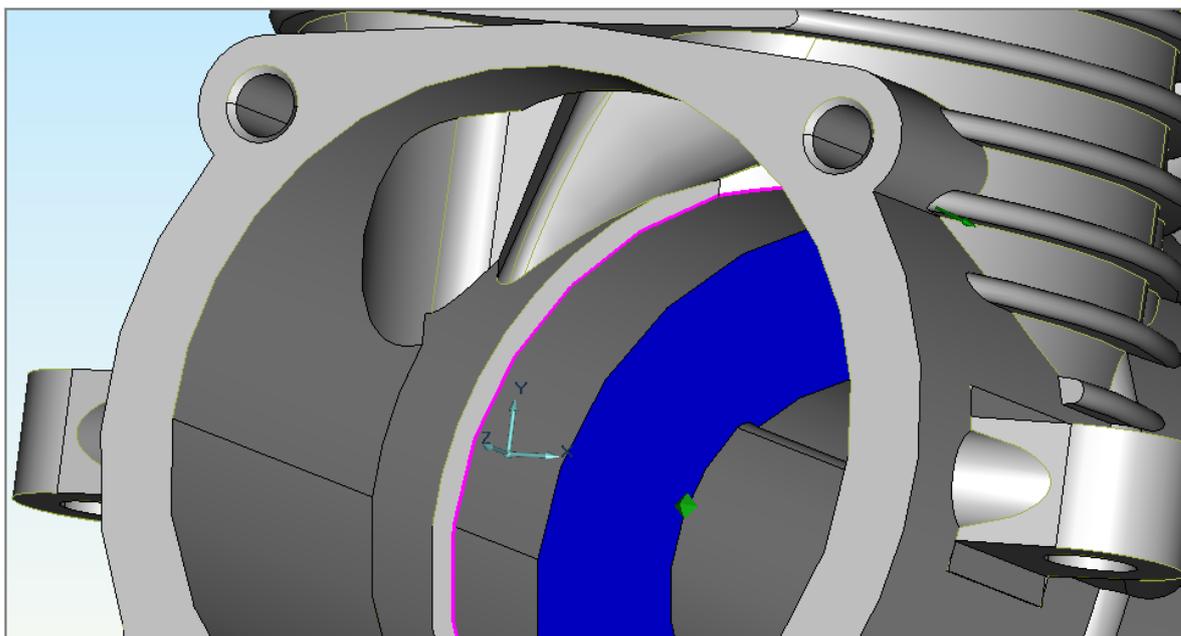


Рисунок 46 – Выбор контура и плоскости определяющую глубину обработки

39. Выберите "**Параметры – Добавить – Плоскость, определяющую глубину КЭ**".
40. Выберите элемент указанный на рисунке 46. Нажмите кнопку **Esc** на клавиатуре или среднюю кнопку мыши.
41. Нажмите кнопку **ОК** в окне задания параметров фрезерной обработки.
42. В дереве ТП появится новый объект "**Фрезеровать колодец**".

43. Нажмите и удерживайте кнопку "**Сверлить**" на панели "**Переходы**".
Переведите указатель мышки на кнопку "**Центровать**". Загрузится диалог "**Центровать**" (Рисунок 47).

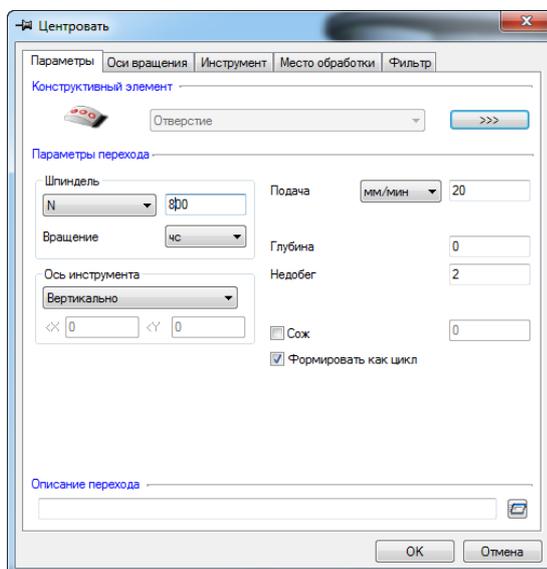


Рисунок 47 – Задание параметров зацентровки

44. Во вкладке "**Параметры**" в строке "**N**", введите значение **800**.

45. Выберите "**Вращение**" – **ЧС**.

46. В поле "**Основная подача**", значения "**мм/мин**" – **20**.

47. Выберите закладку "**Инструмент**".

48. В поле строки "**Позиция**", значение **2**.

49. Введите в поле "**Диаметр**", значение **1**.

50. В поле строки "**Длина реж. части**", значение **5**.

51. Введите в поле "**Длина**", значение **60**.

52. Введите в поле "**Угол**", значение **120**.

53. Выберите закладку "**Место обработки**".

54. Введите в поле "**Глубина**", значение **3**.

55. Выберите "**Параметры – Добавить – Отверстие**".

56. Поставьте флажок **3D Грани**, выберите элементы указанные на рисунке

48. Нажмите кнопку **Esc** на клавиатуре или среднюю кнопку мыши.

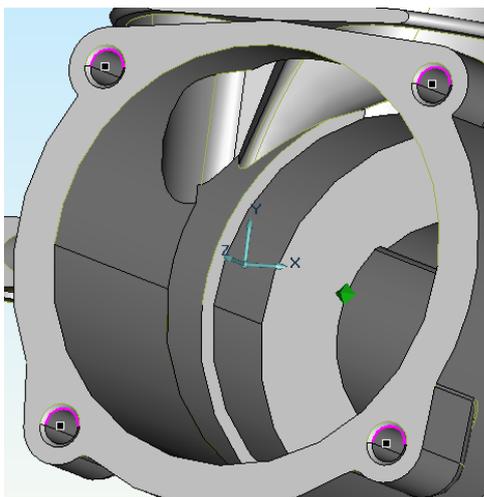


Рисунок 48 – Выбор контура обработки

- 57.Нажмите кнопку **ОК**. В дереве ТП появится новый объект "**Центровать отверстие**".
- 58.Нажмите и удерживайте кнопку "**Центровать**" на панели "**Переходы**". Переведите указатель мышки на кнопку "**Сверлить**". Загрузится диалог "**Сверлить**". (Рисунок 29).
59. Во вкладке "**Параметры**" в строке "**N**", значение **2000**.
- 60.В поле строки "**Подача**", значение **0,1**.
- 61.Включите режим "**Многопроходной обработки**".
- 62.В строке "**Кол-во проходов**", значение **5**.
- 63.В строке "**Вывод**", значение **5**.
- 64.В строке "**Глубина**", значение **4,78**.
- 65.В строке "**Недобег**", значение **2**.
- 66.Выберите закладку "**Инструмент**".
- 67.В поле строки "**Позиция**", значение **3**.
- 68.Введите в поле "**Диаметр**", значение **2**.
- 69.В поле строки "**Длина реж. части**", значение **30**.
- 70.Введите в поле "**Длина**", значение **80**.
- 71.Введите в поле "**Угол**", значение **120**.
- 72.Выберите закладку "**Место обработки**".

73. Выберите **"Параметры – Добавить – Отверстие"**.

74. Поставьте флажок **3D Грани**, выберите элементы указанные на рисунке

48. Нажмите кнопку **Esc** на клавиатуре или среднюю кнопку мыши.

75. Нажмите кнопку **ОК**. В дереве ТП появится новый объект **"Сверлить отверстие"**.

Расчет траектории движения инструмента

Для того чтобы рассчитать траекторию движения инструмента для всей операции, необходимо сделать текущим объект **"Операция"** и выполнить следующие действия:

1. Нажмите кнопку  **"Рассчитать все объекты"** на панели **"Процессор"**.
2. При выполнении команды **"Процессор"** будет показана траектория движения инструмента и появится диалог **"Процессор"** с сообщением **"Успешное завершение"**. После выполнения этой команды, будет сформирован файл **CLData**.
3. Нажмите кнопку  **"Моделирование с 3D-отображением инструмента"** на панели **"Моделирование"**. В диалоге **"Моделирование"** нажмите кнопку **"Старт"** .
4. Нажмите кнопку  **"Объемное моделирование обработки"** на панели инструментов **"Моделирование обработки"**.
5. Нажмите кнопку  **"Старт"**.
6. Нажмите кнопку  для завершения работы.

Просмотр файла CLData

Для того, чтобы посмотреть сформированный файл CLData нажмите кнопку  **"Просмотр CLData"** на панели **"Постпроцессор"**.

Преобразование "CLData" в управляющую программу

1. В дереве ТП наведите курсор на наименование операции **"005 ПРОГРАММНАЯ"**.

2. Нажмите правую кнопку мыши, выберите **"Редактировать"**.
3. Нажмите кнопку  **"Станок"** (Рисунок 16).
4. Выберите Модель – **Duro 800 UCP**.
5. Нажмите – **Ок**.
6. Нажмите – **Ок**.
7. Нажмите кнопку  **"Рассчитать все объекты"**
8. Нажмите кнопку  **"Адаптер"** на панели **"Процессор"**.

Просмотр и сохранение управляющей программы

1. Нажмите кнопку  **"Просмотр управляющей программы"**.
2. Открывается программа **"Блокнот"** с текстом управляющей программы.
3. Выберите команду **"Сохранить как ..."** из меню **"Файл"**.
4. Введите имя управляющей программы в поле **"Имя файла"**.
5. Выберите диск и каталог.
6. Нажмите кнопку **ОК**.

Сохранение технологического процесса обработки

Нажмите кнопку **"Сохранить"**  на панели **"Стандартная"**.

Разработка технологического процесса литья картера микро ДВС

Общие технологические требования для ТП литья

Детали, полученные механической обработкой, отличаются по внешнему виду от деталей, полученных литьем. У них имеются типичные острые наружные и внутренние грани с малыми закруглениями углов, резкие изменения толщин сечений – без переходов простые полости, симметричные вдоль одной оси, большей частью в виде тел вращения.

Для деталей, получаемых литьем, такая форма не пригодна и во многих случаях недопустима. При таких формах возникают литейные дефекты – усадочные раковины, пористость, наружные и внутренние трещины, которые снижают прочность и плотность деталей.

Отливки должны быть закругленной формы с плавным переходом различных толщин; массивные узлы отливки необходимо облегчать. Необходимость изменения формы детали (частичной или полной) связана с закономерностями технологии литья. При охлаждении жидкого металла изменяется его объем, что следует учитывать при выборе размеров отливки и ее сечений, особенно там, где соединяются между собой стенки различной толщины.

Толщины отдельных стенок отливки следует выбирать так, чтобы сечение увеличивалось по направлению к будущему месту подвода жидкого металла. Питатель для отливок небольших размеров в большинстве случаев является элементом для питания отливки металлом во время его кристаллизации. У больших и сложных отливок сечения стенок могут не отвечать условиям направленного затвердевания. В этом случае следует предусматривать специальную литниковую систему с прибылями.

При недостаточном питании кристаллизующейся отливки металлом в ее утолщенных местах возникают усадочные раковины и рыхлоты, снижающие прочность отливки.

Изготовление совершенно плотных отливок (особенно сложных машиностроительных) без каких-либо внутренних дефектов является не

простой задачей, и требуется тесное сотрудничество конструктора с технологом-литейщиком.

Как уже было указано, необходимо стремиться к конструкции детали с постепенным увеличением толщины стенок по направлению к питателю. Применение большого числа прибылей или питателей требует соответственно больших расходов на отделение их от самой отливки и на последующую окончательную зачистку.

Следует отметить, что отливки, которые в эксплуатации подвергаются динамическим нагрузкам, должны быть без внутренних дефектов. Разработать оптимальную форму отливки трудно, особенно при незнании подробностей литейной технологии и принципов направленного затвердевания. В таких случаях неизбежна специальная консультация.

На рисунке 49 показаны примеры правильных решений и примеры неудачного сопряжения стенок отливки, приводящего к возникновению усадочных пороков.

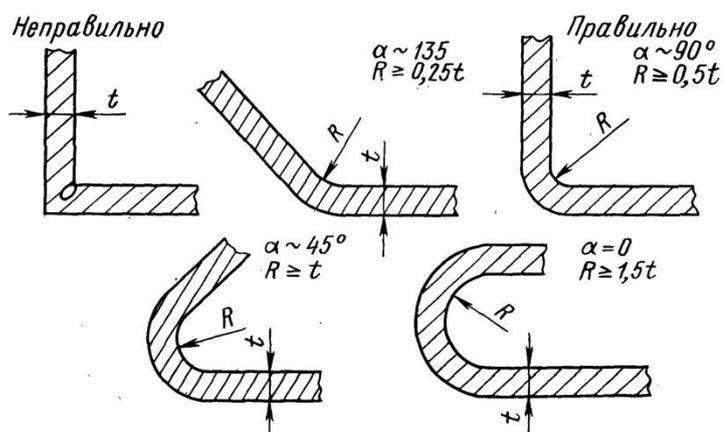


Рисунок 49 - Неправильное и правильное сопряжения стенок одинаковой толщины

Толщина стенок и их сопряжения

В отливках, подвергаемых при эксплуатации динамическим нагрузкам, необходимы плавные переходы толщин стенок. При сопряжении двух стенок различной толщины следует пользоваться рекомендациями, приведенными на

рисунке 50.

На рисунке 51 показан пример соединения под углом около 90° двух стенок различной толщины, на рисунке 52 тавровое соединение, а на рисунке 53 соединение перекрещивающихся стенок в отливке.

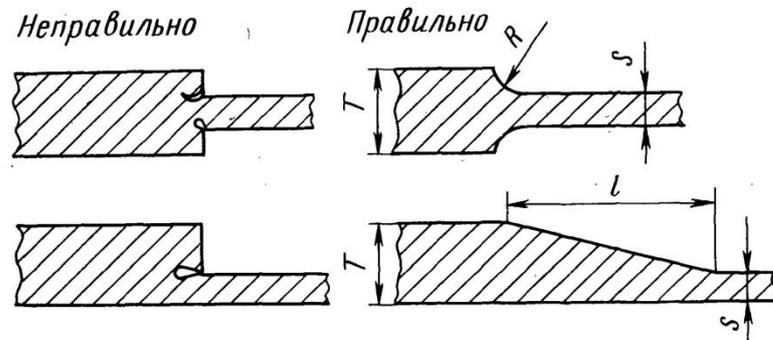


Рисунок 50 - Неправильное и правильное сопряжения стенок разной толщины

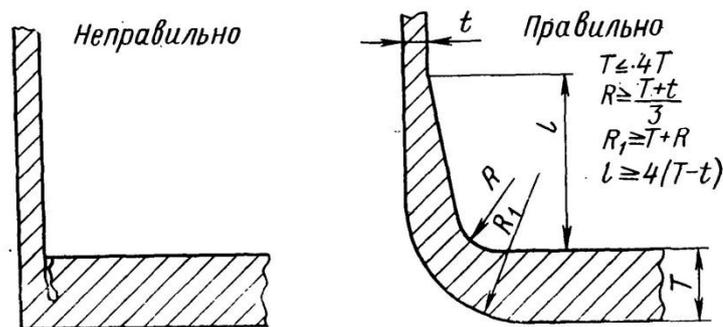


Рисунок 51 - Неправильное и правильное сопряжения стенок разной толщины, расположенных под углом 90°

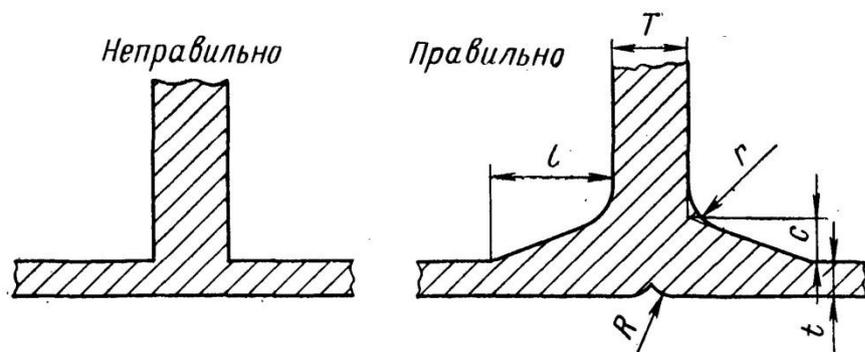


Рисунок 52 - Сопряжение стенок, перпендикулярных друг другу

$$t \leq 4r; \quad l \geq 4(T-t); \quad c = T-t; \quad r = \frac{T+t}{3}; \quad R = T-r$$

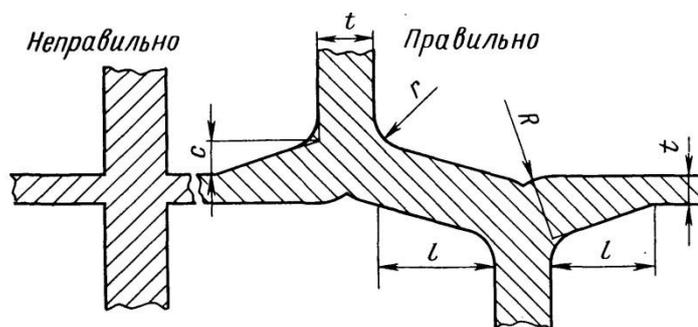


Рисунок 53 - Неправильное и правильное выполнение узла пересечения стенок

В узле крестообразного соединения (рисунок 53) образуется раковина или рыхлота, а в самой отливке возникают напряжения. Следует избегать такой конструкции и заменять ее двумя тавровыми соединениями.

Из всех приведенных схем следует, что в конструкциях не должно быть местных узлов – скоплений металла и острых углов. Используя правильные приемы при конструировании отливки, устраняются резкие перепады температур при охлаждении и затвердевании металла, и предупреждается образование литейных дефектов.

У динамически нагруженных деталей каждое резкое изменение сечения является концентратором напряжений, приводящим к превышению предела текучести используемого материала, т.е. к полному разрушению отливки. Концентрация напряжений возникает также при термообработке отливок. Чувствительность к надрезам значительно повышается с увеличением механической прочности металла после термообработки.

Конструкция отливки

Резкие переходы толщин стенок и массивные узлы отливок можно устранить, применяя ребра жесткости (рисунок 54). Конструктивно и технологически труднее изготовить отливки с различными толщинами стенок. В этом случае рекомендуется выполнять переходы с большими радиусами скругления. Выполнение таких наиболее трудных конструкций обязательно решается при тесном сотрудничестве конструктора и технолога-литейщика. В самых трудных случаях после экспериментов с первыми опытными отливками

следует выполнить корректировку конструкции.

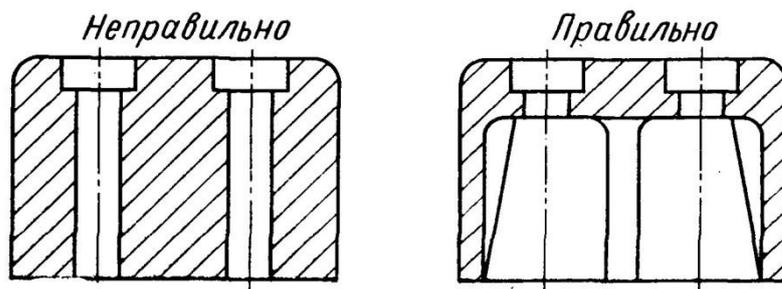


Рисунок 54 - Пример выполнения коробчатой конструкции

При проектировании отливок конструктор должен решать не только проблемы, связанные с их качеством, но и вопросы экономики производства. Так, конструкция отливки определяет сложность и стоимость пресс-формы для выплавляемой модели, трудоемкость сборки модельного блока, отделения отливки от литниковой системы, финишной обработки и т. д.

Одним из наиболее частых конструктивных элементов детали являются утолщения под отверстия – бобышки. Их необходимо проектировать так, чтобы они не мешали извлечению модели из пресс-формы (рисунок 55).

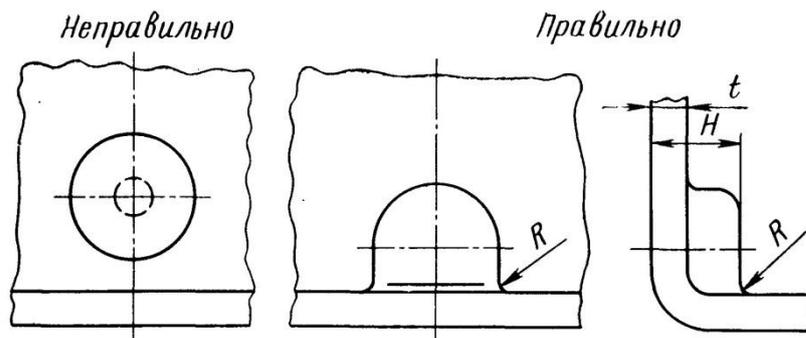


Рисунок 55 - Неправильное и правильное выполнение бобышки под отверстие

Стоимость пресс-формы высока, особенно для сложных отливок, например, турбинных колес. Для извлечения модели из пресс-формы должен быть предусмотрен уклон, который при обработке полостей формы иногда вызывает затруднения. Величину этого уклона необходимо согласовывать с будущим изготовителем, так как она может изменяться в зависимости от

принятого технологического процесса.

При отливке длинных плоских деталей на ровных поверхностях образуются трещины или коробления. Поэтому такие поверхности желательно изготавливать с припусками на обработку. Иногда бывает достаточным при согласии конструкторов разделить такую поверхность канавками или ребрами, которые уменьшают напряжение в литейной форме и препятствуют появлению указанных дефектов.

Получить литьем острые кромки, например, на лопатках турбин, насосов, вентиляторов, трудно, так как металл при заливке охлаждается в полости литейной формы и не заполняет тонкие сечения. Поэтому рекомендуется предусматривать отводное питание граней и по возможности назначать на наиболее тонкие части припуски на механическую обработку, особенно в тех случаях, когда грань должна быть острой и ровной.

Из приведенного ясно, что основные принципы конструирования точных отливок в своей основе такие же, как и отливок, получаемых в песчано-глинистых формах. Однако при литье по выплавляемым моделям конструктор может проектировать отливку со сложной конфигурацией, повышенной точности и чистотой поверхности. Для этого в некоторых случаях следует максимально облегчать отливку с сохранением ее прочности путем введения ребер жесткости.

В зависимости от конфигурации отливки ее некоторые размеры приходится доводить как изготовителю, так и заказчику. Отливки типа вилок, например, из-за термических напряжений при охлаждении, сопротивления оболочковой формы, а также часто и во время транспортировки настолько деформируются, что их необходимо дополнительно рихтовать по шаблону для получения заданной формы. В этих случаях рекомендуется уже при проектировании отливки усиливать ее ребрами или соединять ее части технологическими связками (рисунок 56).

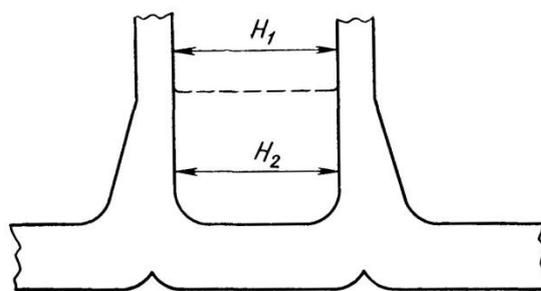


Рисунок 56 - Рекомендуемое усиление жёсткости детали, предупреждающее изменение размера H при литье

В других случаях деформацию можно предупредить за счет дополнительных литейных припусков, с учетом дополнительных расходов, связанных с их удалением и последующей отделкой отливок. Часто для получения определенного размера между двумя параллельными поверхностями отливок применяют механическую правку.

Цилиндрические или конические поверхности нельзя получить литьем с совершенно идеальной формой окружности из-за неравномерной усадки металла и напряжений, которые зависят от размеров отливки, толщины стенки и стенок, связанных с окружностями. Обычно удается получать отклонения окружности диаметром 10 мм в пределах $\pm 0,05$ мм.

Если отливка имеет форму кольца, то внутренний и внешний контуры окружностей эксцентричны. Это зависит от величины диаметра и от толщины стенки. Чем больше диаметр, тем меньше разница в симметрии обеих окружностей.

Технологическое усиление хотя и дает положительный результат, но повышает производственные расходы на отделку отливки и не гарантирует жесткость детали при ее эксплуатации.

Острые грани на стальных отливках выполняют с минимальной величиной радиуса скругления (на небольших участках до $0,15$ мм). Для получения острых протяженных граней следует применять большие радиусы скруглений. Минимальный угол граней лезвия должен быть меньше 15° , иначе рекомендуемые радиусы скругления трудно выдержать.

Литые сквозные отверстия в отливках из черных сплавов рекомендуется выполнять при отношении диаметра к длине отверстия не более $1:4$. Глухие отверстия и углубления можно легко выполнить в отливках при их глубине, приблизительно равной диаметру для отливок из черных сплавов. Внутренние стенки отверстия или углубления в местах сопряжения с дном должны быть обязательно скруглены.

Замечательное преимущество литья по выплавляемым моделям – возможность получения в отливке каналов с искривленной осью при благоприятном отношении диаметра канала к его длине. При этом полость или литой канал могут иметь произвольную форму; этот профиль может изменяться еще и по длине (рисунок 57). Такой сложный профиль канала нельзя отлить с большой точностью. Получить же такую полость в большинстве случаев методами механической обработки вообще нельзя. Это преимущество литья особенно важно при получении отливок из труднообрабатываемых сплавов.

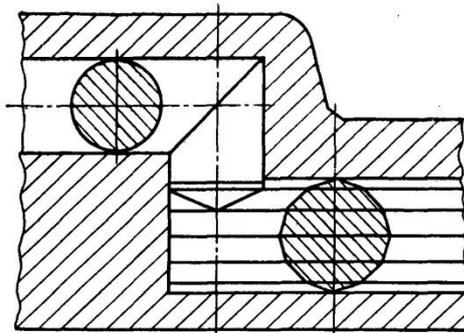


Рисунок 57 - Пример отливки с отверстиями, расположенными на разных осях

Размеры и масса отливок. Качество поверхности

Конструктору важно знать наименьшую толщину стенки, выполняемую литьем. Назвать эту величину однозначно очень трудно, так как это связано с размерами всей отливки, расположением меньшей стенки по отношению к другим частям отливки и от размера ее площади. Наименьшую толщину стенки можно получить, если она прилегает к более массивным частям отливки. В этом случае при литье черных сплавов можно получать толщины от $0,5$ мм.

Если вся отливка имеет одинаковую толщину стенки при небольших габаритных размерах для черных сплавов наименьшая толщина составит *1,2 мм*.

Получение точных отливок максимальной массы и габаритных размеров зависит от уровня технологии в литейном цехе и от его оснащения, в частности в отделении изготовления оболочек и плавильном отделении. По литературным данным, максимальная масса отливок – до *200 кг*. Обычно масса точных отливок не превышает *40 кг*.

Необходимо отметить, что крупные и тяжелые отливки получаются с невысокой точностью. Целесообразно такие отливки, особенно симметричные, изготавливать из отдельных частей с последующей сваркой в приспособлениях. Сварочная техника в настоящее время развита до такого уровня, что сложная деталь, изготовленная из большинства литейных сплавов, будет иметь постоянные свойства, т.е. как будто она изготовлена в виде единой отливки.

Рассмотрим более подробно вопрос, касающийся технологии литья картера двигателя внутреннего сгорания малой мощности.

На основании технической документации и чертежей (рисунок 58) в программном продукте SIEMENS NX 8.5 моделируем CAD модель картера двигателя (рисунок 59).

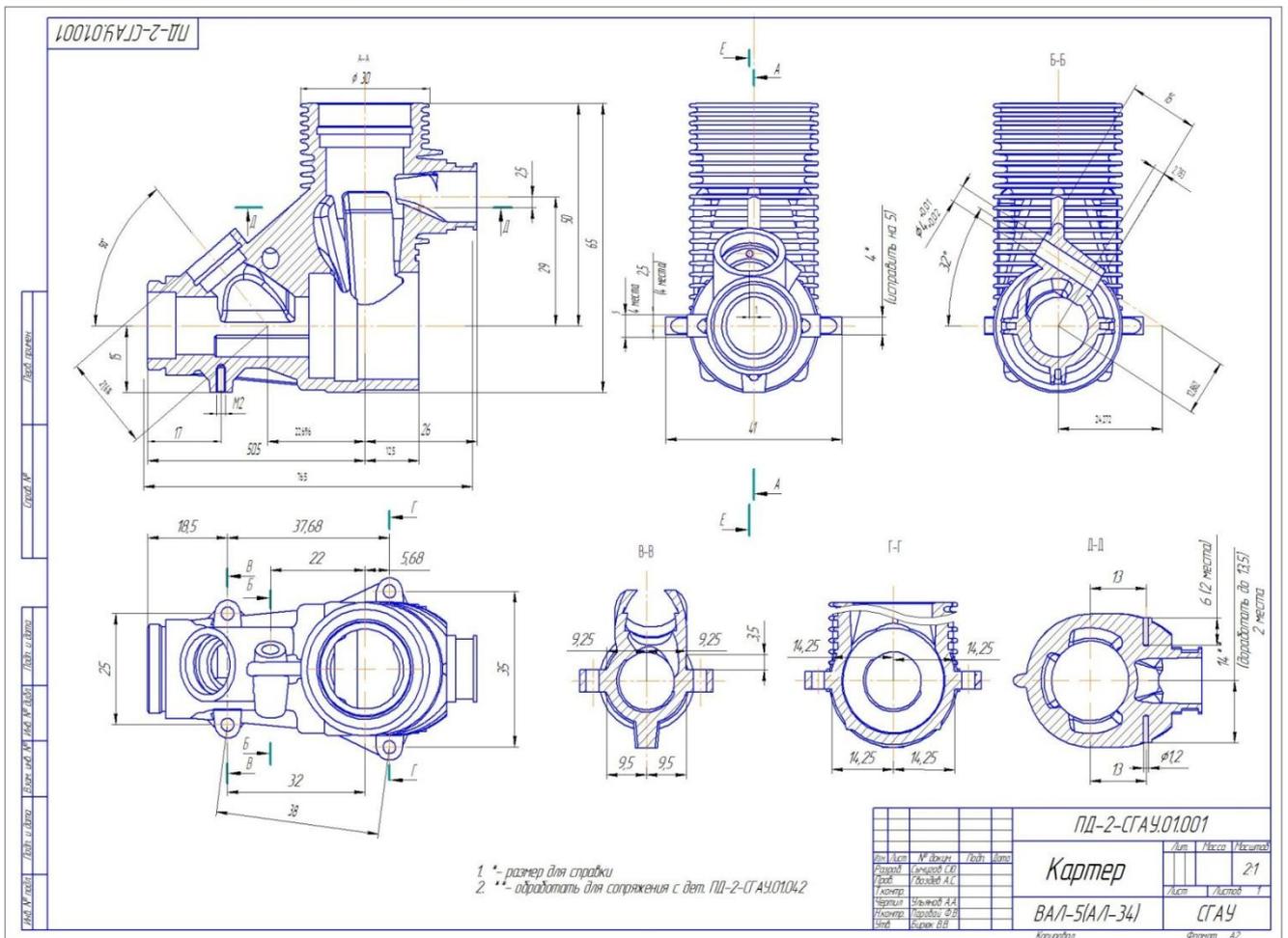


Рисунок 58 – Чертеж картера двигателя внутреннего сгорания

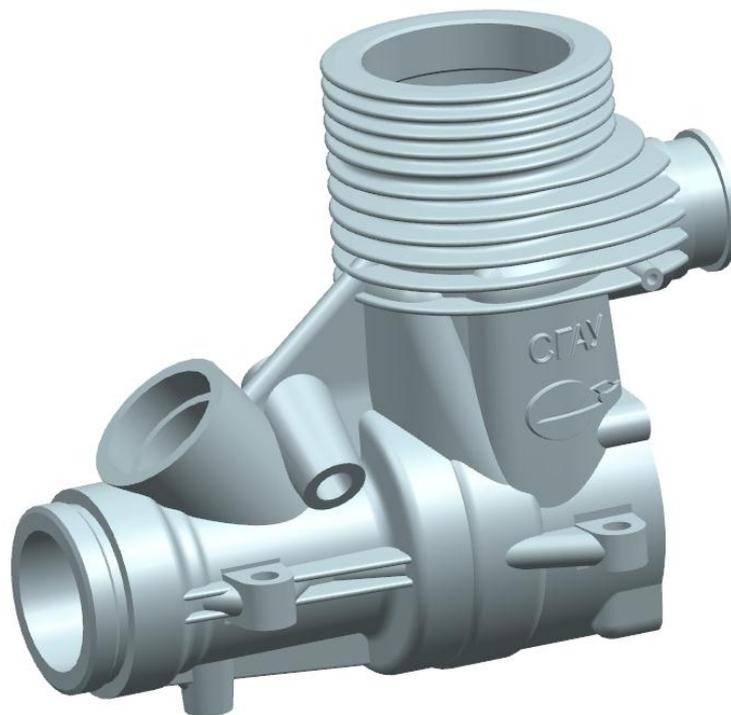


Рисунок 59 – Картер двигателя малой мощности

С технологической точки зрения, картер ДВС можно получить методом литья двумя способами: литьем в кокиль и литьем по выплавляемым моделям. Рассмотрим каждый из предложенных технологических процессов более подробно.

Технология изготовления картера ДВС методом литья в кокиль

Общие сведения

Литье в кокиль – это процесс получения отливок свободной (под действием сил тяжести) заливкой расплавленного металла в металлические формы – кокили.

Кокиль представляет собой форму многоразового использования. Поскольку металлические материалы значительно отличаются по своим свойствам от неметаллических формовочных материалов (большими теплопроводностью, прочностью и удельной объемной теплоемкостью, практически нулевыми газопроницаемостью и газотворностью и др.), то в кокиле создаются особые условия формирования отливок.

Важным элементом кокиля является защитное покрытие его рабочей поверхности, которое уменьшает интенсивность теплообмена между отливкой и формой, снижает термические напряжения в стенке формы, предохраняет ее от эрозионного разрушения, создает в форме определенную газовую атмосферу, изменяет смачиваемость поверхности расплавом, обеспечивает в некоторых случаях поверхностное модифицирование и легирование отливки, изменяет газопроницаемость вентиляционных устройств, а также воздействует на силу трения между отливкой и кокилем.

В процессе термического и механического взаимодействий между отливкой и кокилем нередко возникает большой или меньший газовый зазор. Его влияние в термическом отношении аналогично влиянию защитного покрытия.

Основные технологические операции

Технологические операции, выполняемые при литье в кокиль, приведены на рисунке 60.

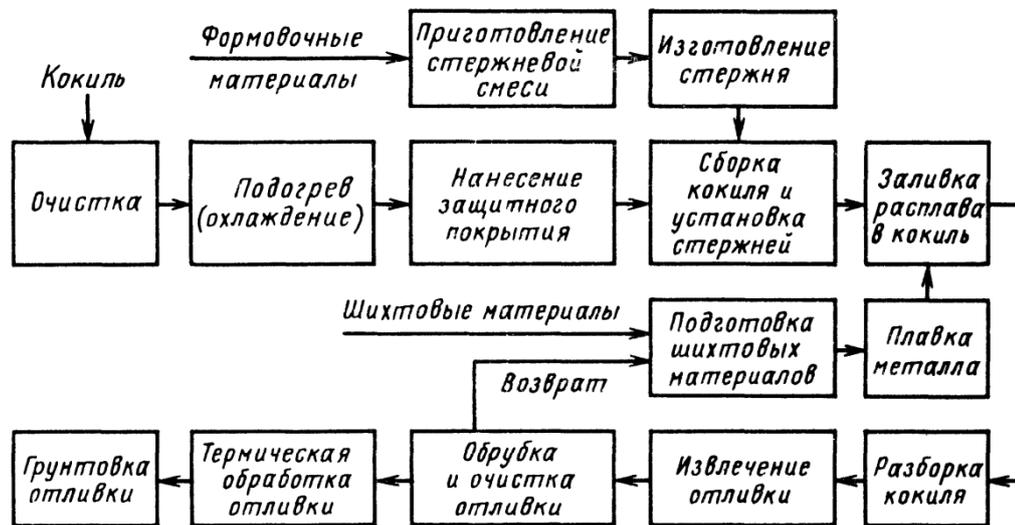


Рисунок 60 – Последовательность выполнения технологических операций процесса литья в кокиль

Необходимость выполнения некоторых из них зависит от конкретных условий – конструктивных особенностей отливки, литейных свойств материалов, особенностей технологического процесса производства и других факторов. Так, например, операции, связанные с изготовлением песчаных стержней и с термической обработкой отливок, могут вообще отсутствовать. Необходимость же осуществления других операций может возникнуть только через несколько циклов литья (в частности, нанесение защитного покрытия).

Перед заливкой металла кокиль подготавливают к работе: очищают от следов загрязнений, остатков отработанного покрытия и ржавчины, подогревают до заданной температуры и наносят защитное покрытие (рисунок 61 а, б). Затем осуществляют сборку кокиля с установкой стержней (рисунок 61 в) и заливают металл в форму (рисунок 61 г). После охлаждения залитого металла до заданной температуры кокиль разбирают и извлекают отливку (рисунок 61 д, е).

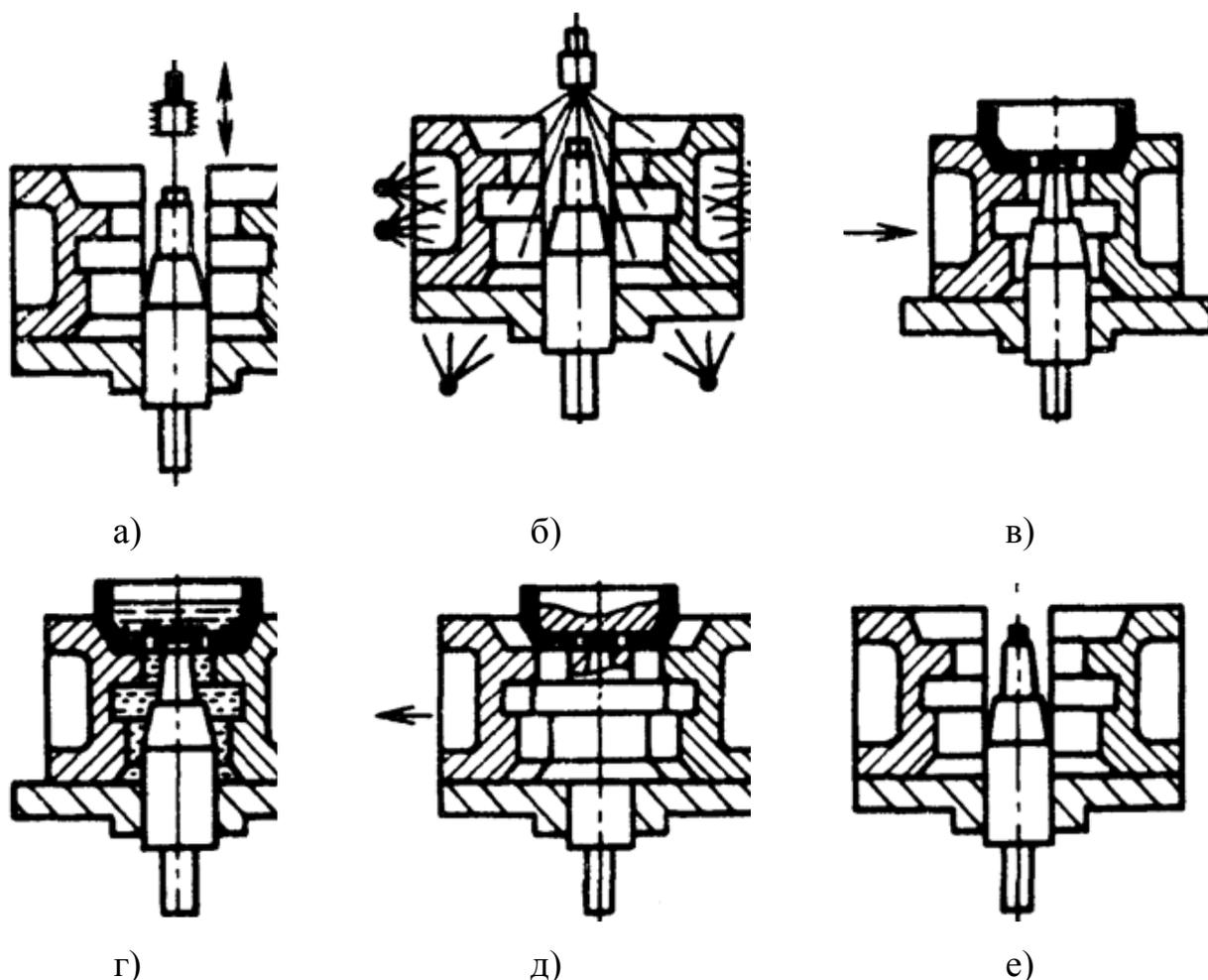


Рисунок 61 – Схемы последовательно выполняемых основных технологических операций при литье в кокиль

Литье в кокиль нашло применение в производстве отливок из серого и высокопрочного чугунов, алюминиевых, магниевых, цинковых и медных сплавов. В кокилях получают также детали из чугуна, графита, а также из стали. Масса отливок изменяется от единиц до сотен и даже нескольких тысяч килограммов.

Конструкции отливок, получаемых в кокилях, очень разнообразны. Это простые по форме отливки типа опорных плит, болванок и втулок, и сложные – типа картеров двигателей, головок блоков цилиндров и т.д. Литьем в кокиль получают детали с особыми эксплуатационными свойствами – повышенной герметичностью, износостойкостью, окалиностойкостью и др.

Основные разновидности кокилей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные разновидности кокилей

Отличительный признак	Разновидности кокилей
Отношение глубины рабочего гнезда к среднему габаритному размеру в поверхности разъема	<ul style="list-style-type: none"> - плоские, - цилиндрические
Расположение в пространстве поверхности разъема	<ul style="list-style-type: none"> - неразъемные (вытряхные), - с горизонтальной плоскостью разъема, - с вертикальной плоскостью разъема, - с комбинированной поверхностью разъема
Конструктивное исполнение рабочей стенки	<ul style="list-style-type: none"> - цельные, - составные из неуфицированных и унифицированных элементов
Способ охлаждения	<ul style="list-style-type: none"> - с воздушным охлаждением (естественным и принудительным), - с жидкостным охлаждением (водяным, масляным и др.), - с комбинированным охлаждением (воздушным, чередующимся водяным и воздушным и т.п.)
Способ подвода охлаждающей среды к рабочей стенке	<ul style="list-style-type: none"> - однослойные, - двухслойные
Материал рабочей стенки	<ul style="list-style-type: none"> - чугунные, - стальные, - алюминиевые, - медные, - из специальных сплавов и

	композитных материалов
Долговечность теплозащитного покрытия	- с периодически наносимым теплозащитным покрытием, - с постоянным теплозащитным покрытием (чугунные и стальные с плазменным напылением, алюминиевые с анодированной поверхностью)

В плоских кокилях глубина рабочего гнезда значительно меньше, чем его ширина и длина, а в цилиндрических кокилях глубина рабочего гнезда значительно больше его ширины и длины.

Достоинства и недостатки литья в кокиль

Популярность процесса литья в кокиль обусловлена его несомненными достоинствами и рядом четко выраженных преимуществ перед традиционными способами изготовления отливок. Главные из них относятся к эффективности процесса литья и к качеству отливок.

Достоинства процесса заключаются в следующем:

- Повышаются технико-экономические показатели производства отливок благодаря сокращению числа технологических операций и продолжительности технологического цикла, упрощению задачи комплексной и механизации и автоматизации производства, сокращению потребления основных и вспомогательных материалов, уменьшению потерь от брака, увеличению съема годной продукции с единицы производственной площади и уменьшению капитальных затрат;
- Повышается качество отливок вследствие увеличения их плотности, прочности, пластичности и износостойкости, повышения точности и гладкой поверхности, уменьшения припусков и повышения производительности обработки резанием, сокращения потерь от брака;

- Улучшаются условия труда, снижается отрицательное влияние на окружающую среду благодаря резкому сокращению потребления формовочных и других вспомогательных материалов, появляется возможность механизации основных и вспомогательных технологических операций.

Литье в кокиль имеет и недостатки, основные из них:

- Сложность изготовления и ограниченная стойкость кокиля (последняя резко падает по мере повышения температуры заливаемого металла);

- Необходимость применения сложных песчаных и металлических стержней при изготовлении отливок с поднутрениями;

- Сложность получения тонкостенных, сильно ребренных отливок вследствие ускоренного охлаждения расплава при его заливке и последующем охлаждении;

- Склонность отливок к образованию трещин и других дефектов из-за неподатливости формы;

- Повышенная чувствительность к отклонениям параметров процесса и свойств применяемых материалов.

Технологические основы процесса

Общие требования к отливкам, получаемым в кокилях, следующие:

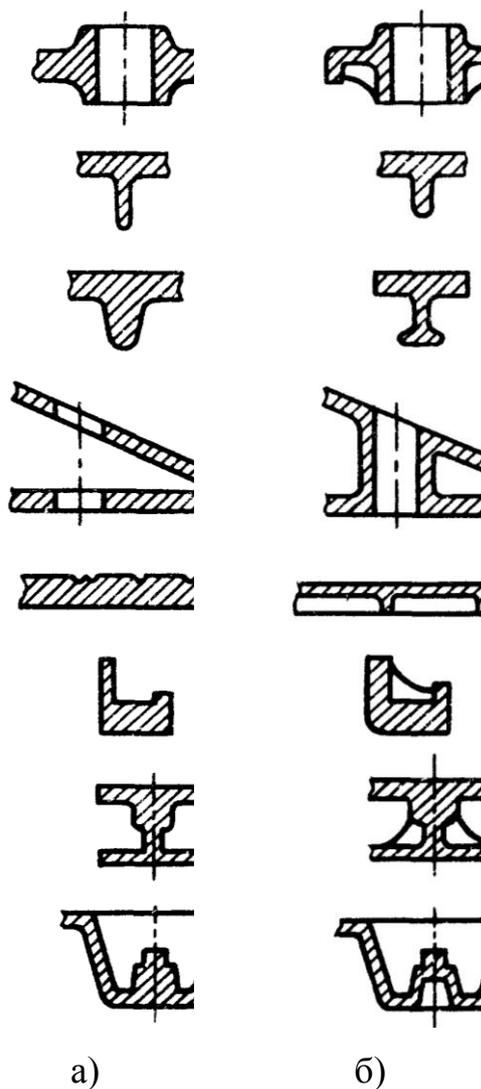
- габаритные размеры отливок должны быть как можно меньшими, а их конфигурация должна обеспечивать возможность использования кокилей с плоскими разъемами и металлическими стержнями (для оформления внутренних полостей отливок), число разъемов формы и число стержней должны быть минимальными;

- необходимо предусмотреть обтекаемую конфигурацию отливок, т.е. конфигурацию без острых углов, резких перепадов от одной поверхности к другой, без высоких ребер и выступов, глубоких отверстий и карманов;

- необходимо правильно выбирать толщины и уклоны стенок отливок, чтобы обеспечить заливку и условия питания всех элементов

- в отливках должно быть предусмотрено такое сочетание конструктивных элементов, при котором уменьшается торможение усадки и обеспечивается легкая разборка формы.

Чем полнее конструкция отливки удовлетворяет перечисленным требованиям, тем она технологичнее. Примеры нетехнологичного и технологичного выполнения элементов отливок при литье в кокиль и примеры улучшения конструкций отливок приведены на рисунках 62-64.

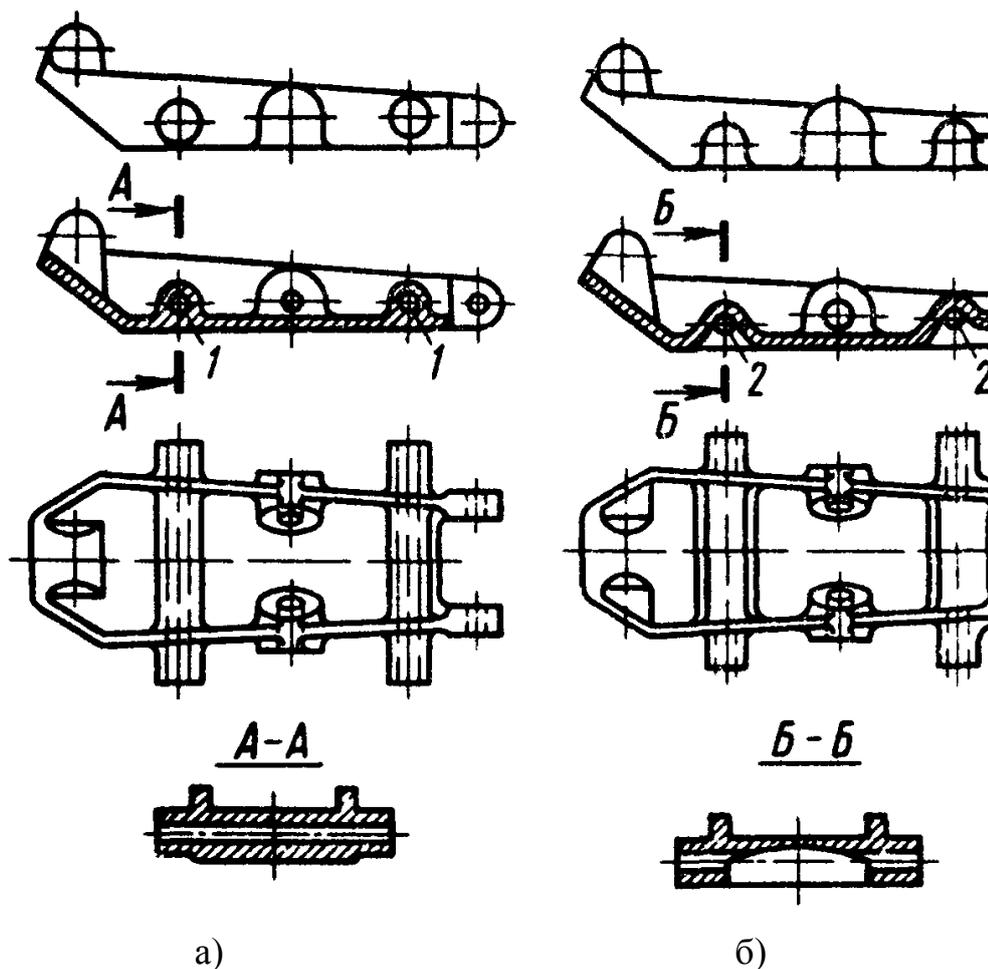


а – нетехнологичные, б – технологичные

Рисунок 62 – Конструктивные элементы отливок

Конструирование отливок из алюминиевых сплавов имеет свои особенности. Отливка (рисунок 63, а) имеет усадочные дефекты в утолщении 1.

При изменении конструкции (рисунок 63, б) выполняют карман 2, что исключает причину образования дефекта.



а – нетехнологичная; б – технологичная

Рисунок 63 – Конструкции отливки из алюминиевого сплава

Усадочные дефекты образуются также в тепловых узлах 3 и 4 втулки из алюминиевого сплава (рисунок 64, а). Тонкие фланцы 1 и 2 в сочетании с относительно тонкой стенкой цилиндрической части детали противоречат принципу направленного затвердевания. В отливке корпуса (рисунок 64, б) могут возникнуть усадочные раковины в утолщенных местах 1 и трещины в местах резки переходов 2.

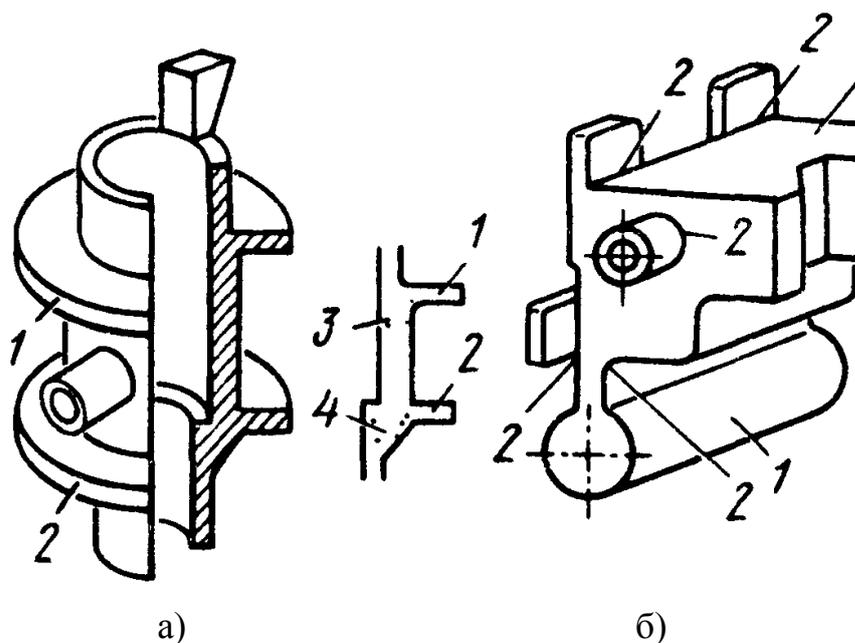


Рисунок 64 – Нетехнологические конструкции отливок втулки (а) и корпуса (б) из алюминиевого сплава

Существуют различные способы количественной оценки технологичности. Один из них состоит в определении коэффициента габаритности:

$$K_v = \frac{V_{\text{ГАБ}}}{M_1}$$

где $V_{\text{габ}}$ – габаритный объем отливки, M_1 – масса отливки.

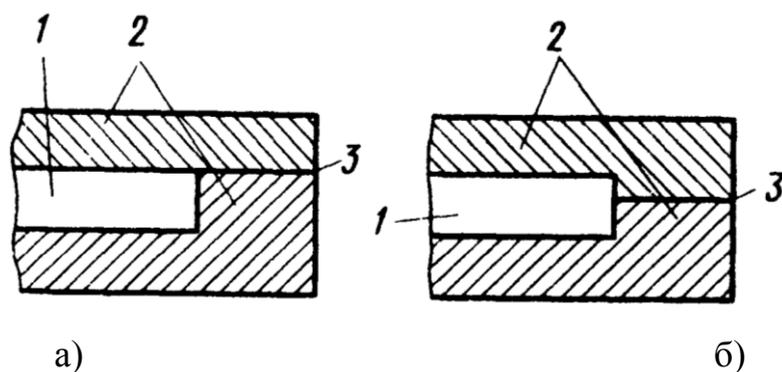
Чем меньше K_v , тем соответственно технологичнее конструкция.

Выбор положения отливки в форме и разъема кокиля является важным элементом проектирования технологического процесса литья. От правильности выбора зависят качество отливок и трудоемкость их изготовления, а также и стойкость кокилей.

Положение отливки в кокиле и поверхности его разъема определяют с учетом следующих условий:

- направленного затвердевания каждого элемента отливки и нижнего положения обрабатываемых и наиболее ответственных поверхностей детали;

- плавного заполнения полости кокиля заливаемым металлом при соблюдении принципа направленного затвердевания и использования наиболее коротких элементов литниковой системы;
- простого и надежного отвода газов из кокиля;
- удобного для зачистки расположения заливов по поверхности разъема кокиля;
- смещенного (не менее чем на 2-3 мм) относительно острых кромок расположения поверхности разъема формы (рисунок 65);
- удобного для обработки резанием расположения базовых и установочных поверхностей (отсутствия заусенцев и заливов; возможного расположения базовых и обрабатываемых поверхностей в одной полуформе);
- максимального использования металлических стержней; легкой установки и надежной фиксации в кокиле песчаных стержней;
- легкого извлечения отливки из кокиля;
- использования механизированных и автоматизированных средств для сборки, разборки и заливки кокиля, а также для извлечения из него отливки;
- применение наиболее стойкого (к трещинообразованию и короблению), технологичного конструктивного исполнения кокиля.



1 – отливка; 2 – кокиль; 3 – поверхность разъема
 а – неправильное; б – правильное

Рисунок 65 – Расположение поверхности разъема кокиля по отношению к стенке отливки

Значение каждого из приведенных выше условий зависит от многих факторов и, прежде всего, от типа сплава. Так, например, смещение поверхности разъема формы относительно острых кромок играет важную роль при проектировании технологии литья деталей из сплавов, склонных к трещинообразованию.

Проектирование литниково-питающих систем

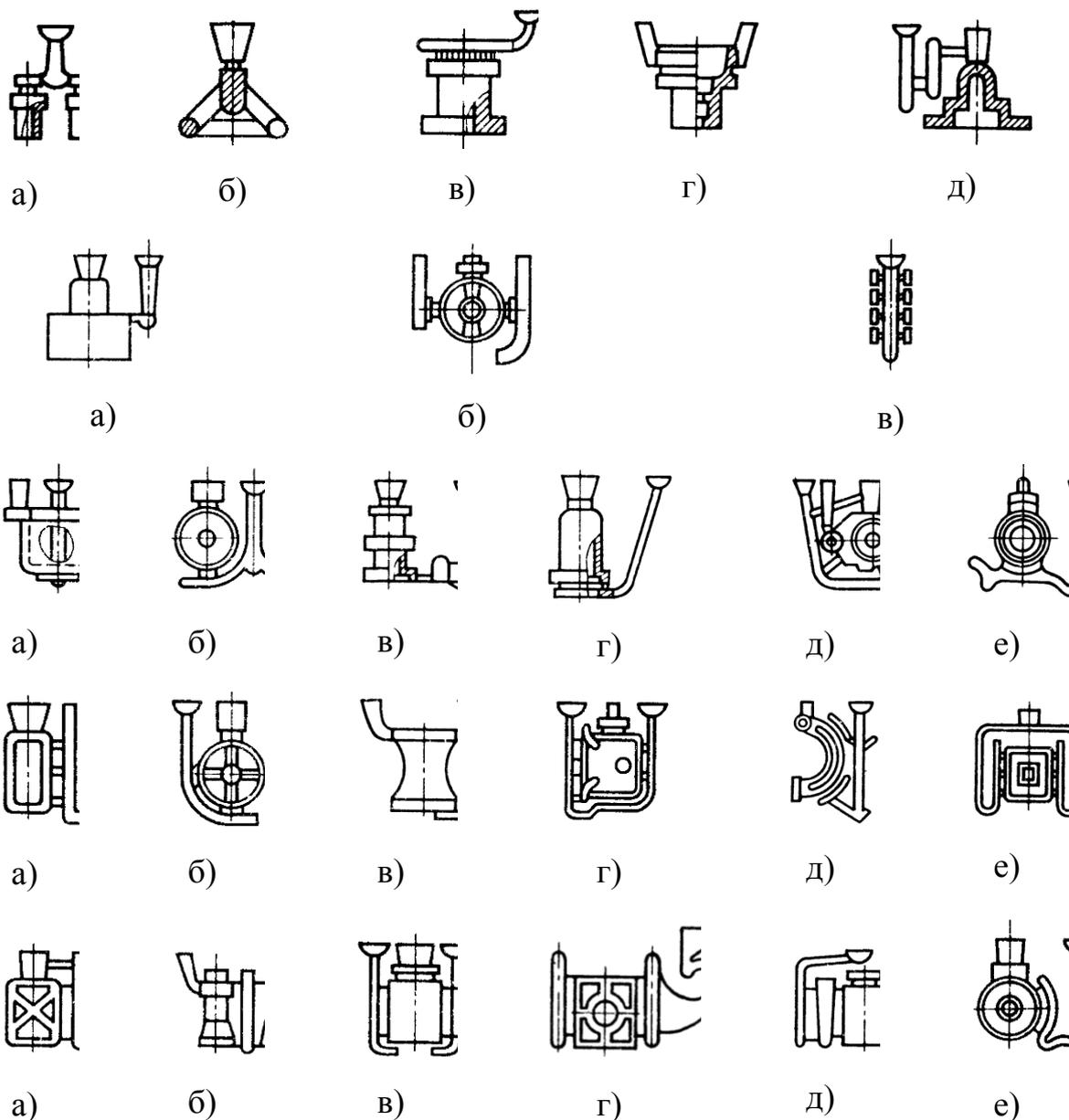
Проектирование литниково-питающих систем осуществляют в последовательности: выбирают тип системы, определяют конструктивное исполнение выбранного типа (в том числе конфигурацию стояка, форму поперечного сечения стояка, питателя и других элементов) и рассчитывают размеры элементов системы. На первом этапе проектирования можно руководствоваться классификацией литниковых систем, показанной в таблице 2.

Таблица 2 – Классификация литниково-питающих систем

Отличительный признак	Разновидности системы
Место подвода расплава к рабочей полости формы	Верхняя, боковая, нижняя (сифонная), ярусная
Конфигурация стояка	С прямым, наклонным и изогнутым ("гусиная шейка") стояками
Форма поперечного сечения стояка	С круглым, овальным и многогранным стояками
Форма поперечного сечения питателя	С круглым, овальным, трапециевидным, щелевым и сегментным питателями
Наличие фильтровальной сетки	С фильтрованной сеткой и без сетки
Изменяемость во времени гидравлических характеристик	С постоянными (стационарная) и переменными (нестационарная) гидравлическими характеристиками

При проектировании литниково-питающих систем, используемых в кокиле, учитывают общие требования, предъявляемые к литниковым системам, и специальные требования, связанные с особенностями технологии. Конструкция литниковых систем существенно влияет на стойкость кокилей.

Большое разнообразие литниковых систем применяют при литье в кокиль цветных сплавов (рисунок 66). В этом случае используют практически все разновидности систем, приведенных в таблице 2.



1 – верхняя; 2 – боковая; 3 – нижняя; 4 – ярусная;

5 – боковая с щелевым питателем

Рисунок 66 – Схемы литниковых систем для литья в кокиль цветных сплавов

Мелкие алюминиевые отливки изготавливают с подводом металла сверху. При литье цилиндрических деталей (поршней, втулок, обечаек и т.п.) используют боковые системы с щелевыми питателями. Для таких отливок выполняют также подводы снизу через кольцевые питатели, что обеспечивает плавную заливку полости формы.

Разработка технологического процесса изготовления картера ДВС методом литья в кокиль

Согласно теоретическим сведениям, представленным выше, рассмотрим технологию изготовления картера ДВС методом литья в кокиль.

Для этого необходимо наличие двух муфельных печей мощностью 2 кВт и объемом 10 литров каждая. Одна печь имеет термопару и предназначена для прокаливания литника и кокиля, вторая – термопары не имеет, предназначена для плавки алюминиевого сплава.

Печь, которая имеет термопару, разогревают до температуры 730°C. Затем берут нержавеющей тарелку, т.к. она имеет высокую теплоемкость, помещают на нее собранный кокиль и литник и помещают в печь. В этот момент температура снижается до 600°C. В течение 30 минут происходит прогрев кокиля и литника. Одновременно необходимо контролировать показания приборов термопары. Как только температура достигнет 700°C берется нержавеющая тарелка с алюминиевым сплавом А1-34 (необходимо, порядка 300 грамм) и ставится во вторую печь на 15 минут для плавления сплава. В этот момент кокиль и литник прогреваются до температуры 750°C.

Затем, вынимаем расплавленный металл, снимаем шлак и выливаем в тигель, представляющий нечто похожее на нержавеющий стакан (т.к. он имеет малую площадь поверхности), делаем рафинирование и ставим снова в печь.

В этот момент, температура сплава падает до 720°C, необходимо некоторое время выдержать металл в печи (порядка 5 минут), пока температура

вновь не повыситься до 750°C. Очень важно не перегреть металл, так как будет происходить выгорание всех легирующих компонентов.

Затем, из первой печи вынимаем прогретый кокиль с литником и ставим на металлическую плиту толщиной 20мм. Литник вставляем в кокиль, также в нижнюю часть кокиля вставляем термопару, которая будет показывать температуру кокиля.

В результате процесса теплоотдачи, верхняя часть кокиля имеет красную окраску, а нижняя часть – темную, что свидетельствует о направлении процесса теплопередачи.

По термопаре, подсоединенной к нижней части кокиля, контролируем температуру, и как только она установится на отметке в 720°C берем тигель с расплавленным алюминиевым сплавом, имеющим температуру 750°C, снимаем шлак и выливаем в литник.

Целесообразно проводить процесс заливки на резонансном столе, возвратно-поступательные движения которого способствуют устранению непроливов, образованию пористости и усадки.

В процессе кристаллизации металла, нижняя часть кокиля имеет температуру 650°C. Спустя 7 минут температура снижается до 450°C. Процесс кристаллизации металла на этом завершен.

Разборку кокиля (3 половин) необходимо осуществить как можно быстрее, затратив на весь процесс не более 20 минут. Отлитый картер имеет неоднородную цветовую гамму – блестящий металлический цвет соответствует недогретому металлу, мутный металлический цвет – перегретому металлу (рисунок 67).

Заключительным этапом является погружение отливки в воду и удаление гипсовых знаков, которые формируют внутренние полости и каналы.



Рисунок 67 – Картер ДВС, полученный методом литья в кокиль

Технология изготовления картера ДВС методом литья по выплавляемым моделям

Общие сведения

Сущность литья по выплавляемым моделям заключается в том, что для получения отливок применяются разовые, точные неразъемные, керамические оболочковые формы, получаемые по разовым моделям с использованием жидких формовочных смесей. Перед заливкой расплава модель удаляется из формы выплавлением, выжиганием, растворением или испарением. Для удаления остатков модели и упрочнения форма нагревается до высоких температур. Прокалка формы перед заливкой практически исключает ее газотворность и улучшает заполняемость расплавом.

Основные операции технологического процесса. Модель или звено моделей 2 изготавливают в разъемной пресс-форме 1, рабочая полость которой имеет конфигурацию и размеры отливки с припусками на усадку (модельного состава и материала отливки) и обработку резанием (рисунок 68, а). Модель изготавливают из материалов, имеющих невысокую температуру плавления (воск, стеарин, парафин), способных растворяться (карбамид) или сгорать без образования твердых остатков (полистирол). Готовые модели или звенья

моделей собирают в блоки 3 (рисунок 68, б) имеющие модели элементов литниковой системы из того же материала, что и модель. Блок моделей состоит из звеньев, центральная часть которых образует модели питателей и стояка. Модели чаши и нижней части стояка изготавливают отдельно и устанавливают в блок при его сборке. Блок моделей погружают в емкость с жидкой формовочной смесью — суспензией для оболочковых форм, состоящей из пылевидного огнеупорного материала, например пылевидного кварца или электрокорунда, и связующего (рисунок 68, б). В результате на поверхности модели образуется тонкий (менее 1 мм) слой 4 суспензии. Для упрочнения этого слоя, увеличения его толщины на него наносят слои огнеупорного зернистого материала 5 (мелкий кварцевый песок, электрокорунд, зернистый шамот) (рисунок 68, г). Операции нанесения суспензии и обсыпки повторяют до получения на модели оболочки требуемой толщины (3...10 слоев).

Каждый слой покрытия высушивают на воздухе или в парах аммиака 6, что зависит от связующего (рисунок 68, д). После сушки оболочковой формы модель удаляют из нее выплавленным, растворением, выжиганием или испарением. На рисунке 68, е. показан процесс удаления выплавляемой модели в горячей воде 7 ($T_{\text{воды}} = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Так получают многослойную оболочковую форму по выплавляемой модели. Для упрочнения перед заливкой оболочковую форму помещают в металлический контейнер и засыпают огнеупорным материалом 8 (кварцевым песком, мелким боем использованных оболочковых форм) (рисунок 68, ж). Для удаления остатков моделей из формы и упрочнения связующего контейнер с оболочковой формой помещают в печь 9 для прокаливания (рисунок 20, з). Форму прокаливают при температуре 900...1100 $^{\circ}\text{C}$. Прокаленную форму 10 извлекают из печи и заливают расплавом (рисунок 68, м). После затвердевания и охлаждения отливки до заданной температуры форму выбивают, отливки очищают от остатков керамики и отрезают от них литники.

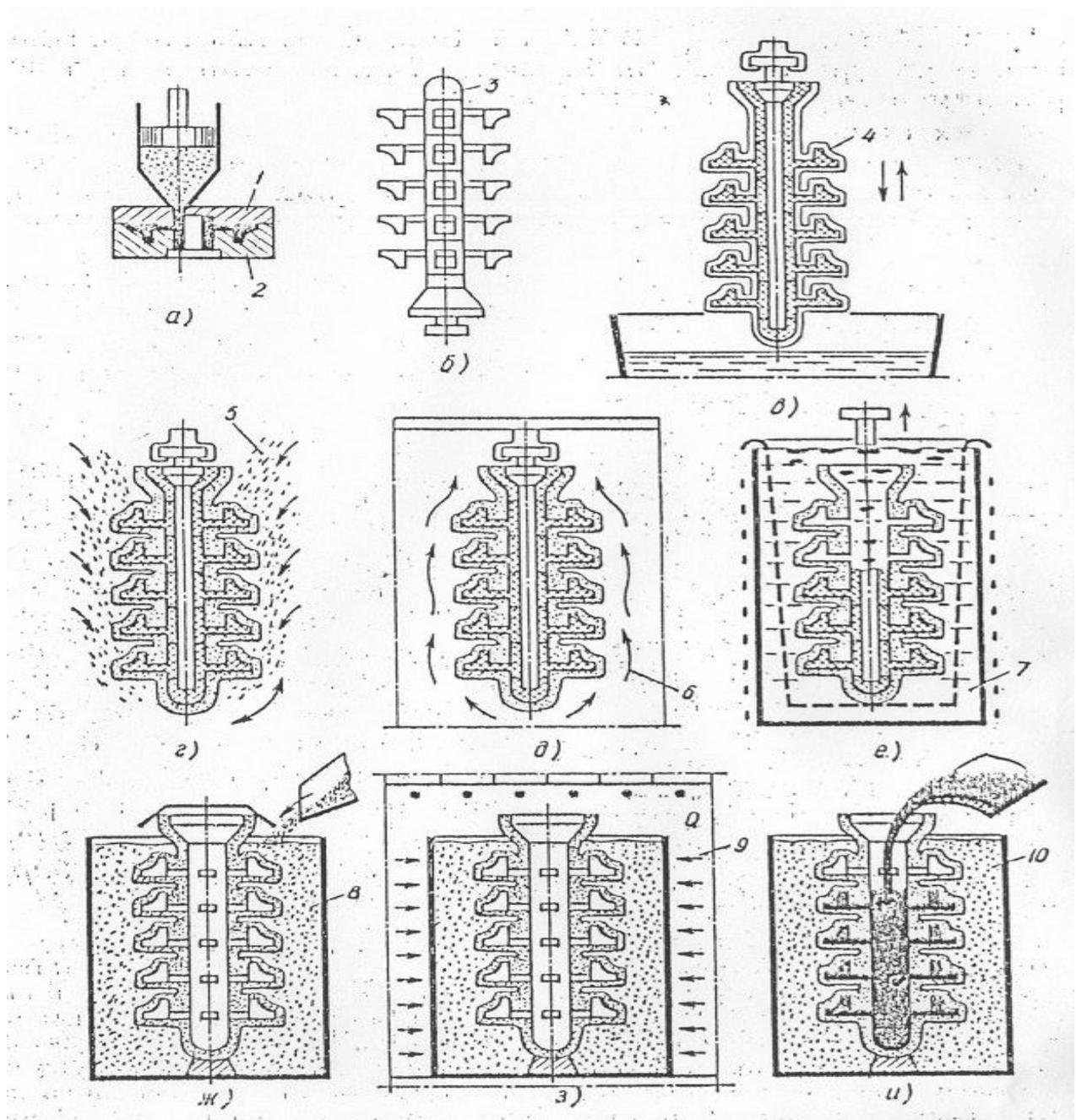


Рисунок 68 – Последовательность изготовления многослойной оболочковой формы по выплавляемым моделям: а - запрессовка модельного состава в пресс-форму; б - сборка блока; в - нанесение суспензии; г - обсыпка; д - сушка; е - удаление модели; ж - засыпка опорным материалом; з - прокалка; и - заливка формы расплавом.

1 - пресс-форма; 2 – модель; 3 – блок моделей отливок и литниковой системы; 4 – слой суспензии; 5 – огнеупорный зернистый материал; 6 – пары аммиака; 7 – горячая вода; 8 – опорный материал; 9 – печь; 10 – прокаленная форма.

Во многих случаях оболочки прокаливают в печи до засыпки

огнеупорным материалом, а затем для упрочнения их засыпают предварительно нагретым огнеупорным материалом. Это позволяет сократить продолжительность прокаливания формы перед заливкой и сократить энергозатраты. Так, например, организуется технологический процесс на автоматических линиях для массового производства отливок.

Малая шероховатость поверхности формы при достаточно высокой огнеупорности и химической инертности материала позволяет получать отливки с поверхностью высокого качества. После очистки от остатков оболочковой формы шероховатость поверхности отливок может быть от $R_z = 20$ мкм до $R_a = 1,25$ мкм.

Отсутствие разъема формы, использование для изготовления моделей материалов, позволяющих не разбирать форму для их удаления, высокая огнеупорность материалов формы, нагрев ее до высоких температур перед заливкой и др. улучшает заполняемость, дает возможность получать отливки сложнейшей конфигурации, максимально приближенной или соответствующей конфигурации готовой детали, практически из всех известных сплавов. Коэффициент точности отливок по массе (КТМ) может достигать 0,85...0,95, что резко сокращает объемы обработки резанием и отходы металла в стружку. Точность отливок может соответствовать 2...5 классам точности по ГОСТ 26645-85, а припуски на обработку резанием для отливок размером до 50 мм обычно не превышают 1,0 мм, а размером до 500 мм составляют около 3,0 мм. *Поэтому литье по выплавляемым относится к прогрессивным материало- и трудосберегающим технологическим процессам обработки металлов.*

Особенности формирования и качество отливок

Особенности формирования отливок в оболочковой форме обусловлены тем, что, как правило, перед заливкой форму нагревают до сравнительно высоких температур. Эти особенности заключаются в следующем.

1. Небольшие теплопроводность, теплоемкость и плотность материалов оболочковой формы и повышенная температура формы снижают скорость

отвода теплоты от расплава, что способствует улучшению заполняемости формы. Благодаря этому возможно получение сложных отливок из стали с толщиной стенки 0,8...2,0 мм, со значительной площадью поверхности. Улучшению заполняемости формы способствует также и малая шероховатость ее стенок, возможность использования внешних воздействий на расплав таких, как поле центробежных или электромагнитных сил, заливка с использованием вакуума и др.

2. Невысокая интенсивность охлаждения расплава в нагретой оболочковой форме приводит к снижению скорости затвердевания отливок, укрупнению кристаллического строения, возможности появления в центральной части массивных узлов и толстых (6...8 мм) стенок усадочных дефектов — раковин и рыхлот. Тонкие же стенки (1,5...3,0 мм) затвердевают достаточно быстро, и осевая пористость в них не образуется. Для уменьшения усадочных дефектов необходимо создавать условия для направленного затвердевания и питания отливок. Для улучшения кристаллического строения отливок используют термическую обработку.

3. Повышенная температура формы при заливке способствует развитию на поверхности контакта отливка - форма физико-химических процессов, которые позволяют привести изменение структуры поверхностного слоя отливки в требуемом или нежелательном направлении, т.е. к появлению дефектов поверхности.

Например, на отливках из углеродистых сталей характерным дефектом является окисленный и обезуглероженный поверхностный слой глубиной до 0,5 мм. Причина окисления и обезуглероживания отливок заключается во взаимодействии в основном кислорода воздуха с металлом отливки при ее затвердевании и охлаждении, Эти процессы достаточно подробно рассмотрены в работах.

Основные факторы, влияющие на процесс обезуглероживания - это состав газовой среды, окружающей отливку, температура отливки и формы, содержание углерода в отливке.

С увеличением содержания в среде, окружающей отливку, газов-окислителей O_2 , CO_2 и паров H_2O , при высоких температурах отливки и формы процессы обезуглероживания интенсифицируются. Поэтому небольшая скорость охлаждения отливки в нагретой оболочковой форме способствует увеличению глубины обезуглероженного слоя отливки. Увеличение содержания углерода в стали повышает интенсивность обезуглероживания поверхностного слоя отливки. Для уменьшения глубины обезуглероженного слоя используют специальные технологические приемы, основанные на предотвращении или уменьшении контакта кислорода воздуха с затвердевающей отливкой; на создании вокруг отливки восстановительной газовой среды и на быстром охлаждении, т. е. сокращении длительности реакции.

На отливках из легированных сталей следствием физико-химического взаимодействия материалов формы и отливки при высоких температурах являются точечные дефекты (питтинг), приводящие к снижению коррозионной стойкости, жаростойкости и жаропрочности отливок и их браку.

Предупредить появление этого дефекта возможно созданием восстановительной газовой среды в форме, заливкой форм в вакууме, нейтральной или защитной среде; уменьшением или устранением взаимодействия окислов отливки и формы; заменой ее огнеупорного материала, например кремнезема, высокоинертными основными (магнезитовые, хромомагнезитовые).

4. Стремление получить отливки с чистой, гладкой поверхностью вызывает необходимость использования огнеупорных материалов с малыми размерами зерна основной фракции ($< 0,05$). Это снижает газопроницаемость оболочковой формы до нескольких единиц, создает опасность образования воздушных «мешков» в форме при ее заполнении, приводит к снижению заполняемости формы и образованию дефектов отливки из-за незаполнения формы.

Эффективность производства и область применения

На основе производственного опыта можно указать следующие преимущества способа литья в оболочковые формы по выплавляемым моделям:

1) возможность изготовления практически из любых сплавов отливок сложной конфигурации, тонкостенных, с малой шероховатостью поверхности, высоким коэффициентом точности по массе, минимальными припусками на обработку резанием, с резким сокращением отходов металла в стружку; 2) возможность создания сложных конструкций, объединяющих несколько деталей в один узел, что упрощает технологию изготовления машин и приборов; 3) возможность экономически выгодного осуществления процесса в единичном (опытном) и серийном производствах, что важно при создании новых машин и приборов; 4) уменьшение расхода формовочных материалов для изготовления отливок, снижение материалоемкости производства; 5) улучшение условий труда и уменьшение вредного воздействия литейного процесса на окружающую среду.

Наряду с преимуществами способ обладает и следующими недостатками:

- 1) процесс изготовления формы многооперационный, трудоемкий и длительный;
- 2) большое число технологических факторов, влияющих на качество формы и отливки, и соответственно сложность управления качеством;
- 3) большая номенклатура материалов, используемых для получения формы (материалы для моделей, суспензии, обсыпки блоков, опорные материалы);
- 4) сложность манипуляторных операций изготовления моделей и форм, автоматизации этих операций;
- 5) повышенный расход металла на литники и поэтому невысокий технологический выход годного (ТВГ).

Указанные преимущества и недостатки определяют эффективную область использования литья в оболочковые формы по выплавляемым моделям:

- 1) изготовление отливок, максимально приближающихся по

конфигурации к готовой детали с целью снижения трудоемкости обработки труднообрабатываемых металлов и сплавов резанием, сократить использование обработки давлением труднодеформируемых металлов и сплавов, замены трудоемких операций сварки или пайки для повышения жесткости, герметичности, надежности конструкций деталей и узлов;

2) изготовление тонкостенных крупногабаритных отливок повышенной точности с целью снижения массы конструкции при повышении ее прочности, герметичности и других эксплуатационных свойств;

3) изготовление отливок повышенной точности из сплавов с особыми свойствами и структурой.

Производство отливок по выплавляемым моделям находит широкое применение в различных отраслях машиностроения и в приборостроении.

Использование литья в оболочковые формы для получения заготовок деталей машин взамен изготовления их из кованных заготовок или проката, позволяет в среднем уменьшить отход металла в стружку на 34...90%, снизить трудоемкость обработки резанием на 25...85%, себестоимость изготовления деталей на 20...80%. Однако, следует учитывать, что *экономическая эффективность существенно зависит от выбора номенклатуры отливок, изготавливаемых этим способом.* Только при правильном выборе номенклатуры деталей можно достичь высокой экономической эффективности производства.

Проектирование литниково-питающих систем

Литниково - питающая система (ЛПС) служит для обеспечения заполнения литейной формы металлом с оптимальной скоростью, исключающей образование в отливке недоливов и неметаллических включений, и компенсации объемной усадки в период затвердевания отливки с получением в ней металла заданной плотности. ЛПС должна также удовлетворять требованиям технологичности при изготовлении моделей, форм и отливок. При этом необходимо стремиться к созданию по возможности компактных ЛПС.

Излишнее их развитие ведет к перерасходу металла, завышению затрат труда, низкой эффективности использования оборудования и площадей.

Конкретная литая деталь представляет собой оригинальную конструкцию, что приводит к необходимости создания самостоятельной ЛПС для каждой отливки.

Разработку ЛПС целесообразно выполнять в четыре этапа: выбор типа системы, расчет элементов питания, расчет литниковых каналов, анализ систем.

При выборе конструкции ЛПС необходимо стремиться к соблюдению следующих принципиальных положений, направленных на получение годных отливок и на экономичность их производства:

- 1) обеспечивать принцип направленного затвердевания, т. е. последовательного затвердевания от наиболее тонких частей отливки через ее массивные узлы к прибыли, которая должна затвердевать последней;
- 2) наиболее протяженные стенки и тонкие кромки ориентировать в форме вертикально, т. е. наиболее благоприятно для их спокойного и надежного заполнения;
- 3) создавать условия для экономичного и механизированного производства отливок, в том числе: унификацию типоразмеров ЛПС и их элементов, с учетом эффективного использования оснастки, имеющегося технологического оборудования, печей, возможность применения модельных блоков и форм с металлическими каркасами, удобство выполнения и минимальный объем механической обработки при отрезке отливок и последующем изготовлении из них деталей.

ЛПС при литье по выплавляемым моделям строят из известных традиционных элементов: литниковых воронок, стояков, литниковых ходов, прибылей и коллекторов. Благодаря характерной для литья по выплавляемым моделям неразъемной форме указанные конструктивные элементы удается расположить наиболее эффективно, максимально используя объем формы. ЛПС, применяемые в современном производстве отливок литьем по

выплавляемым моделям, разделяются на восемь типов, представленных в таблице 3.

Тип 1 (Центральный стояк) – ЛПС этого типа, представленной на рисунке 69, представляет собой стояк компактного сечения, непосредственно к которому с разных сторон присоединяются небольшие отливки с одним-двумя индивидуальными питателями. Центральный стояк является одновременно и литниковым ходом, и коллективной прибылью, а питатели соответственно выполняют роль шеек прибылей.

Таблица 3 – Типы ЛПС

Ти п	Питающий элемент	Характеристика прибыли
I	Центральный стояк	} Коллективная
II	Горизонтальный коллектор	
III	Вертикальный коллектор	
IV	Вертикальный коллектор, заполняемый снизу	} Индивидуальная
V	Боковая прибыль	
VI	Верхняя прибыль	
VII	Местная прибыль и коллектор	} Расчлененная
VII	Система местных прибылей	
I		

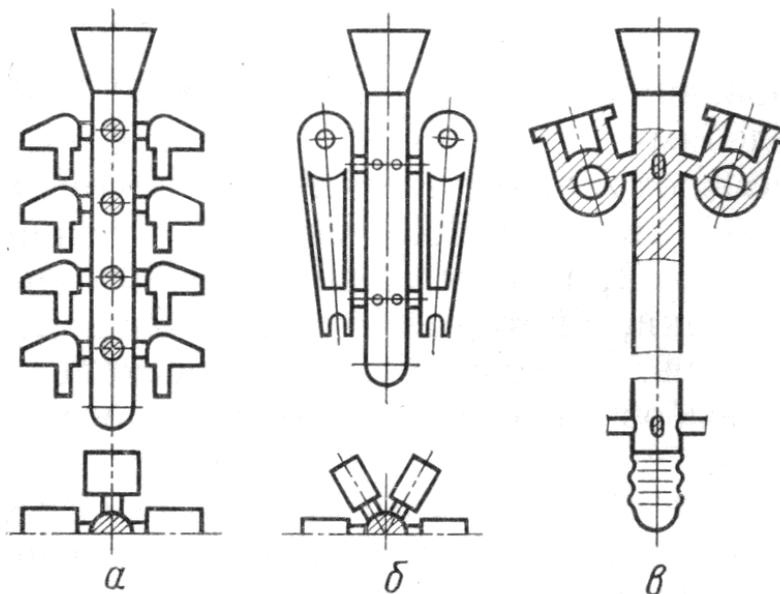


Рисунок 69 – Литниково-питающая система типа I (центральный стояк).

а – компактная с одним тепловым узлом; б – протяженная с двумя тепловыми узлами; в – проушина амортизатора автомобиля

Центральный стояк служит основой для создания комплексно-механизированного технологического процесса производства небольших отливок.

Применение унифицированного металлического каркаса в качестве несущей конструкции обеспечивает удобство звеньевой сборки модельного блока и его высокую прочность при изготовлении оболочковой формы. Уже в отлитом блоке центральный стояк надежно закрепляют в приспособлениях станков при очистке и отрезке отливок.

Тип II. Горизонтальный коллектор. ЛПС этого типа, представленной на рисунке 70, представляет собой центральный стояк, на котором в один-два яруса и более расположены горизонтальные коллекторы, обычно в виде радиальных лучей, дисков и колец.

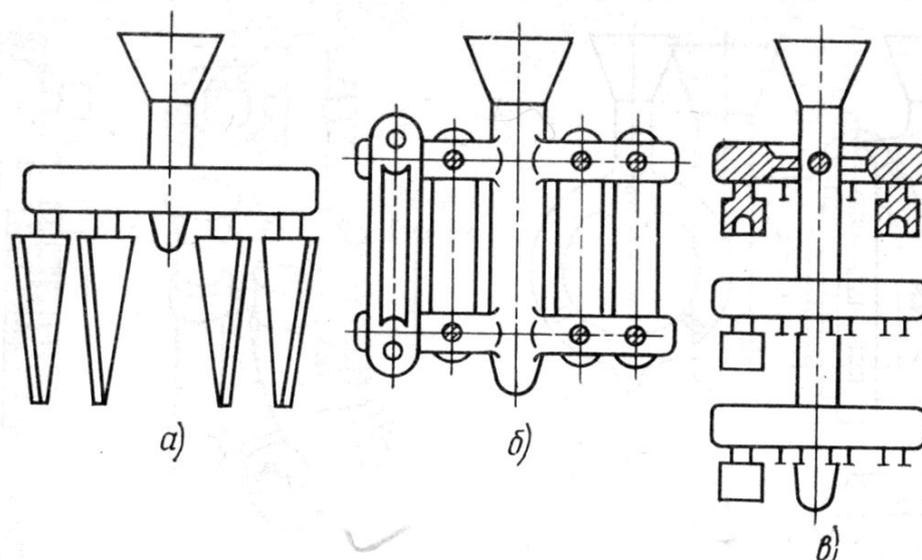


Рисунок 70 – Литниково – питающая система типа II (Горизонтальный коллектор): а – лучевой одноярусный; б – лучевой двухъярусный; в – кольцевой трехъярусный

Одноярусная ЛПС типа II имеет короткий стояк, ее применяют для протяженных отливок с одним тепловым узлом или для небольших, но компактных отливок. Двухъярусная ЛПС удобна для отливок, требующих подвода металла через два питателя. Многоярусная система типа II в ряде случаев позволяет разместить в форме большее число небольших отливок, чем система типа I. К преимуществам ЛПС типа II относится так же удобство отрезки отливок дисковым инструментом.

Тип III. Вертикальный коллектор. Обычно этот коллектор, представленный на рисунке 71, имеет вид системы заваливаемых сверху параллельных стояков, единого вертикально – замкнутого коллектора или полого стояка. Параллельные стояки применяют при литье деталей типа плиты или коробки, отличающихся распределенными в плоскости узлами. Вертикально – замкнутый коллектор позволяет эффективно питать отливку типа кольца.

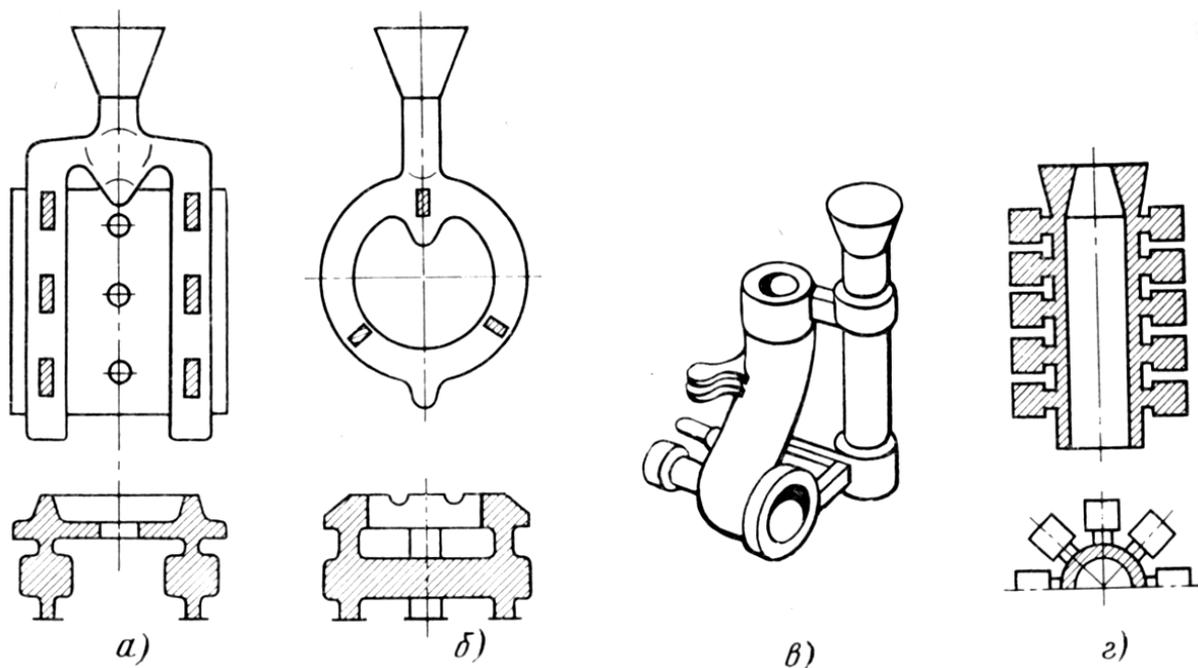


Рисунок 71 – Литниково-питающая система типа III (вертикальный коллектор):
 а – параллельные стояки; б – вертикально-замкнутый кольцевой коллектор; в - стояк с цилиндрическим коллектором для сложного патрубка; г – полый стояк.

Тип IV. Вертикальный коллектор, заполняемый снизу. Такой коллектор, представленный на рисунке 72, имеет вид обратного стояка круглого сечения. Применяют его при литье постоянных магнитов из пленкообразующих сплавов при литье под низким давлением.

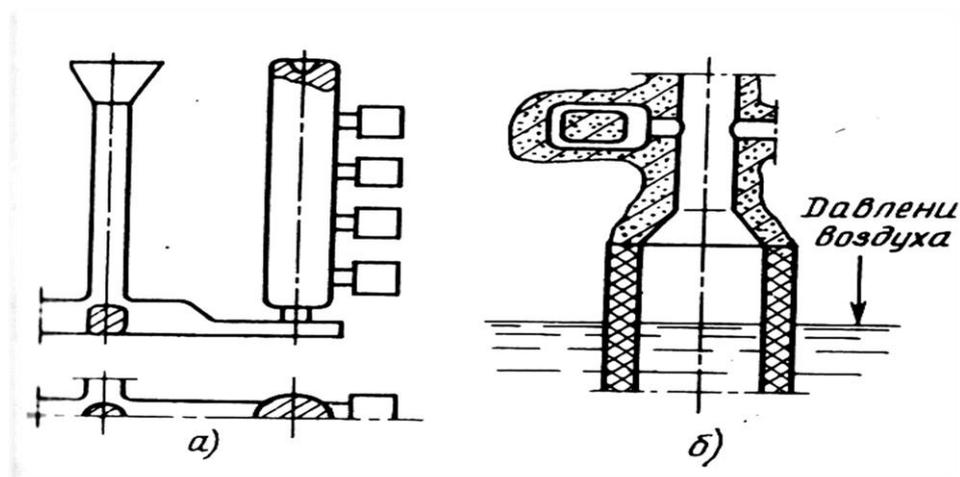


Рисунок 72 – Литниково-питающая система типа IV (сифонный коллектор): а – заливка через стояк-распределитель; б – литьё под низким давлением.

Тип V. Боковая прибыль. Эта прибыль имеет вид массивного вертикального тела, напоминающего стояк, но отличающегося от него существенно большим поперечным сечением. Боковую прибыль используют преимущественно при изготовлении крупных и протяженных отливок, при вертикальной ориентации которых обеспечивается спокойное заполнение формы снизу вверх и сосредоточение в верхней части отливки наиболее горячих порций расплава. Боковая прибыль допускает применение модели с металлическим каркасом, благодаря чему создаются условия для экономии модельных материалов и механизации технологических операций при изготовлении оболочковых форм. На рисунке 73 приведена характерная боковая прибыль, используемая при получении крупных и сложных тонкостенных отливок.

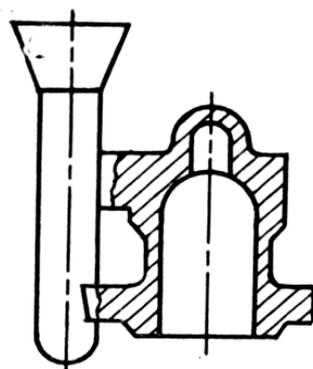


Рисунок 73 – Литниково-питающая система типа V (боковая прибыль)

Тип VI. Верхняя прибыль. Эта прибыль представляет собой массивный резервуар металла над главным тепловым узлом отливки, получаемой в одноместной форме (рисунок 74). При наличии в отливке вторичных узлов их питают от этой же прибыли через дополнительные отводы и шейки. Металл в прибыль заливают из ковша или непосредственно из тигля печи. Сосредоточение наиболее горячего расплава в верхней части прибыли приводит к созданию в форме наиболее благоприятного для питания отливки градиента температур. Отличаясь в следствии этого высокой питающей

способностью, верхняя прибыль надежно обеспечивает получение плотного металла крупных высоконагруженных литых деталей.

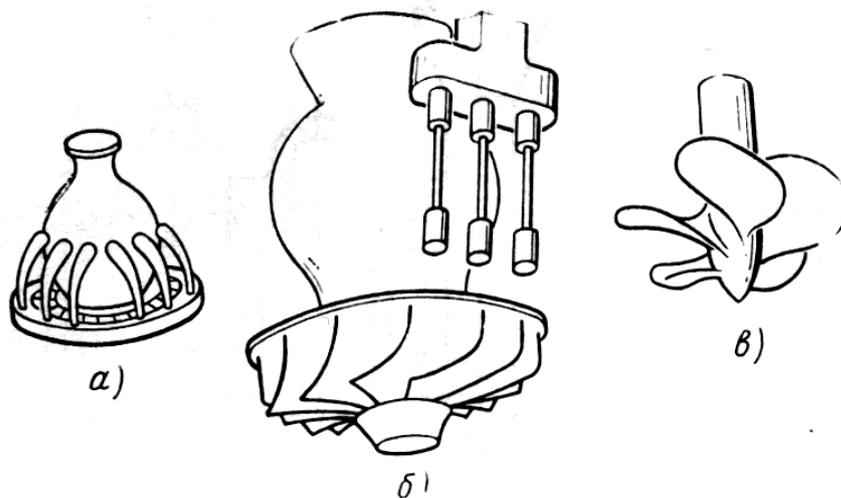


Рисунок 74 – Литниково-питающая система типа VI (верхняя прибыль)

Примеры применения: а – ротор с бандажом; б – рабочее колесо газотурбинного наддува дизеля; в – гребной винт

Тип VII. Местная прибыль и коллектор. От стояка с нижним горизонтальным коллектором осуществляется питание нижних узлов у вертикально ориентированных отливок и местных соединенных со стояком прибылей над верхним узлом каждой отливки. На рисунке 75 представлена литниково – питающая система типа VII.

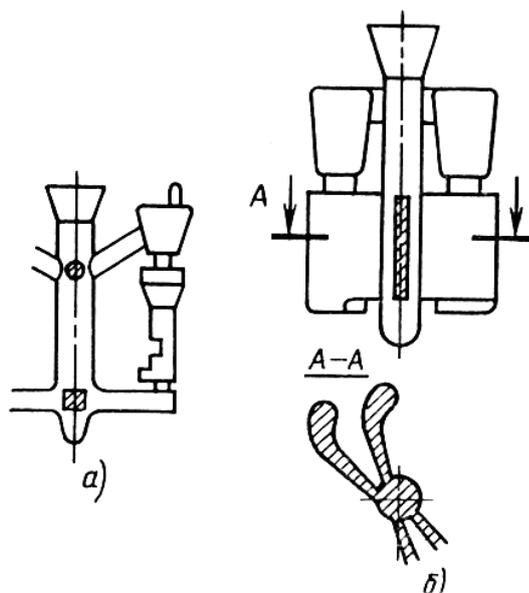


Рисунок 75 – Литниково – питающая система типа VII.

а – четырехместная при центральном расположении стояка; б – заливка лопаток через вертикальный щелевой питатель.

Эта комбинированная ЛПС обладает следующими преимуществами: происходит спокойное заполнение формы снизу, что особенно важно при литье из пленкообразующих сплавов, и обеспечивается подвод горячего расплава в прибыль к концу заливки. При центральном размещении стояка создаются условия для нескольких надежно питаемых отливок.

Тип VIII. Система местных прибылей. Каждая прибыль в ЛПС этого типа питает отдельный узел или участок протяженного узла сравнительно крупной отливки, преимущественно корпусного типа. Заливают ее обычно через стояк с литниковыми ходами. Система местных прибылей при развитой в пространстве отливке позволяет наиболее эффективно использовать ЛПС путем приближения прибылей непосредственно к питаемым ими участкам, а так же достаточно полно учесть взаимное обогревающее влияние элементов отливки и ЛПС. Примеры отливок, отливаемых с ЛПС типа VIII, представлены на рисунке 76.

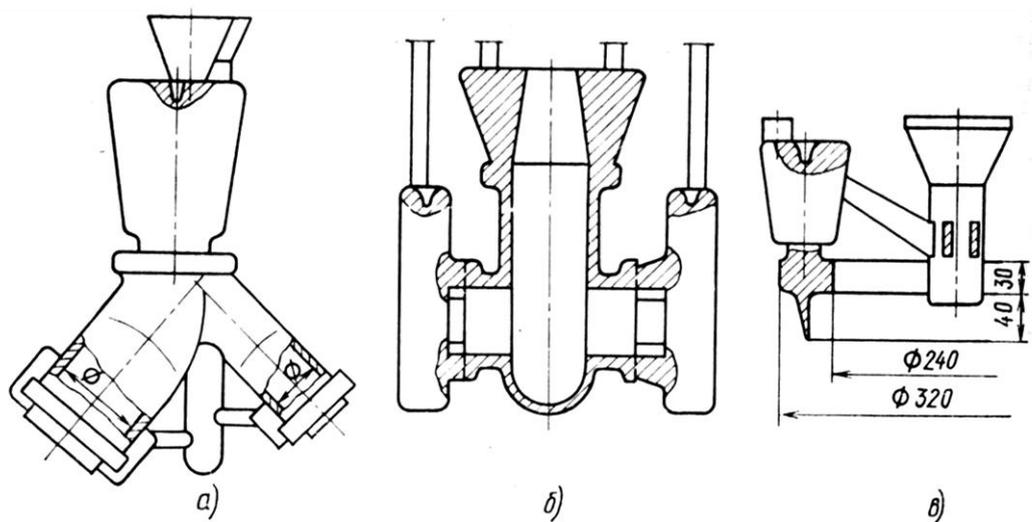


Рисунок 76 – Литниково-питающая система типа VIII (система местных прибылей): а – тройник; б – корпус вентиля; в – кольцевой корпус.

Учитывая приоритет процесса питания над процессом заполнения, за основу деления ЛПС взят вид того элемента, от которого непосредственно осуществляется питание отливки.

При выборе типа ЛПС необходимо учитывать также сочетание литья по выплавляемым моделям с другими современными методами литья, носящими частный характер, например, обеспечивать плотность соединений при литье в сборные формы, под низким давлением и центробежном.

Для отливки моноколеса турбостартера ГТД выбрана литниковая система VI типа с верхней прибылью. Заливка детали производится методом центробежного литья в вакууме.

К выбору ЛПС и процессу литья должны применяться следующие требования. Режим заполнения форм расплавом надлежит регулировать таким образом, чтобы происходило полное заполнение рабочей полости формы и в нее не проникали пена, шлаки и другие неметаллические включения, вызывающие загрязнение отливок. Регулируя режим заполнения, необходимо иметь в виду, что от него зависит образование таких дефектов, как усадочные раковины, пористость, трещины, коробление, ужимины, пригар, т. е. дефектов,

связанных с тепловыми условиями затвердевающей отливки и взаимодействием расплава с материалом формы.

Таким образом, для заполнения формы в указанном режиме литниковая система должна обеспечить заполняемость формы, ламинарное или ламинарное с минимально допустимой турбулентностью течение расплава по каналам литейной формы, задержание неметаллических включений, положительное давление металла в каналах литейной формы, рациональное распределение температуры в охлаждающейся отливке.

Режим заполнения форм расплавом регулируют конструкцией литниковой системы и размерами ее основных элементов, способствующих заполнению формы с заданной скоростью потока.

Обеспечение заполняемости и задержания неметаллических включений главным образом зависит от размеров литниковой системы и в меньшей мере от ее конструкции. Обеспечение требуемого характера течения расплава по каналам и положительного давления в них в одинаковой мере зависит как от конструкции, так и размеров литниковой системы, а на распределение температуры в отливке влияет лишь ее конструкция.

Многообразие функций литниковой системы и ее влияние на технологию изготовления литейной формы предъявляют к ней большие требования, которые, однако, можно сформулировать в виде двух основных. Во-первых, литниковая система должна выполнять свои основные функции, т. е. обеспечить качество поступающего в форму расплава и создать наилучшие условия для формирования бездефектной отливки. Во-вторых, ее конструкция должна быть простой и небольшой по объему, чтобы обеспечить высокий выход годного литья и наименьшие трудовые и материальные затраты.

Разработка технологического процесса изготовления картера ДВС методом литья по выплавляемым моделям

Согласно теоретическим сведениям, представленным выше, рассмотрим технологию изготовления картера ДВС методом литья по выплавляемым

моделям с использованием технологии быстрого прототипирования. Технология изготовления картера ДВС состоит из нескольких этапов:

I. Прототип ДВС изготавливается с помощью 3D печатной системы Objet Eden 350, отличающегося высокой точностью и качеством поверхности выращенных моделей. Процесс 3D печати дает способность реально прочувствовать процесс проектирования и получения прототипов изделий. Высококачественные фотополимерные материалы позволяют создавать прочные, высокоточные модели.

Установкой печатной системы Objet Eden 350 управляет компьютер со специальным программным обеспечением (Objet Studio и Job Manager), в котором обрабатывается STL-файл с трехмерной геометрией детали, получаемой из CAD системы NX 8.5.

Системой Eden принимаются:

- Файлы STL
- Файлы SLC

Возможности системы Eden таковы, что она может принимать оба типа файлов одновременно.

STL является сокращением от *Standard Triangulation Language*. Этот язык рассматривает любой объект как набор поверхностей и описывает каждую поверхность объекта как набор треугольников. Например, квадрат может быть описан как два треугольника; куб (шесть квадратов) как 12 треугольников. Искривленные поверхности нуждаются в большем количестве треугольников для их описания. Чем выше отклонение (для гладких поверхностей), тем большее количество треугольников необходимо. В результате, описание высококачественных объектов требует достаточно объемный файл.

Большинство ПО CAD могут экспортировать файлы STL. Системой Eden эти файлы используются для построения моделей (быстрое прототипирование) и, также, для прямого изготовления форм для серийного производства.

Файлы STL являются ASCII (text) файлами. Содержимое каждого файла начинается с "solid" и заканчивается "end-solid" (прописными буквами). Между

этими двумя ключевыми словами находится список треугольников, который описывает стороны модели. Каждый треугольник обозначает одиночный нормальный вектор, направленный от поверхности модели, затем следуют его X-Y-Z координаты. Это является расширенными Cartesian координатами и является значениями с плавающей точкой. Координаты всех треугольников должны быть положительными и должны находиться в объеме модели.

SLC является сокращением от *Stereo-Lithography Contour*. Файлы SLC описывают двухмерные контуры трехмерных моделей. Линии этих контуры являются полилиниями.

Файлы SLC являются ASCII (text) файлами, которые описывают модель как серию сечений. Это означает, что модели описанные файлом SLC не могут быть ориентированы; только их масштаб (размер) и положение на лотке могут быть изменены. По этой причине, ориентация модели в пространстве должна быть определена перед сохранением файла SLC. Из-за данных свойств файлов SLC, отображение моделей в Objet Studio может отличаться от отображения файлов STL.

Для преобразования файла в STL формат (в CAD программе NX):

1. В меню File (Файл), выбрать Save As (Сохранить как).
2. В диалоговом окне Save As (Сохранить как), открыть выпадающее меню и выбрать *.STL.
3. Кликнуть Options (Параметры) и установить следующие параметры:
 - Total Quality — приблизительно 0.1 мм (deviation tolerance / linear-отклонение размеров)
 - Detail Quality — приблизительно 4° (угловое отклонение)

Примечание: При уменьшении этих значений увеличивается точность модели, но увеличивается размер файла и время его обработки. По этим причинам, не рекомендуется использовать более низкие значения.

4. В опции file format, выбрать *binary* или *ASCII*. (Оба формата binary и ASCII могут быть использованы в Objet Studio. Однако, binary файлы меньше по объему, таким образом, рекомендуется эта опция.)

5. Кликнуть ОК (Готово) или Save (Сохранить).

При преобразовании файла в формат SLC, рекомендуется устанавливать толщину слоя в 15 микрон (0.015 мм). Так как файлы SLC нельзя вращать в Objet Studio, важно, чтобы модель была правильно ориентирована перед сохранением ее в файл SLC.

Программное обеспечение Objet для 3-D печатной системы Eden состоит из двух приложений:

- Objet Studio
- Job Manager

С помощью Objet Studio вы подготавливаете входные файлы для печати на 3D принтерах Eden. Objet Studio предоставляет вам широкий спектр возможностей по подготовке файлов к печати, но всегда использует следующие базовые процедуры:

1. Размещение одного или более объектов на лотке вывода.
2. Позиционирование объекта (ов) на лотке.
3. Конфигурирование параметров объектов и лотка.
4. Сохранение конфигурации лотка как *otf* (Objet Tray Format) файла
5. Передачу *otf файла* на 3-D принтер Eden для печати

Приложение Job Manager отличается для клиентских рабочих станций и для компьютера, подсоединенного непосредственно к 3-D принтеру Eden.

- Job Manager, установленный на непосредственно подсоединенном к принтеру компьютеру (сервере) отображает очередь всех отправленных по сети клиентскими станциями на принтер Eden работ и их статус и позволяет редактировать и манипулировать всеми работами.

- Job Manager, установленный на компьютере клиента отображает очередь и статус работ, отправленных только с данного компьютера и позволяет редактировать только эти работы.

Далее необходимо запустить приложение Objet Studio, дважды кликнув по этой иконке на рабочем столе. Запустится Objet Studio, отобразив пустой лоток вывода (рисунок 77).

Для производства моделей, необходимо открыть один или несколько файлов в Objet Studio и расположить объекты на лотке вывода. Можно расположить объекты на лотке вывода двумя способами:

- вставкой отдельного *stl* или *SLC* файла;
- вставкой объектов, которые вы скопировали в клипборд Windows.

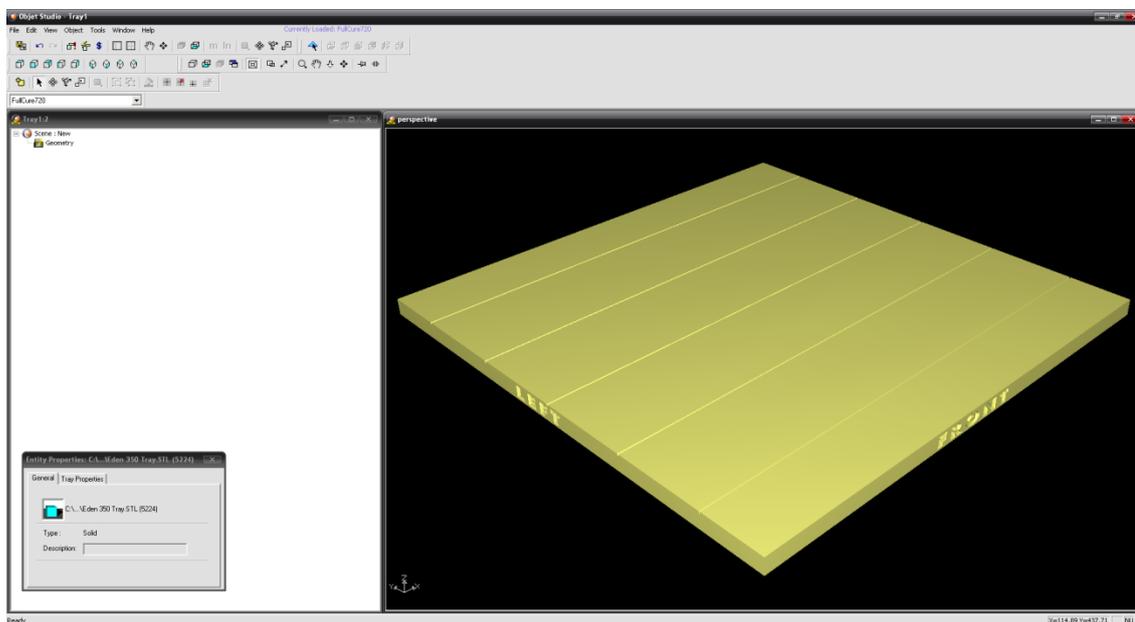


Рисунок 77 - Лоток вывода приложения Objet Studio

Если вам известно, какой тип материала необходим для производства моделей, убедитесь, что он выбран на панели инструментов.

Для размещения объекта на лотке вывода нужно открыть диалоговое окно Insert. Из меню Object, выбрать Insert, или на панели инструментов, кликнуть значок Insert Model, или кликнуть правой кнопкой мышки на лотке вывода и выбрать Insert. Появится диалоговое окно Insert (рисунок 78).

В поле Имя файла, указать необходимую папку.

В поле Тип файла, необходимо выбрать тип файлов для отображения (*stl*, *slc*).

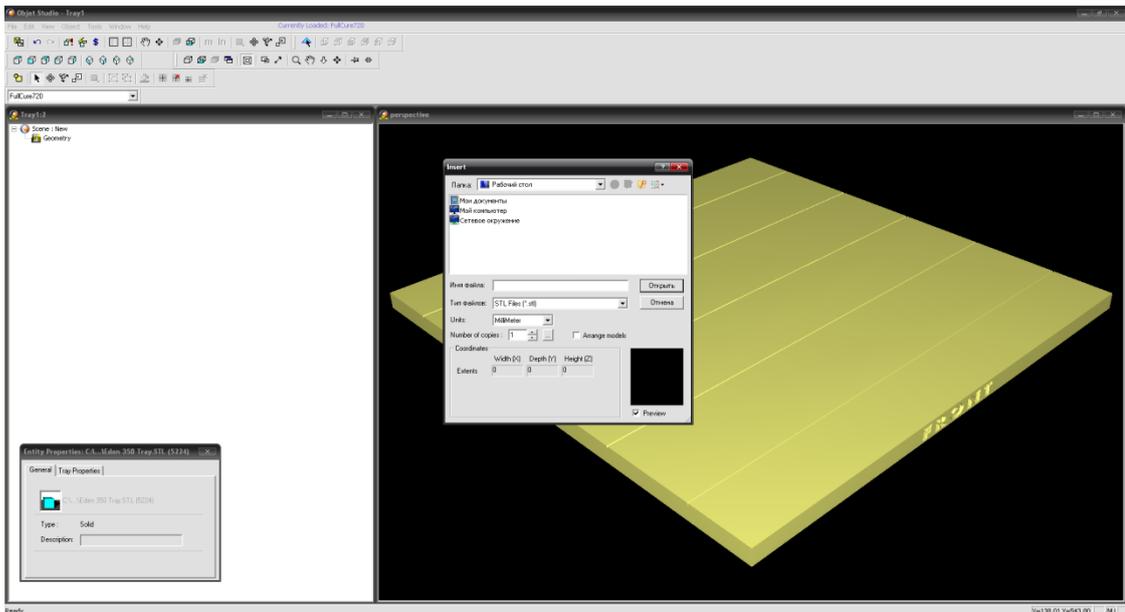


Рисунок 78 – Диалоговое окно Insert

По необходимости, можно выбрать следующие опции:

- Units — выбор миллиметров или дюймов для единиц измерения объекта.
- Number of copies — выбор необходимого числа копий выбранной модели для размещения на лотке вывода.
- Arrange models — Отметьте этот чек-бокс для автоматического размещения моделей на лотке вывода для повышения эффективности производства моделей.

Нажать Открыть.

Диалоговое окно закроется, и Objet Studio разместит модели на лотке вывода, как показано на рисунке 79.

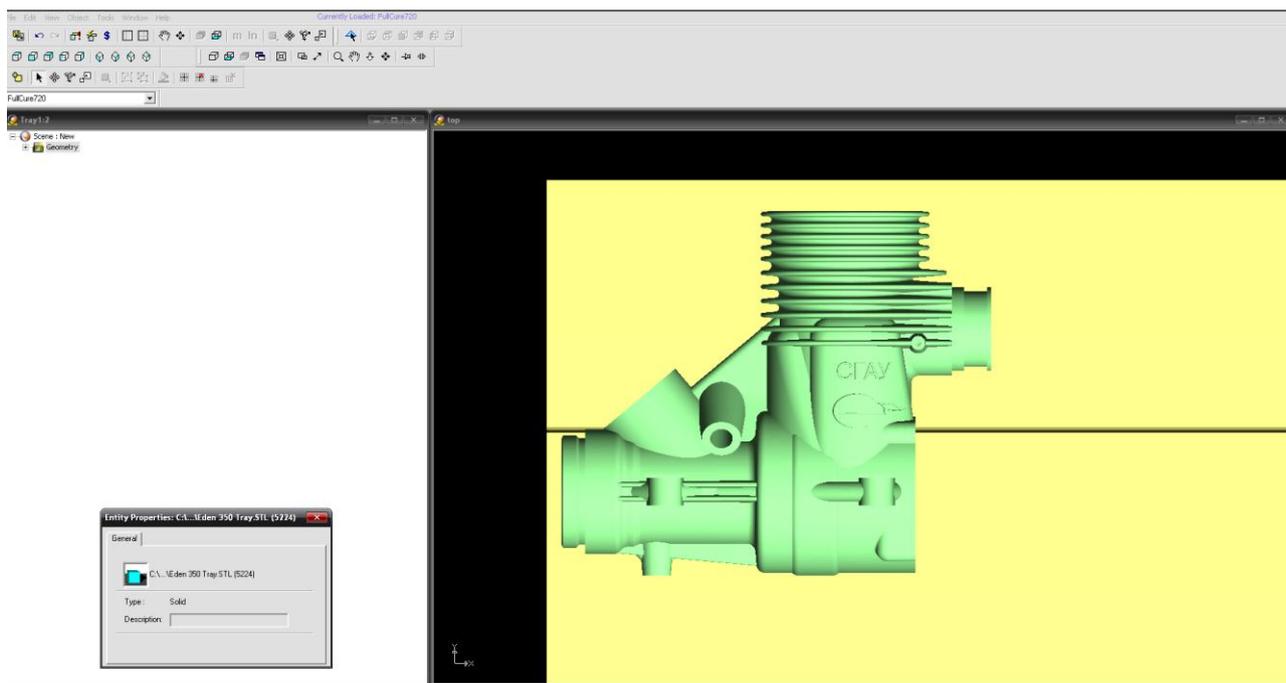


Рисунок 79 – Расположение модели картера ДВС на рабочем столе 3D принтера

Для эффективного производства моделей и с требуемой отделкой важно аккуратно расположить объекты на лотке вывода. Objet Studio располагает функцией автоматического расположения объектов. Тем не менее, необходимо проверить, что объекты ориентированы логически.

Существует два способа расположения объектов в Objet Studio на лотке вывода.

Каждый раз, когда объект помещается на лоток вывода, необходимо выбрать *Arrange models* в диалоговом окне *Insert*. Когда вы кликните *Open*, Objet Studio вставит новый объект и упорядочит все объекты на лотке вывода.

После размещения нескольких объектов на лотке вывода, выберите *select Tools > Automatic Placement*.

Присутствует возможность вручную расположить объекты на лотке вывода — даже, если они были автоматически упорядочены (используя опцию *Arrange models* в диалоговом окне *Вставка*).

Ориентация моделей на лотке вывода влияет на скорость и эффективность их производства на 3D принтере, где и сколько будет использовано материала модели и будет или нет поверхность модели

глянцевая. Тем не менее, вам необходимо учесть разные факторы при решении как будет размещена модель на лотке, используя следующие правила размещения.

X-Y-Z Правило.

Данное правило основывается на внешних размерах модели.

Т.к. печатные головки перемещаются вдоль оси X, время печати вдоль этой оси относительно невелико, по сравнению со временем печати вдоль оси Y и Оси Z. С этой точки зрения, рекомендуется для размещения объектов располагать их максимальным размером вдоль оси X.

Т.к. модели с высоким разрешением строятся вертикально, вдоль Оси Z слоями по 16-микрон, очень много времени занимает печать высоких объектов. С этой точки зрения, рекомендуется для размещения объектов располагать их минимальным размером вдоль Z- оси.

Т.к. размер печатных головок составляет около 2 дюймов (5 сантиметров) по Y-axis, модели с размерами меньше указанного (по оси Y) печатаются за один проход. С этой точки зрения, рекомендуется для размещения объектов intermediate dimension вдоль оси Y.

Tall-Left правило.

Это правило относится к моделям, которые были ориентированы на лотке вывода согласно другим соглашениям и одна из сторон которых выше, чем другая.

Т.к. печатные головки перемещаются вдоль X слева на право, часть, которая выше требует холостого прохода печатных головок начиная слева до достижения модели. Если, с другой стороны, высокая часть модели размещена слева лотка, печатным головкам требуется перемещаться только в границах модели - после того, как более низкая часть модели будет закончена. Таким образом, вам необходимо располагать более высокую часть модели, когда это возможно, слева. Следующие правила основываются на том факте, что материал поддержки не должен находиться сверху печатаемой модели.

Recess-Up правило.

Данное правило касается моделей, содержащих не сплошные поверхности.

Поверхности, имеющие пустоты, отверстия, и т.п. должны, по возможности, быть размещены лицом вверх.

Fine-Surface правило

Данное правило касается моделей, которые имеют одну сторону с мелкими деталями (такие, как лицевая сторона телефона с клавишами).

Сторона модели, содержащая мелкие детали должна, по возможности, быть размещена лицом вверх. В этом случае поверхность получится гладкой и ровной.

Правило исключения материала поддержки

Данное правило касается моделей, которые имеют большие отверстия или пустоты, открытые как минимум с одной стороны (такие, как трубки или глубокие крышки).

Рекомендуется печатать такие модели стоящими вертикально, чтобы материал поддержки не заполнял пустоты, даже, если объект будет напечатан намного быстрее, если его положить горизонтально.

После расположения модели на лотке вывода, согласно рассмотренным правилам, вычисляем необходимое количество материала поддержки и основного материала, а также времени печати. Для выращивания модели картера ДВС на 3D печатающей системе Eden понадобится 75 грамм основного материала (FullCure 720) и 122 грамма (FullCure 705) материала поддержки, а время печати составит 4 часа 50 минут.

Автоматически запускается приложение Job Manager (рисунок 80), которое будет показывать ход выполнения распечатки модели.

После печати моделей, необходимо дать им остыть в течение максимально долгого возможного времени перед выполнением дальнейших действий с ними. Если не требуется сразу же продолжать печать других моделей на принтере Eden, оптимально дать моделям остыть прямо в принтере с закрытыми крышками, столько по времени, сколько это возможно.

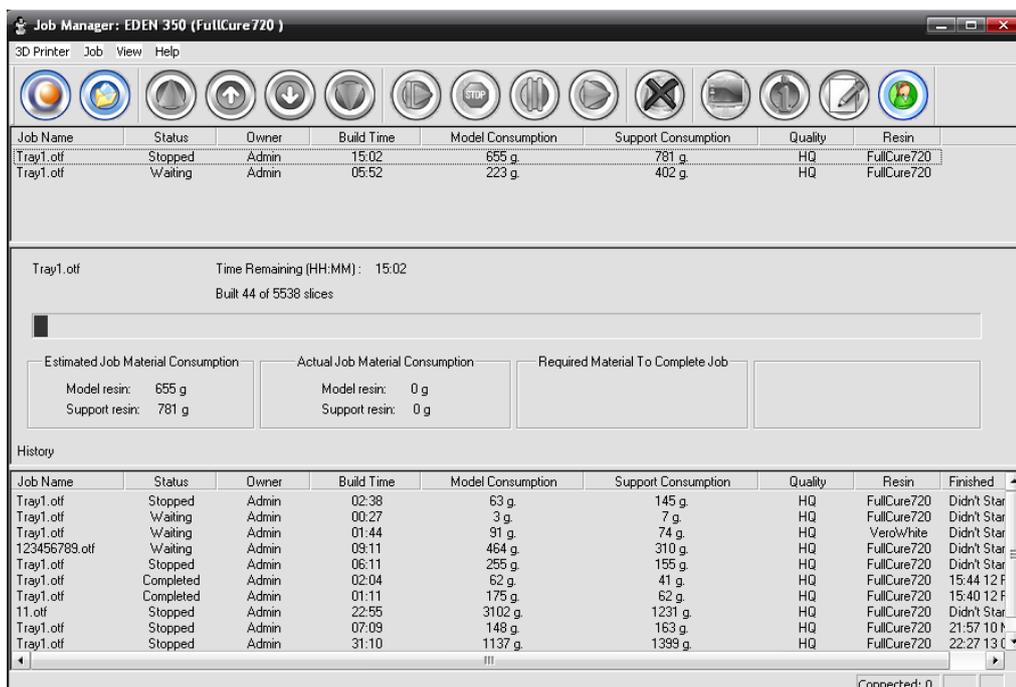


Рисунок 80 – Интерфейс приложения Job Manager

После того, как отпечатанные модели остыли, можно удалять материал поддержки. Это можно сделать разными способами, зависящими от размера модели, насколько она хрупкая, от количества материала поддержки и расположения его в модели, а также от других факторов.

В итоге получили прототип двигателя внутреннего сгорания тягой 2 л.с. с помощью 3D печатной системы Objet Eden 350, использующего технологию многоструйного нанесения материала и отверждающего слоя УФ-лампой (рисунок 33).



Рисунок 81 – Изготовленный прототип картера ДВС тягой 2 л.с.

II. Затем необходимо удалить материал поддержки (FullCure 705) при использовании струи воды под давлением в течении 20 минут. Одной из подходящих для этого систем является модуль очистки водой Objet WaterJet (рисунок 82). Для очистки модели с помощью этого устройства, необходимо положить ее в камеру, загерметизировать камеру, продеть руки в водонепроницаемые рукава и использовать форсунки с водой под давлением для удаления материала. Специальный компрессор забирает воду из обычного водопроводного крана и подает ее под большим давлением в камеру чистки. Щетка, аналогичная автомобильным дворникам, очищает смотровое окно от брызг воды.



Рисунок 82 - Модуль очистки водой Objet WaterJet

III. Затем необходимо погрузить модель в 10-15% процентный раствор каустической соды (гидроксид соды) для удаления материала поддержки из труднодоступных мест и для придания поверхности модели меньшей шероховатости.

IV. Повторно промываем модель в модуле очистки водой Objet WaterJet в течении 20 минут

V. Подготовка модели к созданию силиконовой эластичной формы: В частности необходимо обработать поверхность прототипа мелкозернистой наждачной бумагой (2 часа), сформировать линии разъема (30 минут), по

которым, впоследствии, будет разрезаться силиконовая форма (рисунок 83), приклеить заливную горловину и выпоры (30 минут) и собрать короб (20 минут).

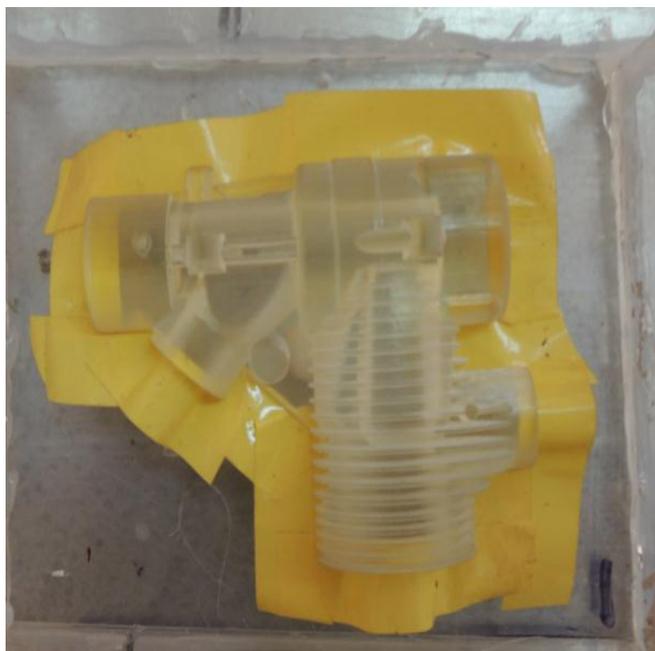


Рисунок 83 – Формирование поверхности разъема

Линия разъема формы предусматривается для обеспечения возможности извлечения модели после изготовления формы. Разъем модели необходим для удобства формовки. Разъем оформляется плоскостью, которая может быть прямой или сложной в зависимости от конфигурации отливки. На чертеже плоскость просматривается как линия. Поэтому в терминологии употребляется название «линия разъема».

Число отъемных частей должно быть минимальным; при массовом и серийном производстве, если нельзя изменить конструкцию отливки, их следует заменять стержнями.

Количество стержней должно быть минимальным; по возможности стержни следует заменять болванами, особенно на автоматических линиях формовки, или несколько отдельных стержней заменять одним общим; в единичном производстве для возможности замены стержней болванами следует применять парные модельные плиты по типу машинной формовки.

Разъем формы должен быть таким, чтобы все или основные стержни устанавливались в нижней полуформе и обеспечивали тем самым максимально удобные процессы сборки формы, ее отделки, окраски и просушивания, а также контроль установки стержней. Базовые поверхности отливок должны быть расположены в одной полуформе с обрабатываемыми поверхностями, а также с фланцами и приливами, связанными с базовыми жесткими размерами; части детали, не допускающие относительного взаимного смещения, должны также располагаться в одной полуформе; если же разъем формы не допускает их расположения в одной полуформе, то ответственные поверхности должны занимать в форме строго определенное положение по отношению к базовым, что достигается применением специальной оснастки и средств контроля.

Для обеспечения равномерной толщины стенок отливок линии разъема формы и стержня должны совпадать, а величины их формовочных уклонов должны быть одинаковыми. Для повышения точности отливки ее следует располагать в одной полуформе, что обязательно для отливок, формируемых в почве или неспаренных опоках; с этой же целью фиксацию стержней следует производить в той части формы, в которой оформляются все или большинство наружных поверхностей отливок.

Разъем формы должен обеспечить наименьшее количество дефектов по перекосам, а также минимальную протяженность литейных швов по поверхностям отливок и, соответственно, заливок; если же заливок не избежать, то их обработка не должна вызывать затруднений; на базовых поверхностях отливок литейные швы и заусеницы не допускаются.

Разъем формы должен быть таким, чтобы обеспечить удобный вывод газов из всех стержней, болванов и углубленных (при почвенной формовке) участков формы.

Одним словом, изготавливается специальный технологический контейнер из оргстекла, в который затем помещается мастер-модель. В контейнере модель закрепляется надлежащим образом: приклеиваем вторую систему выпоров к

нижнему основанию. Склеиваем контейнер из оргстекла при помощи термокля, отступая от самой детали 1.5-2 см.

VI. Следующим этапом, является расчет необходимого объема силикона для заполнения контейнера из оргстекла. Для этого необходимо определить объем получившегося короба в сантиметрах (перемножить ширину, длину и высоту) и умножить результат на коэффициент плотности силикона (приблизительно равен 1,1). Полученное числовое значение соответствует массе необходимого силикона.

Используем силикон Пент эласт-750. Взвешиваем на весах компонент А (700 г.) и подмешиваем компонент Б в соотношении 1:1. Смешиваем компоненты в течение 3-х минут (рисунок 84). Вакуумируем 20 минут. Получившуюся провакуумированную смесь вливаем в короб с моделью и вакуумируем еще раз 20 минут.

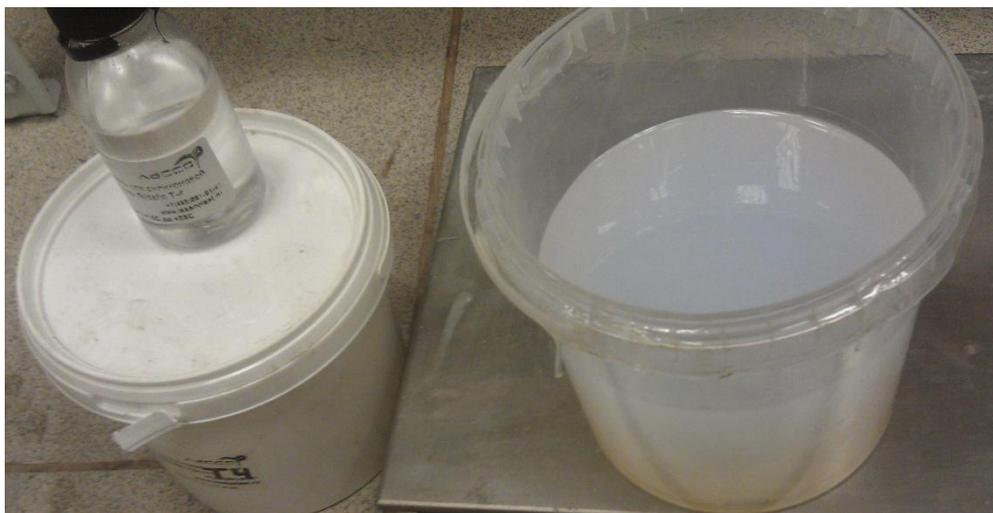


Рисунок 84 – Смешивание силиконовой массы с отвердителем

VII. Заполненная силиконовая форма переносится в специальную термическую камеру (40°C термошкаф) для полной полимеризации, где отвердевает полиуретан.

Процесс застывания длится в течение суток при комнатной температуре. Затем полученная емкость разрезается на две части по волнистой линии и извлекается мастер-модель (30 минут). Подобные силиконовые формы можно эффективно использовать порядка 50 раз (рисунок 85). Как правило, они

используются для получения опытных образцов деталей и небольших партий деталей из пластмассы любых габаритов и уровня сложности. По своим техническим свойствам детали, отливаемые в силиконовых формах, могут быть термостойкими, жесткими, эластичными – в зависимости от используемых материалов. Несмотря на то, что эта технология известна достаточно давно, ее актуальность и результативность подтверждается и в наше время



Рисунок 85 – Силиконовая эластичная форма

VIII. После того как будет подготовлена силиконовая пресс-форма используется установка вакуумного литья полимерных материалов МТТ С4/05 (рисунок 86). Эта установка позволяет отливать детали сложной формы. Также эта установка экономит до 90% денежных затрат и затрат по времени, в отличие от изготовления прототипа при использовании традиционных технологий. Является возможным изготовление прототипов любых текстур, форм и цветов. Перед заливкой происходит дегазация материала, что позволяет исключить пористость структуры и поверхностные дефекты.

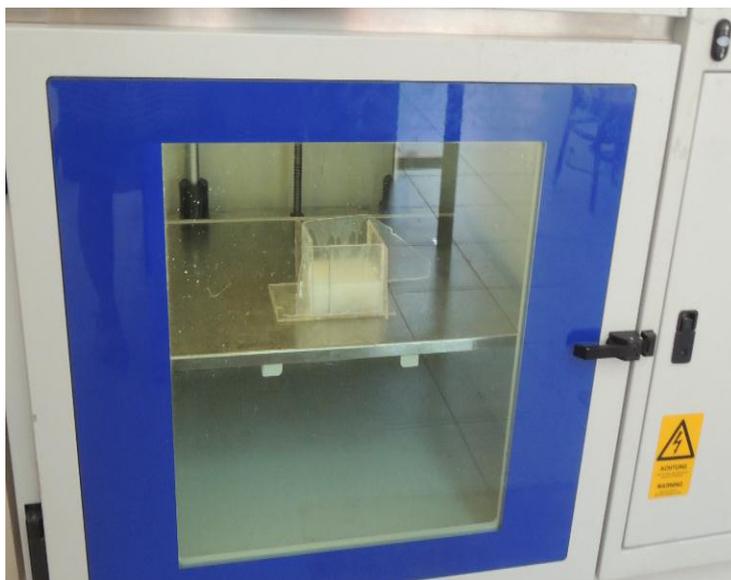


Рисунок 86 – Установка вакуумного литья полимерных материалов МТТ С4/05

Прогреваем форму в термощкафу при 80°С в течение 2-х часов перед заливкой. Затем собираем разрезанную силиконовую форму по линиям разъема, скрепляем все части формы скобами (рисунок 87).

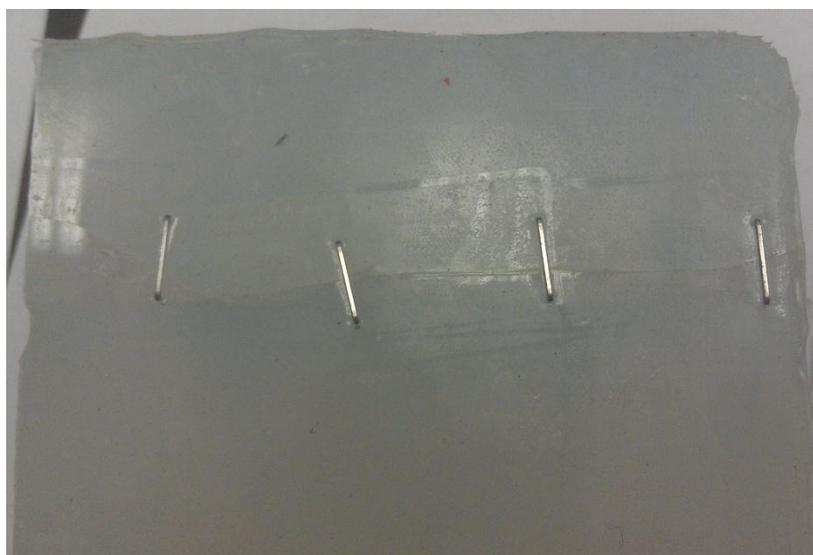


Рисунок 87 - Сборка силиконовой формы

После изготовления эластичных форм приступают к изготовлению восковых моделей. В общем случае одноразовые модели по способу их удаления из формы подразделяются на выплавляемые, растворимые и выжигаемые (газифицируемые). К выплавляемым моделям предъявляется ряд

требований: высокие механические характеристики, способность сохранять форму при длительном хранении, малая шероховатость поверхностного слоя, обеспечение четкости воспроизведения (четкость контура), твердость. При этом модельные составы должны быть:

- однородными;
- иметь минимальные усадку (при охлаждении) и расширение (при нагревании и выплавлении);
- достаточную жидкотекучесть в вязкоподвижном или пастообразном состоянии;
- температуру размягчения выше 40°C, плавления — 50-90°C;
- высокую теплопроводность;
- не прилипать и не взаимодействовать с эластичной и литейными формами;
- хорошо паяться;
- иметь плотность ниже 1000 кг/м³;
- быть экологически чистыми и безвредными как в исходном состоянии, так и при выплавлении (вытопке) и прокалке форм.

Таким образом, перед заливкой восковой массы в собранную силиконовую форму, последнюю необходимо поместить для прогрева в 80°C термошкаф на 1,5 - 2 часа (рисунок 88). В это время в вакуумной камере растапливаем модельный воск.



Рисунок 88 – Прогрев силиконовой формы

По истечении 1,5 – 2 часов ставим прогретую форму в вакуумную машину, вставляем заливную трубку в заливную горловину формы (рисунок 89). Вакуумируем 20 мин. и заливаем воск в силиконовую форму.



Рисунок 89 – Процесс заливки модельного воска в форму

Оставляем залитую форму до полного застывания воска. Затем снимаем скобы с линий разреза, разбираем силиконовую форму, аккуратно достаем полученную восковую деталь картера (рисунок 90).

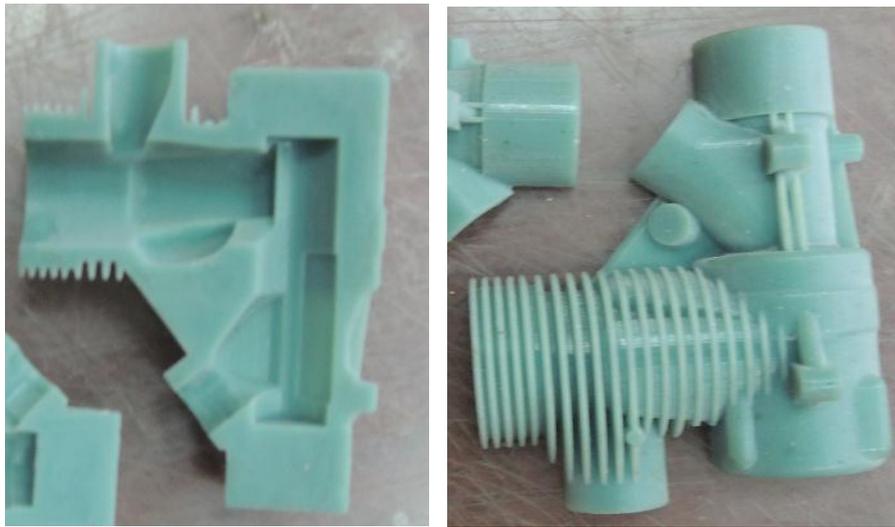


Рисунок 90 – Восковая модель картера ДВС

IX. Литье в гипсовые формы В гипсовых формах получают Мелкие и средние отливки массой в несколько десятков килограммов и длиной до 2—3 м. Гипсовые формы не коробятся при заливке, Поэтому точность получаемых в них отливок выше, чем в более дорогих керамических формах. Выход годного металла несколько больше, чем при литье в песчано-глинистые формы.

В гипсовых формах можно получать тонкостенные отливки, так как гипс может быть нагрет до температуры 600— 700°С без разрушения. Такой нагрев способствует лучшему заполнению жидким металлом узких полостей в форме. Одним из ценных свойств гипса и формовочных материалов на его основе

является способность давать гладкий и чистый отпечаток. Эта способность сохраняется и тогда, когда в смесь вводят крупнозернистые пески.

Добавка асбеста в гипс резко уменьшает количество трещин при высушивании и прокаливании формы. Гипсовый формовочный материал содержит огнеупорный кварцевый песок, шамотный порошок, маршаллит, армирующую добавку — асбест, связующее вещество - гипс. Особенности гипсовых смесей является хорошая текучесть при добавлении в смесь воды, а также низкая теплопроводность по сравнению с известными формовочными материалами. Это позволяет медленно заполнять форму и создавать направленное затвердевание. Прочность гипсовой формы можно изменить введением различных добавок. В гипсовых формах получают отливки из цветных сплавов с температурой плавления не выше 1200°C. В отличие от цементного связующего, требующего для отверждения нескольких часов, гипс затвердевает за 5—15 мин.

Природное соединение $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ называют гипсовым камнем. Гипсовый камень разлагается при температуре 107°C по реакции $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} + 1,5\text{H}_2\text{O}$

Полугидрат $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ обладает вяжущими свойствами. Процесс твердения происходит постепенно при добавлении 30—70% воды к массе полугидрата. Смесь воды и гипса вначале представляет собой пластичную массу, затем теряет подвижность и затвердевает.

Асбест — волокнистый минерал. Формула его химического соединения $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (гидросиликат магнезия). Особенностью асбеста является его способность разделяться на более мелкие волокна. Асбест не горит, но при нагреве до 800°C теряет кристаллизационную воду $2\text{H}_2\text{O}$ и рассыпается в порошок.

Гипсовый формовочный материал должен обладать невысокой прочностью с тем, чтобы оказывать небольшое сопротивление усадке затвердевающего металла. Такой формовочный материал легко выбивается и вымывается горячей водой. При смешивании не должна образовываться пена.

Отливку картера из алюминиевого сплава производят следующим образом. На металлическую плиту устанавливают восковую модель картера. Модельный комплект покрывают слоем разделительной смазки на основе стеарина и керосина. Готовят формовочную смесь и заливают ее в опоку. После затвердевания опоку снимают, переворачивают, развешивают отверстия под штыри, устанавливают стояк, выпор; смазывают эти детали разделительной смазкой, ставят верхнюю литейную опоку. Затем заливают гипсовую смесь, выдерживают форму до отверждения, разбирают форму и удаляют за специальные подъемы части модели. Отдельные, несложные по конфигурации отливки оформляют в одной половине формы, другой ее частью может служить холодильник или плита.

Модель отлитого картера двигателя внутреннего сгорания представлена на рисунке 91.



Рисунок 91 – Алюминиевая модель картера ДВС

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕСССОВ ЛИТЬЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Сложность и высокая стоимость объектов и изделий современного развивающегося авиационного и машиностроительного комплекса делает

обязательным применение этапа виртуального моделирования на всех циклах технологического производства.

Компьютерный анализ литейных процессов на этапе виртуального проектирования технологии литья (до изготовления отливок) позволяет минимизировать возможные просчеты и ошибки, неизбежно возникающие в процессе разработки, снизить финансовые и временные затраты, повысить эффективность, конкурентоспособность, качество и надежность разрабатываемой продукции. Происходит экономия материалов, энергоносителей, рабочего времени, бережется оборудование, а взамен получается масса уникальной информации о технологическом процессе. Только компьютерное моделирование технологии позволяет «заглянуть» внутрь изделия, увидеть характер протекающих в нем процессов, понять причины возникновения дефектов.

Внедрение компьютерных технологий позволяет повысить эффективность операций создания и обработки информации, происходит реальный переход от бумажного документооборота к электронному.

При внедрении компьютерных технологий снижаются расходы, уменьшается трудоемкость проектирования и освоения производства новых сложных изделий. На 30...40 % уменьшаются расходы на подготовку технологической документации. Более чем на 35 % сокращаются сроки выпуска новых сложных изделий.

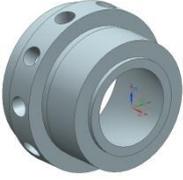
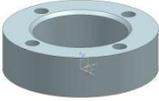
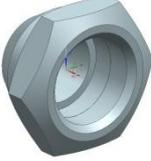
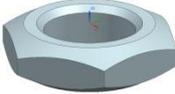
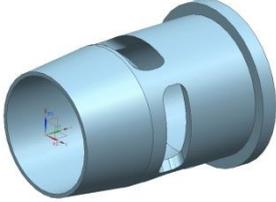
Применение компьютерных технологий в литейном производстве в значительной степени связано с обработкой, поступающей от САД-систем конструкторских подразделений информации о создаваемом изделии в виде электронных моделей деталей. Информация о технологических процессах, применяемых в литейном производстве, поступает в виде математических моделей, создаваемых в результате деятельности САЕ-систем. Виртуальное литейное производство, созданное на базе современной САЕ-системы ProCast не только моделирует затвердевание отливки (тепловая задача), но и позволяет прогнозировать макро и микроструктуру отливки, а также создает

информационную картину электронной модели отливки. По созданной электронной модели отливки, с использованием технологии быстрого прототипирования (аддитивных технологий), может быть быстро получена достаточно точная материальная модель, необходимая для изготовления отливки в литейном производстве.

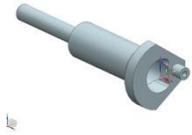
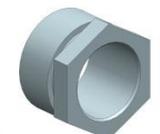
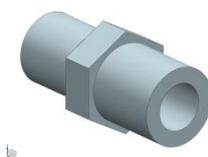
Ключевым звеном виртуального производства литых заготовок служит программное обеспечение моделирования процесса затвердевания отливки и формирования макро и микроструктуры. Выбор программного обеспечения зависит от применяемых процессов литья и номенклатуры выпускаемой продукции.

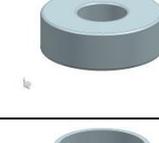
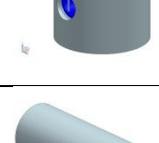
На основании чертежей в программном продукте NX 8.5 были построены модели, входящие в состав двигателя внутреннего сгорания тягой 2 л.с. (таблица 4).

Таблица 4 – Спецификация моделей ДВС тягой 2 л.с.

	Наименование	3D модель
	bolt11	
	coplo	
	Derzatel_svechi	
	gaika fiksir	
	Gaika(latun l-68)	
	Gilza	
	igla	

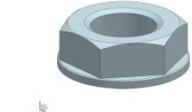
Продолжение таблицы 4

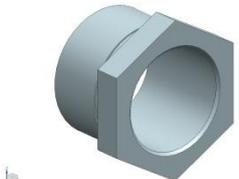
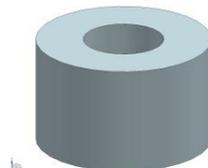
	KAl_val2	
	Karter	
0	konus	
1	korpus_jikler	
2	Krishka	
3	model2	
4	Modul_KS(isp)	
5	Nakon	

6	Nar_kolco_podsh_ N1	
7	Obtekatel_vinta	
8	pobka_palca	
9	podshipnik_perd	
0	Porsen_Satun_SB	
1	Porsh_pal	
2	Porshen	
3	pro454545	
4	probka_vala	

5	procladka2	
6	procladka3	
7	procladka45	
8	prokcladka_jekler	
9	Prokl_podsh_pered	
0	R_T_1(1)	
1	R_T_3	
2	Rashodnay_shaiba	

Продолжение таблицы 4

3	Separator_podzh_N 1	
4	Shaiba_opor	
5	Shatun	
6	shtucer	
7	silikon_prokl	
8	Spec_gaika	
9	Spec_gaika_2	
0	Spec_shaiba	

1	stopornie_kolco	
2	Svecha	
3	Vint-spec	
4	vnulka_vinta	
5	vtulka_podsh_pere d	
6	vtulka223verxxxx	
7	vtulkanizzzz	
8	zashelka	

Завершающим этапом является процесс сборки всех агрегатов ДВС в единый узел. Результат 3D моделирования двигателя внутреннего сгорания тягой 2 л.с. представлен на рисунке 92.

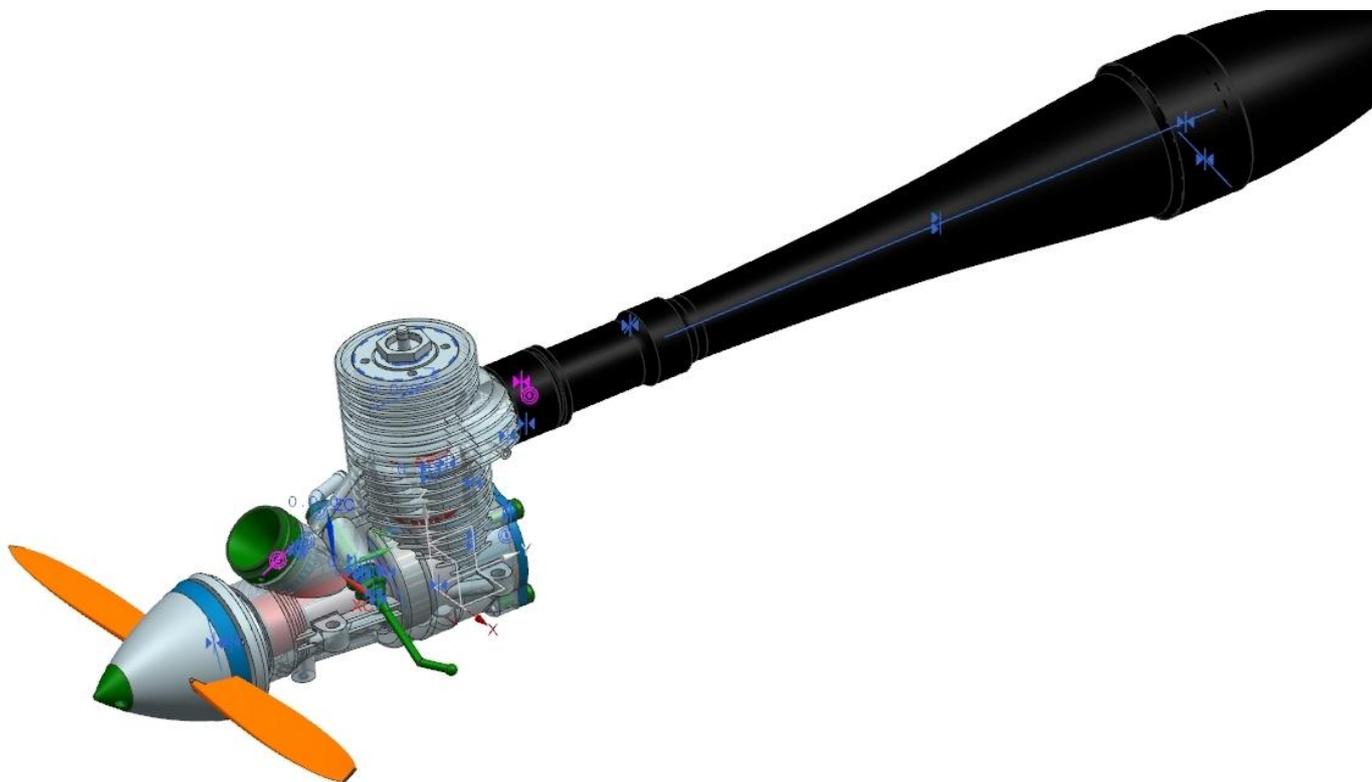


Рисунок 92 – Сборка двигателя внутреннего сгорания

Для литья деталей аэрокосмического назначения, деталей с тонкими стенками, тонкими ребрами, щелевыми каналами сложной формы, например, лопаток газотурбинного двигателя (ГТД), преимуществом обладает метод конечных элементов (FEM), позволяющий более точно передать геометрию отливки, который используется в программном продукте ProCAST.

Этапы моделирования включают в себя подготовку геометрии (3D-модель литейного блока и 3D-сетку), определение теплофизических свойств материалов, задание граничных условий (воспроизведение реального технологического процесса).

Для проведения численных расчетов необходимо задать физические и усадочные (теплофизические) свойства материала отливки.

Для моделирования литейных процессов нужны свойства сплава при температурах вблизи температуры точки солидус и выше.

Скорость охлаждения расплава, геометрия отливки существенно влияют на тепло и массообмен, полноту протекания диффузионных процессов на фронте кристаллизации. Это определяет фазовый состав сплава, распределение твердой фазы в интервале кристаллизации и температуру точки солидус. Температура плавления (температура ликвидус) - это температура, при которой вещество переходит в полностью жидкое состояние. Температура затвердевания (температуру солидус) - это такая температура, при которой вещество переходит полностью в твердое состояние.

В точной математической постановке система уравнений, описывающая процесс затвердевания отливки, должна включать уравнение диффузии в расплаве и твердой фазе.

Программный комплекс ProCAST позволяет решать практически любые технологические задачи, связанные с литьем металлов. ProCAST позволяет моделировать любую литейную технологию:

- любая гравитационная заливка (литье в кокиль, в ПГФ, по выплавляемым моделям и т.д.);
- литье под регулируемым давлением (литье под высоким давлением, литье под низким давлением, литье с противодавлением, литье вакуумным всасыванием и т.д.);
- центробежное литье;
- непрерывное литье;
- литье по газифицируемой модели.

Программа ProCAST имеет отличный встроенный генератор 2D и 3D сеток, позволяющий получить максимально корректную расчетную сетку за минимальное время.

Имеется встроенный химический калькулятор, благодаря которому можно получить все необходимые тепло-физические свойства любого сплава прямо в программе.

Программа ProCAST позволяет определить:

- распределение тепловых полей в отливке и форме;

- оценить уровень возникающих напряжений в отливке и металлической оснастке

- позволяет рассчитывать цикличные нагрузки (например, при литье под давлением).

ProCAST отвечает задачам производства. Основанный на проверенной технологии конечных элементов, ProCAST представляет законченное решение, охватывающее широкий спектр процессов литья металлов и сплавов.

Покрытие всех производственных задач для широкого спектра процессов литья. Ключевые факторы успеха в гравитационном литье связаны с оптимизацией системы литников и исключением областей возможной усадки.

Литьё по выплавляемым моделям, литьё в оболочковые формы ProCAST хорошо приспособлен для решения задачи литья по выплавляемым моделям. Например, ProCAST может автоматически генерировать сетку, отражающую оболочковую форму, допускает неодинаковую толщину и многослойность. При этом учитывается теплоизлучение с эффектами затенения, которые важны для высокотемпературных сплавов.

ProCAST предоставляет возможность моделирования заполнения формы, затвердевания и формирования микроструктуры. Расположение стояков и применение изолирующих или экзотермических подводов, их влияние на усадку может быть изучено на компьютере и визуализировано на экране для достижения оптимального качества отливки.

Программный комплекс ProCAST отвечает рассмотренным выше требованиям и позволяет формировать расчетную модель на основе соответствующих физических процессов в литейной технологии, а необходимые решатели подключаются в процессе решения.

Успех моделирования заполнения формы, затвердевания и формирования микроструктуры связаны с оптимизацией системы литников и исключением областей возможной усадки. Размеры элементов литниковой системы, их влияние на усадку может быть изучено на компьютере и визуализировано на экране для достижения оптимального качества отливки.

Выбранный для расчета программный продукт 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.

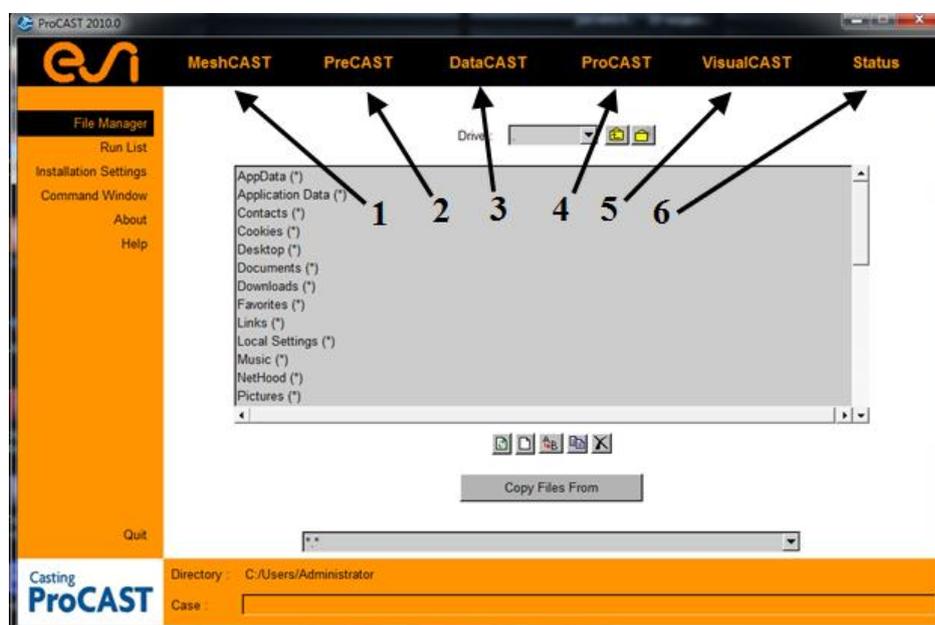
- DataCAST – модуль для перевода всех введенных данных в необходимый для расчета вид. Действие выполняется автоматически.

- 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 приложения **ProCAST Manager** (рисунок 93).

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.



1-6 команды для вызова модулей MeshCast, PreCast, DataCast, ProCast, ViewCast, Status соответственно

Рисунок 93 – Окно ProCAST Manager (Диспетчера файлов)

Рассмотрим экспериментальный технологический процесс заливки на картера двигателя внутреннего сгорания.

На основании конструкторской и технологической документации в специализированном CAD пакете SIEMENS PLM NX V 8.5 была построена математическая модель картера ДВС (рисунок 94).

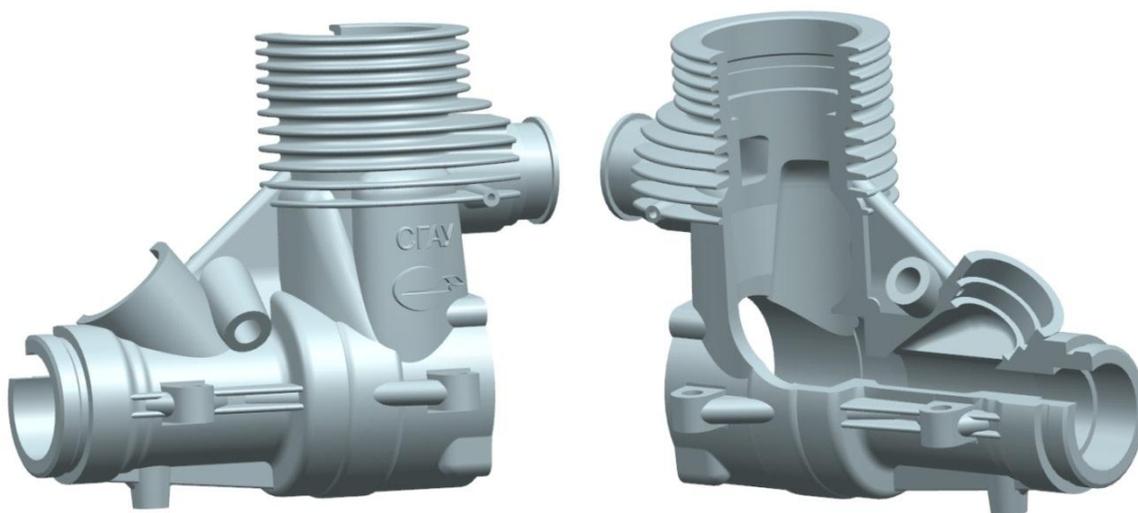


Рисунок 94 – CAD модель картера ДВС

CAD модель литниковой системы была построена в программном комплексе NX 8.5 (рисунок 95).

Далее модель отливки экспортируется в текстовый файл с именем **Karter** формата Parasolid с внутренним расширением *.x_t (рисунок 96). Желательно экспорт модели производить в корневую папку диска C:\. Необходимо следить, чтобы все папки с расчетными файлами имели латинские символы. В нашем случае создадим папку с именем Model. Таким образом, полный путь к файлам выглядит следующим образом: **C:\Model**.

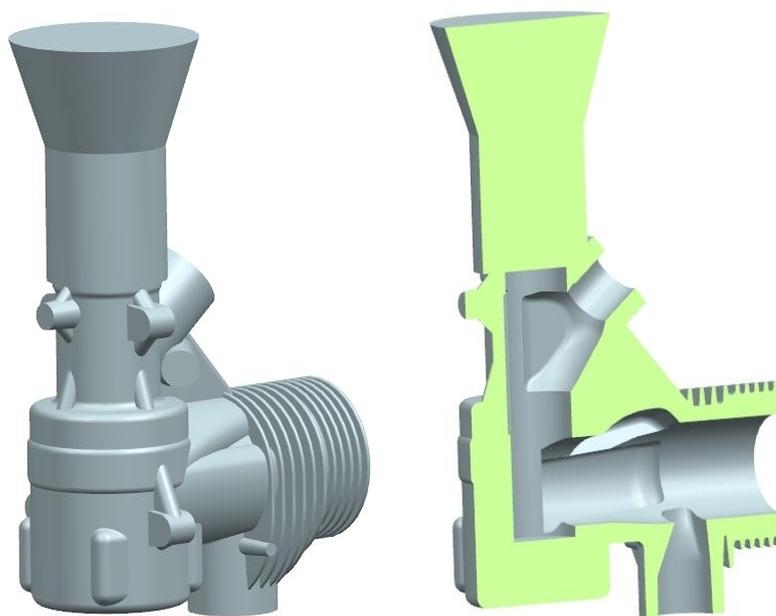


Рисунок 95 – 3D-модель заготовки с литниковой системой

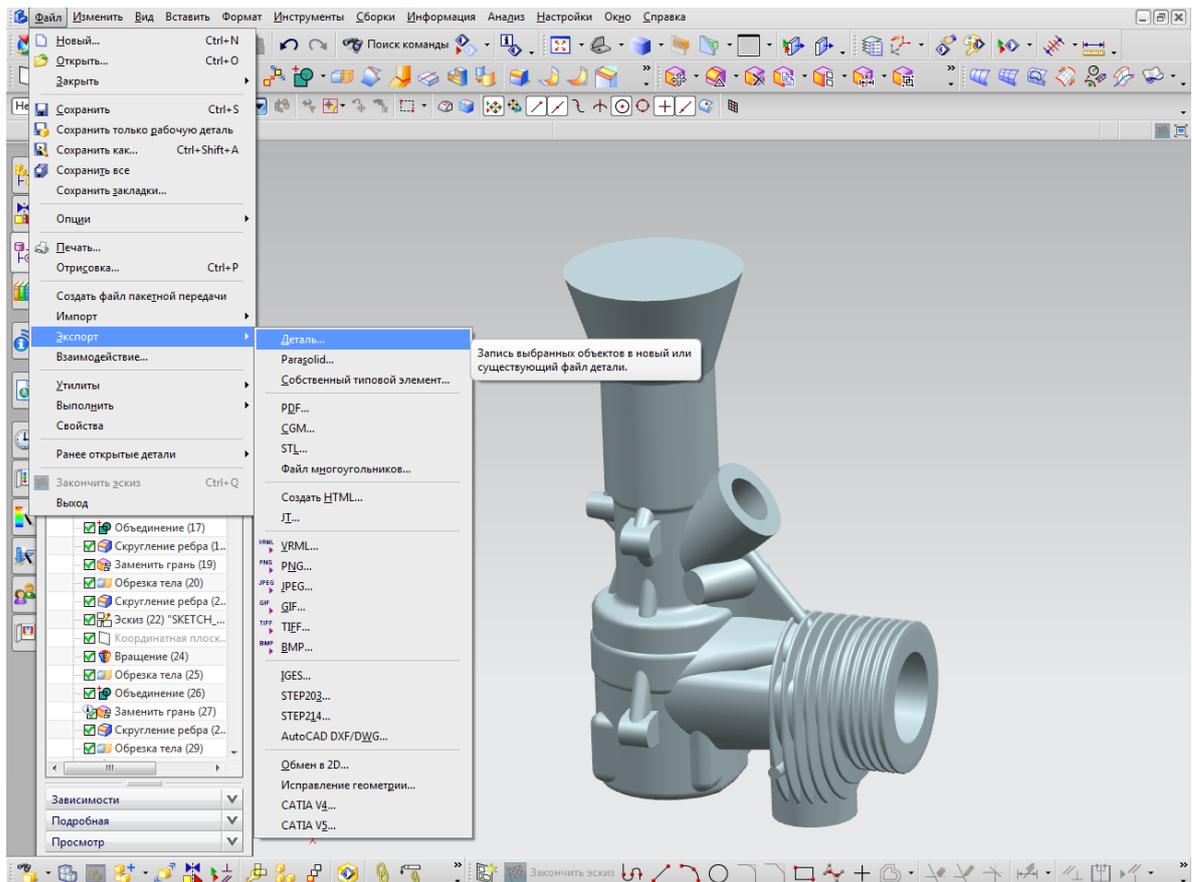


Рисунок 96 – Экспорт 3D-модели отливки в формат Parasolid

Создание поверхностной сетки в модуле MechCast

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, PARASOLID, 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, PARASOLID, 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 определяются 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, с возможностями открыть или создать новый файл геометрии. При подготовке расчета в программе ProCast 2011.0 необходимо указать путь к сохраненному файлу Karter.x_t, который лежит в папке **C:\Model**. В ProCast версии 2011.0 для работы с поверхностной и объемной геометрией помимо модуля MeshCast появляется модуль Visual-Mesh. Работу с геометрией будем производить в модуле MeshCast. Для этого нажимаем **ПКМ** на вкладке **Meshing** (рисунок 97) и выбираем модуль **MeshCast** (рисунок 98). Заходим в меню **File/Open** и указываем путь к файлу Karter.x_t.

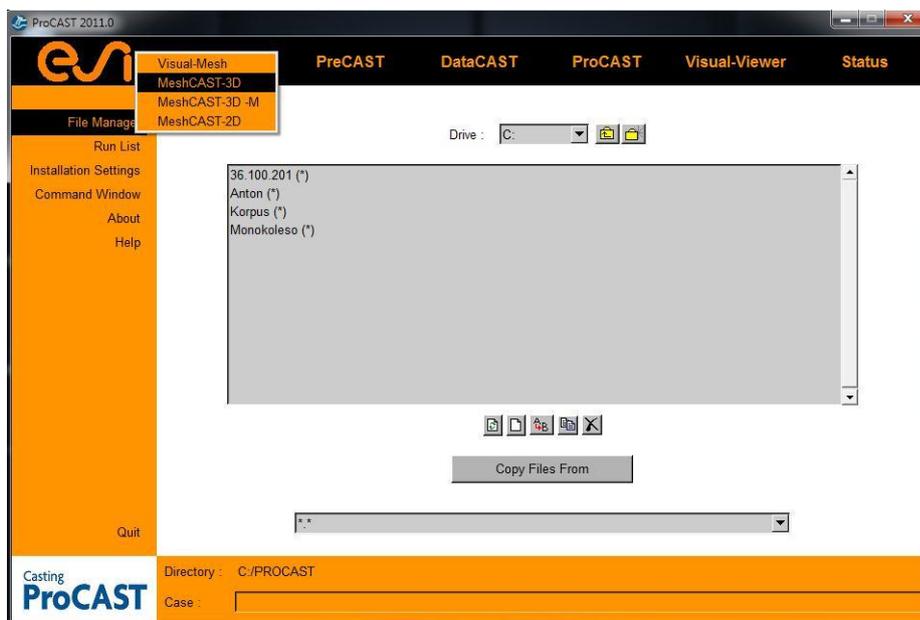


Рисунок 97 – Загрузка модуля MeshCast

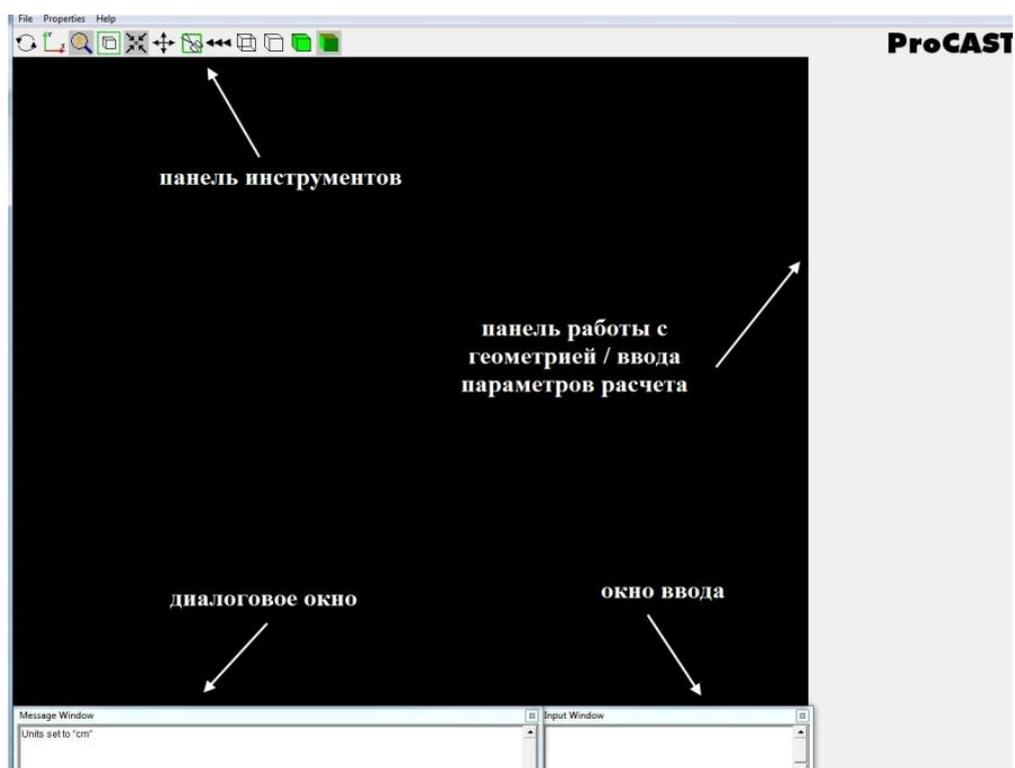


Рисунок 98 – Окно модуля MeshCast

При загрузке модуля MeshCast открываем модель Karter.x_t предварительно выбрав данное расширение в области «тип файлов» (рисунок 99, 100).

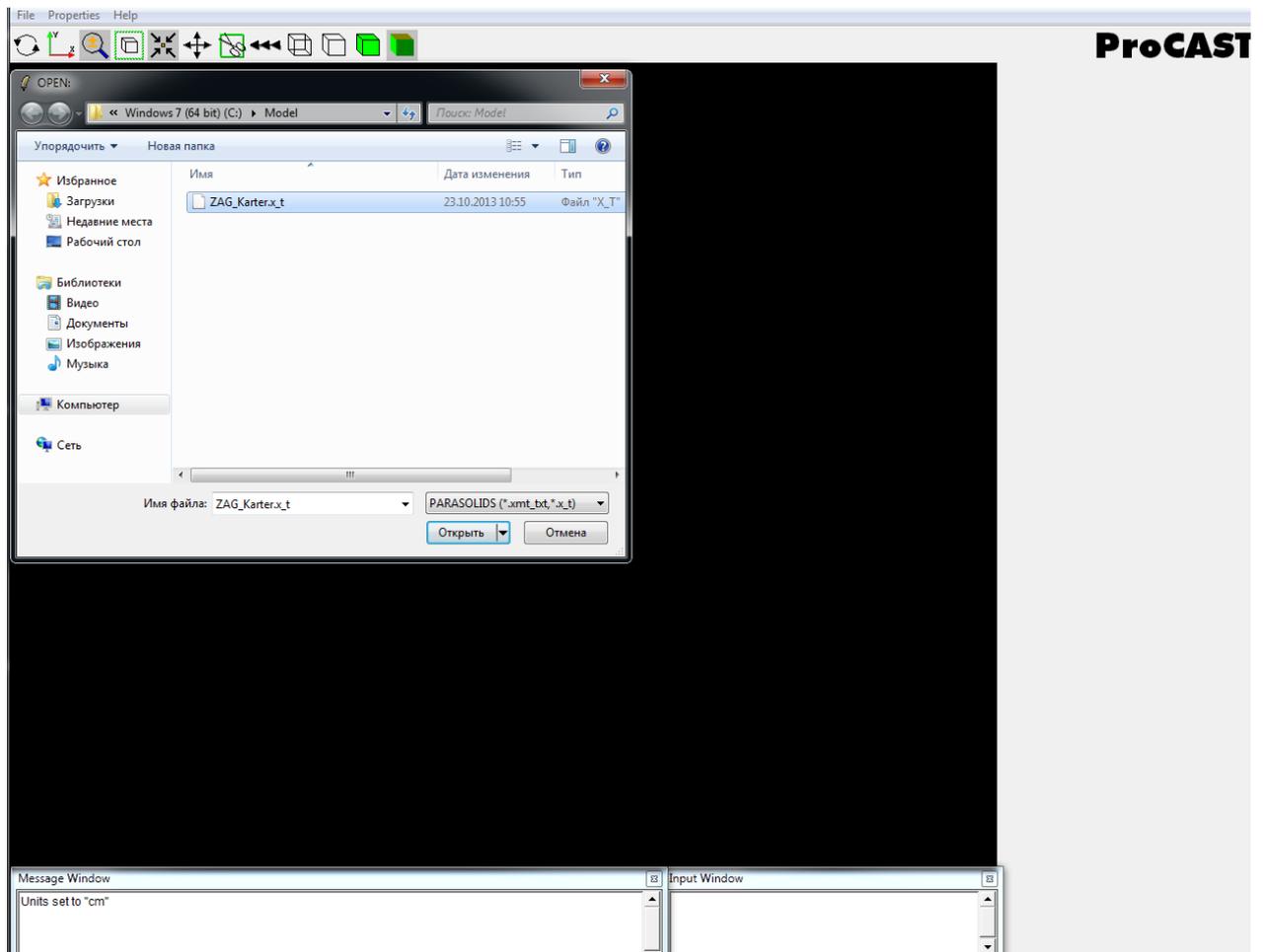


Рисунок 99 – Импортирование 3-D модели с расширением .x_t

Для работы в метрической системе необходимо перевести единицы измерения детали в миллиметры. Для этого заходим во вкладку **Tools** выбираем функцию **«in=mm»**  и в высвеченном окне выбираем миллиметры (рисунок 101). После чего нажатием на кнопку **«execute»** производим преобразование. Окно MeshCast автоматически закроется. Для закрытия появившегося командного окна необходимо нажать любую клавишу на клавиатуре.

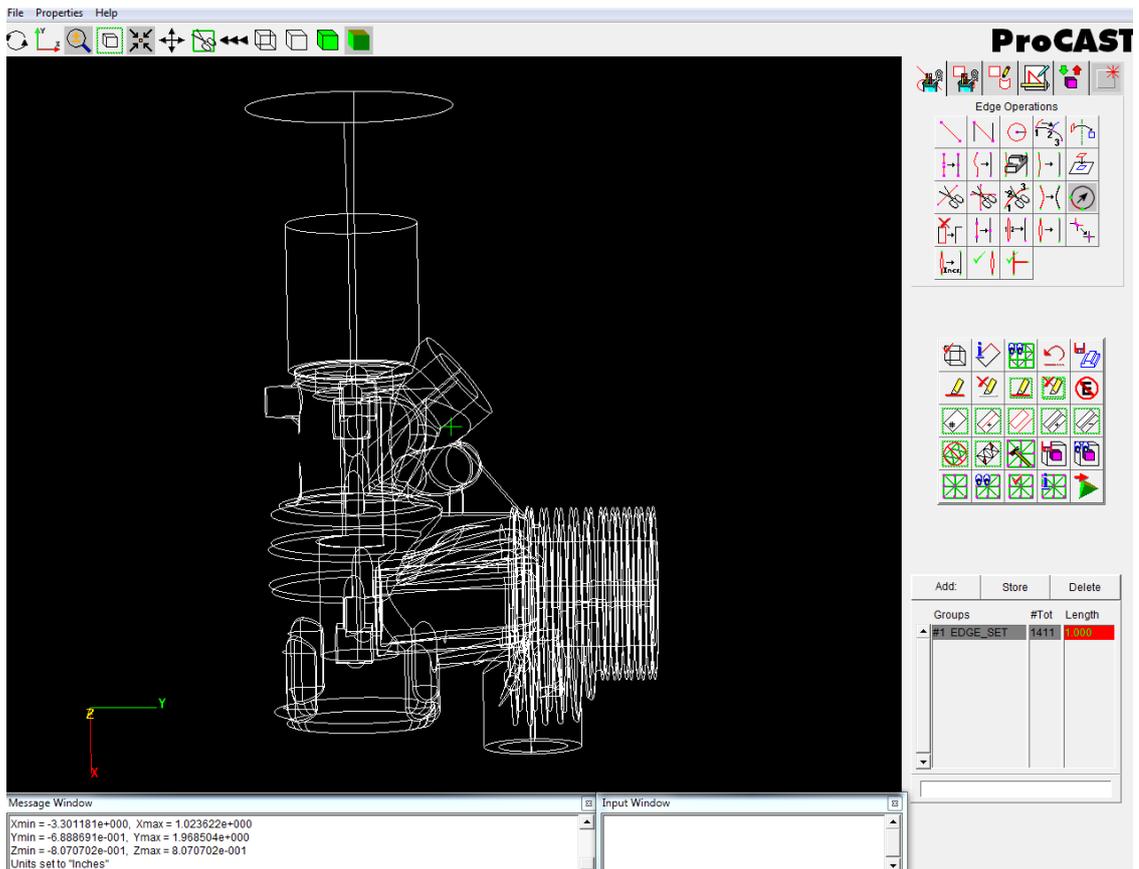


Рисунок 100 – Импортированная 3-D модель

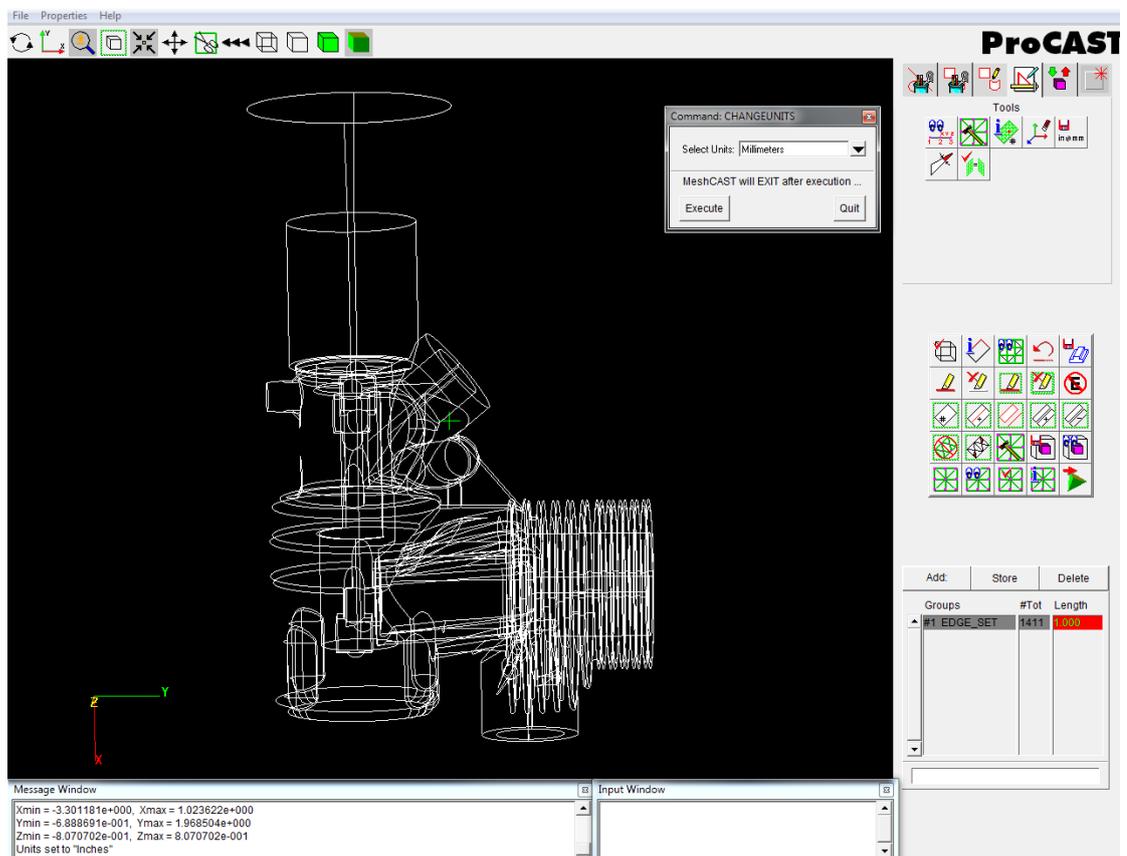
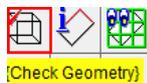


Рисунок 101 – Перевод единиц измерения в мм

После перевода единиц измерения модели с ЛПС в мм, снова запускаем модуль MeshCast, заходим в **File/Open** и загружаем деталь Karter.gmrst и ждем открыть.

После загрузки модели необходимо проверить ее геометрию, нажав на



кнопку **CheckGeometry** (рисунок 102). Для исправления и редактирования геометрии модели необходимо воспользоваться инструментами, находящимися в верхней части панели работы с геометрией



модуля MechCast (рисунок 102), которые позволяют производить операции с ребрами, поверхностями модели. В окне **Message Window** появится дополнительное сообщение **“Surface edges seem OK”**, что свидетельствует об отсутствии ошибок в импортированном файле (рисунок 102).

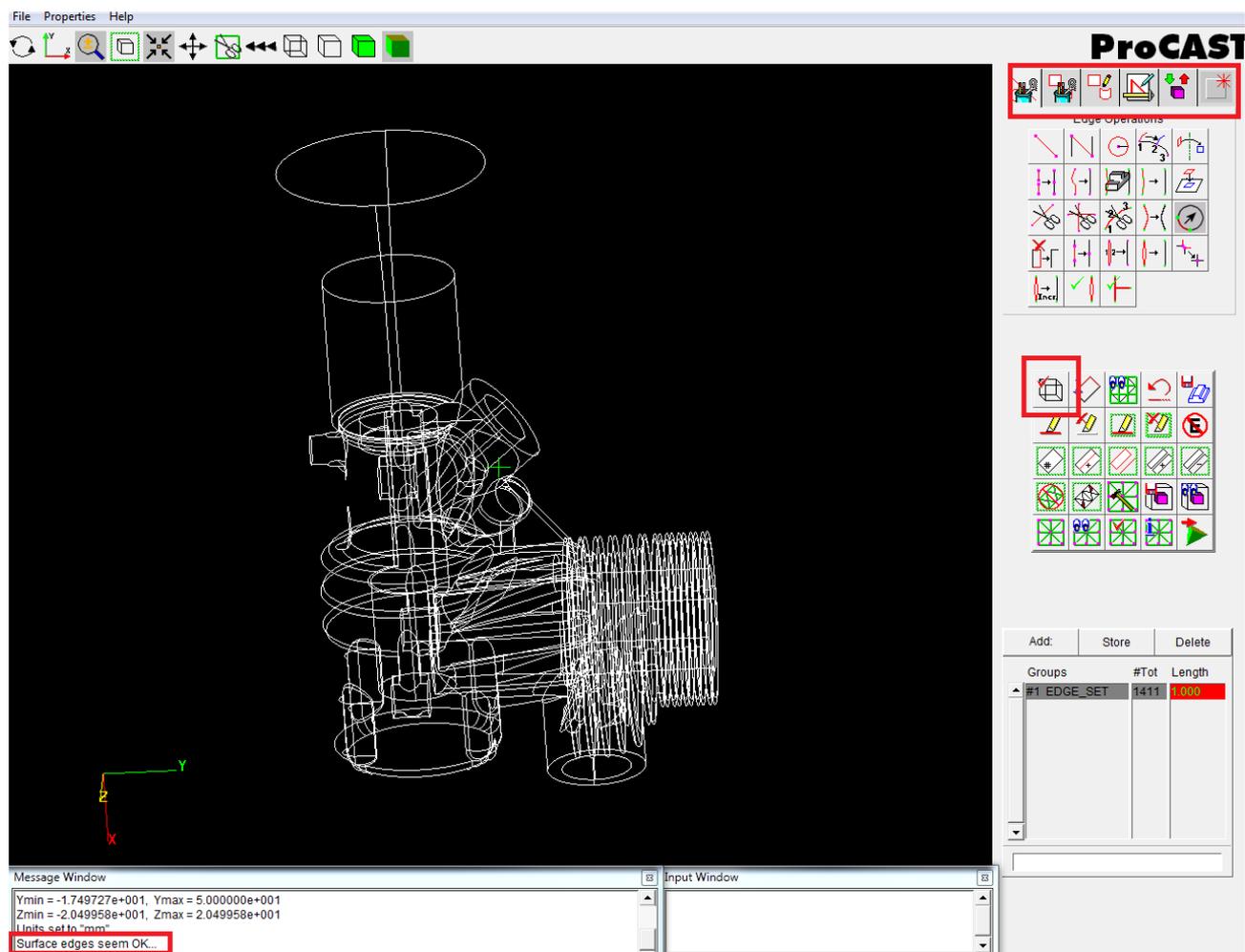
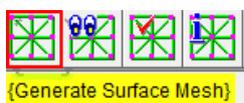


Рисунок 102 – Проверка геометрии модели на ошибки

Следующим шагом является задание узлов сетки. Для этого построим отдельно сетку для модели с длиной ребра 0.5 мм (рисунок 103). Ввод значения подтверждаем нажатием на клавишу Enter и используя функцию «**generate surface mesh**».



Система накладывает данную сетку на модель и ЛПС, посмотреть результат наложения сетки, можно, нажав кнопку **Show Mesh** (рисунок 104). В дальнейшем при создании объемной сетки система автоматически на участках с толщиной 0.5 мм создаст несколько слоев. При генерации система проверяет геометрию модели, и выявляет узлы с самопересечением.

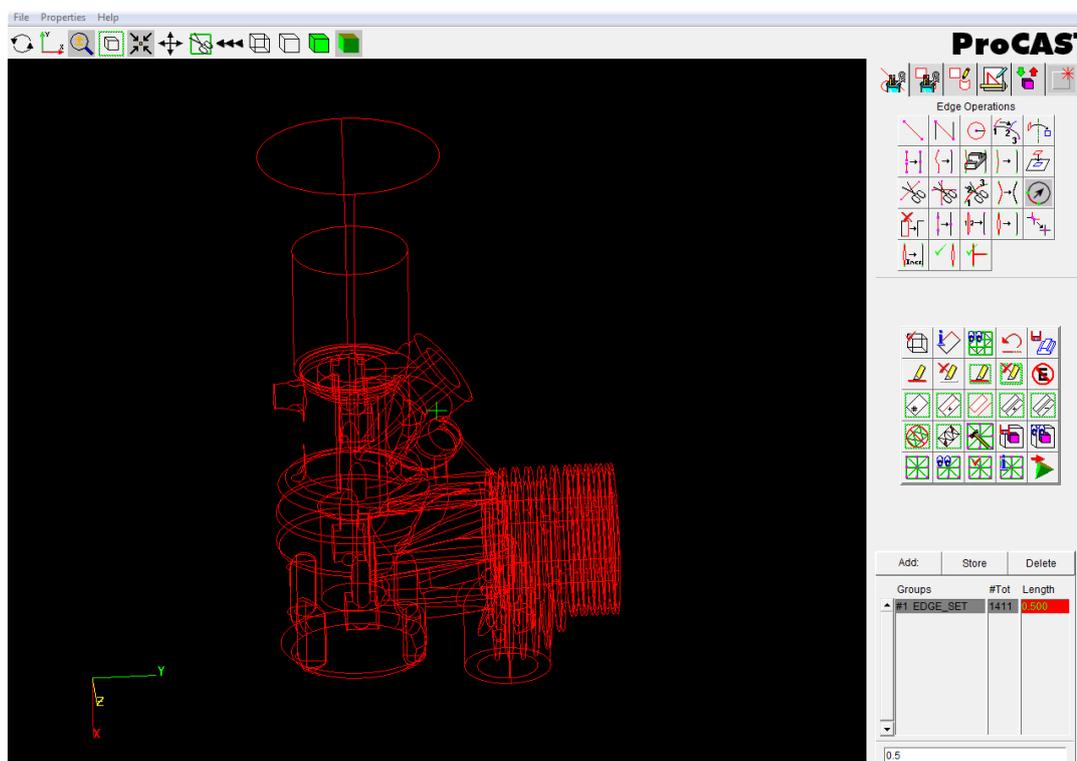
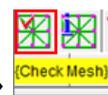


Рисунок 103 – Задание размеров ячейки сетки



После наложения сетки используя функцию «**check mesh**», система выдает всю информацию о модели, включая геометрию и предупреждения об ошибках геометрии модели. На данном этапе никаких ошибок не возникает.

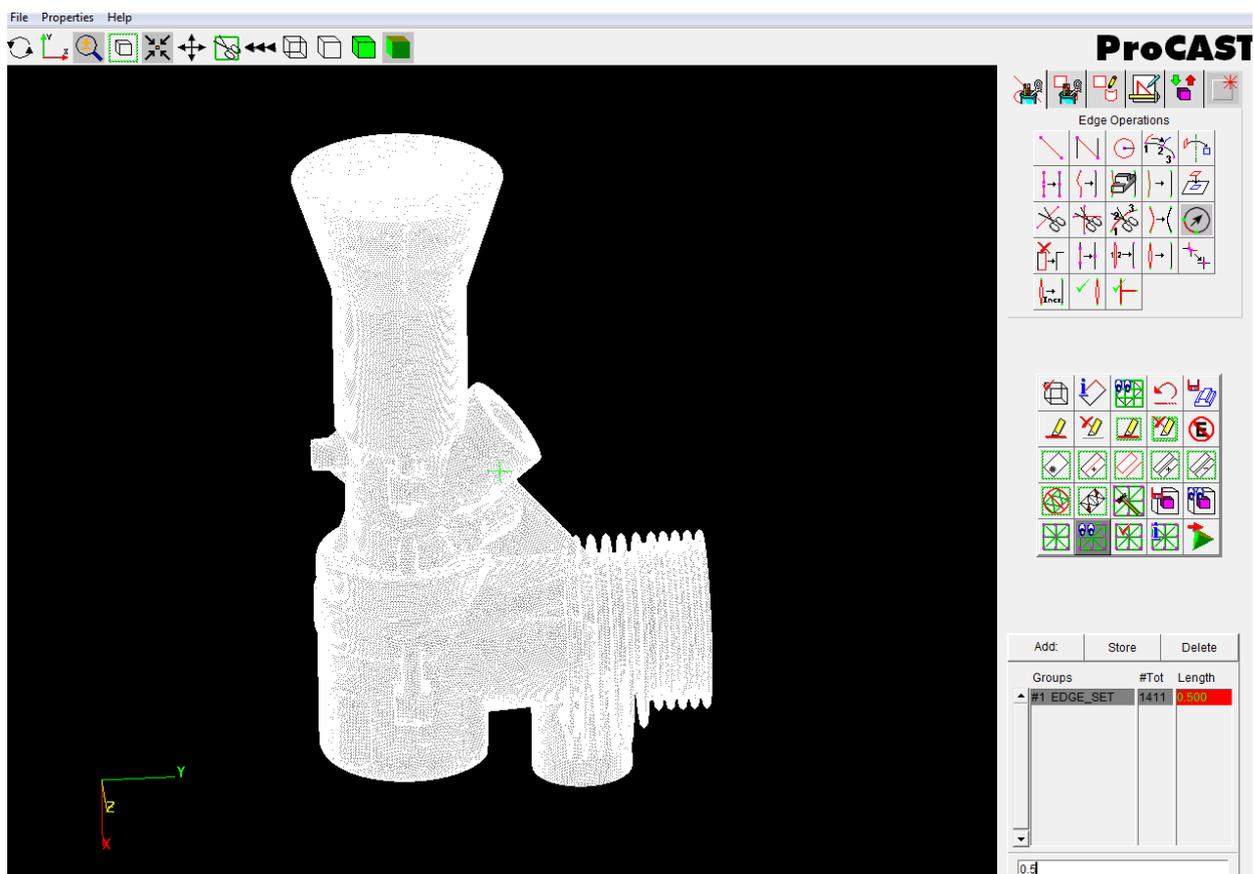


Рисунок 104 – Наложенная сетка

Далее нажимаем кнопку «**volume meshing**»  для наложения оболочки (обсыпка модели, необходимая для того что бы металл поступал в форму, а не в форму модели детали).

Используются функции «**Check mesh**», «**Fix Bad Triangles**» и «**Check intersection**» (рисунок 105) для того, чтобы система проверила геометрию ЛПС, исправила плохие треугольники и проверила пересечения треугольников, а также выдала ошибки в узлах. При необходимости, чтобы увидеть плохое пересечение треугольников, достаточно нажать кнопку «**Display intersection**». Результат исправленной модели представлен на рисунке 106. При этом в окне **Message Window** при выполнении проверки должно появиться сообщение “... **the surface mesh seems OK**”.

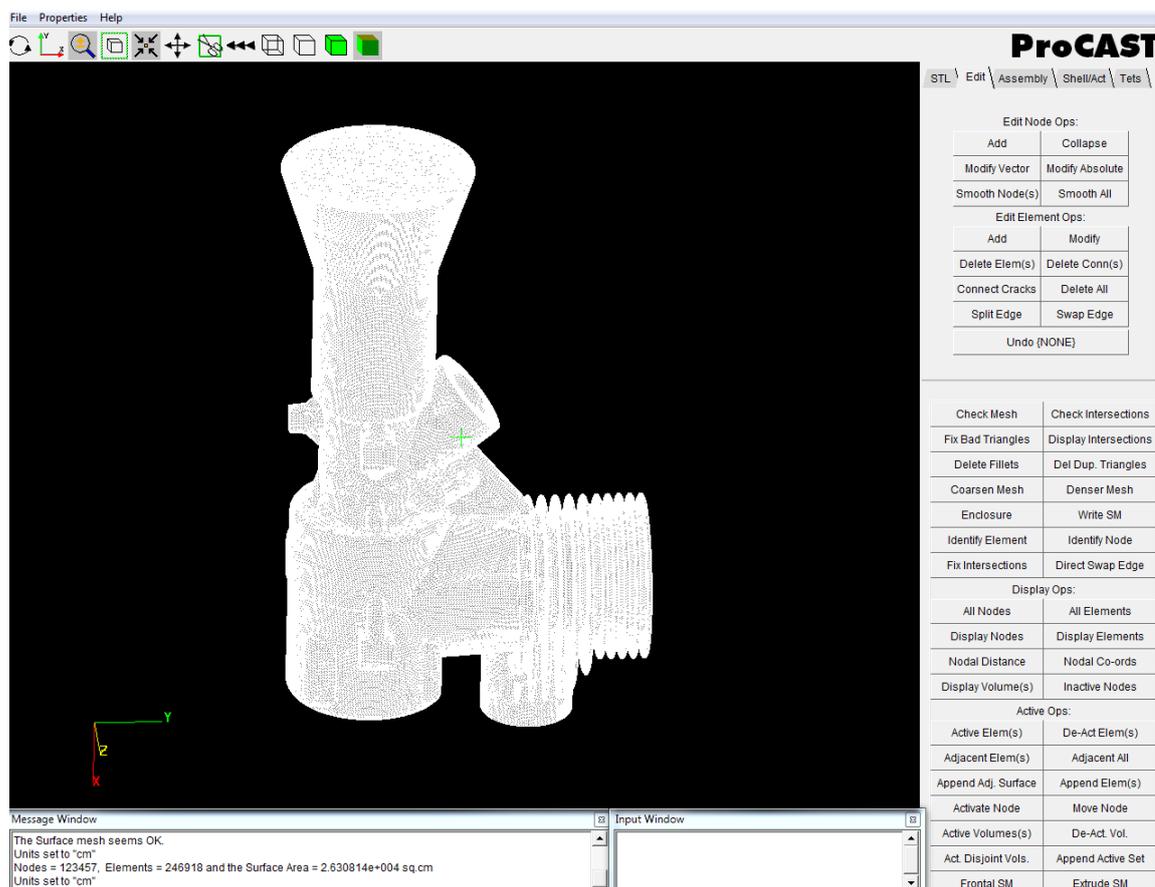


Рисунок 105 – Проверка геометрии детали

Для более детального построения сетки возможно использование команд ручного редактирования сетки.

Нажатие на кнопку **Identify Element** позволяет выбирать треугольники при нажатии на них ЛКМ, а кнопка **Identify Node** позволяет выбирать узлы пересечения ребер поверхности при нажатии на них ЛКМ. Возможен второй вариант выбор поверхностей и узлов. Для этого нажимаем на кнопку **All Nodes** или **All Elements**, в зависимости от того, что хотим выбрать – узел (подсвечивается красным цветом) или поверхность (подсвечивается зеленым цветом) и в окне ввода **Input Window** указываем номер выбранного элемента. Нажатие кнопок **Add** или **Delete Elem(s)** блока **Edit Elements Ops** позволяет, соответственно, создавать или удалять выбранный элемент. Таким образом, происходит процедура исправления поверхностной сетки. В итоге, при нажатии на кнопку **Check Mesh** в окне **Message Window** должно появиться сообщение, вида: **The Surface mesh seems OK**, что свидетельствует о полностью исправленной

поверхностной сетки. Подобные процедуры необходимо производить, если в объемной сетке имеются ошибки. Удаление и создание новых треугольников вручную в большинстве случаев помогает исправить подобные ошибки.

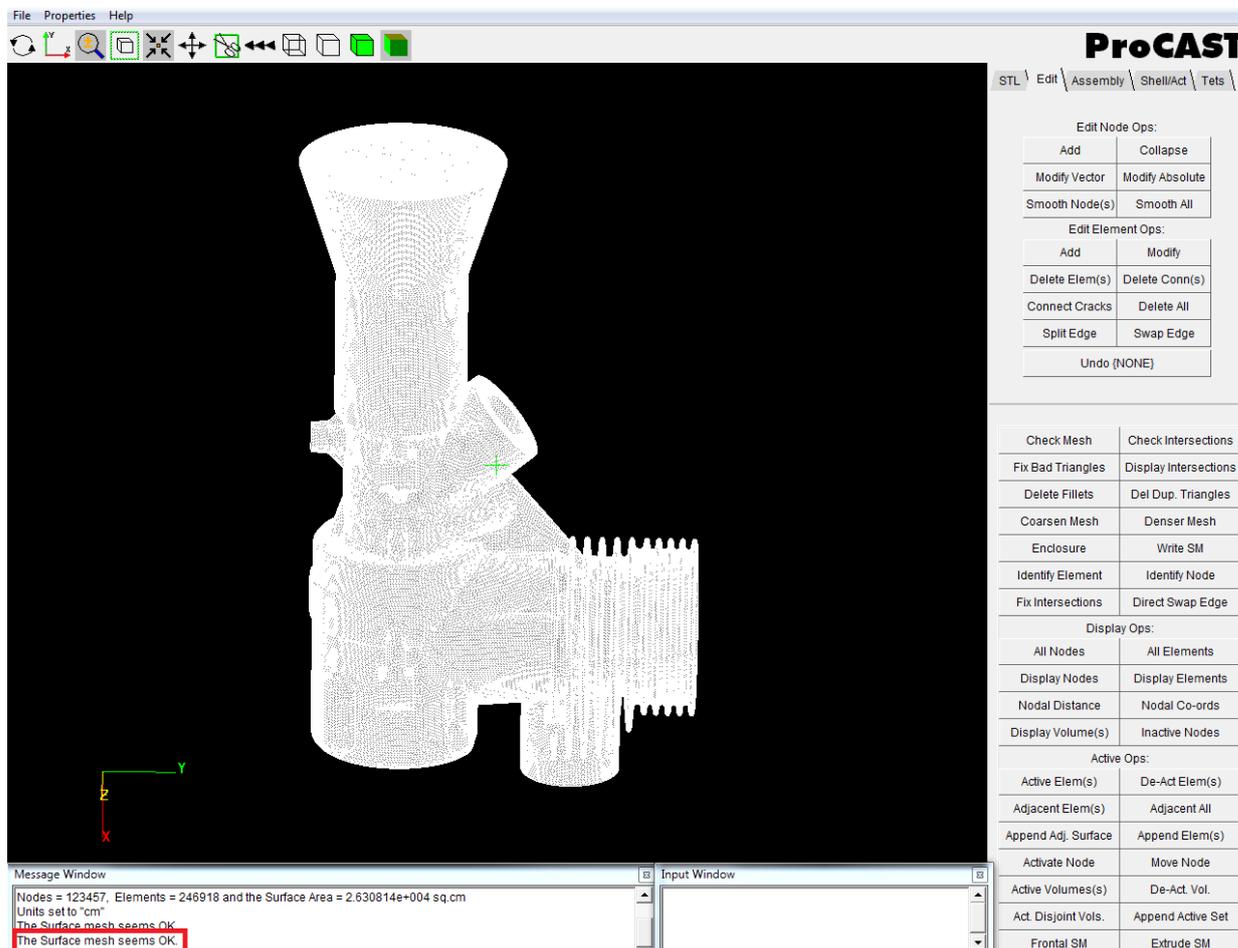


Рисунок 106 – Исправление геометрии детали

После исправления ошибок в геометрии необходимо обозначить поверхность, через которую будет производиться заливка металла (рисунок 107), так как при наложении оболочки система построит оболочку всей детали, и заливка будет не возможна. Перейдем во вкладку **Shell/Act** и выделим часть элементов поверхности при помощи инструмента выделения узлов сетки (рисунок 107) при зажатой ЛКМ, после чего используем функцию «store»  для записи выделенных узлов поверхности.

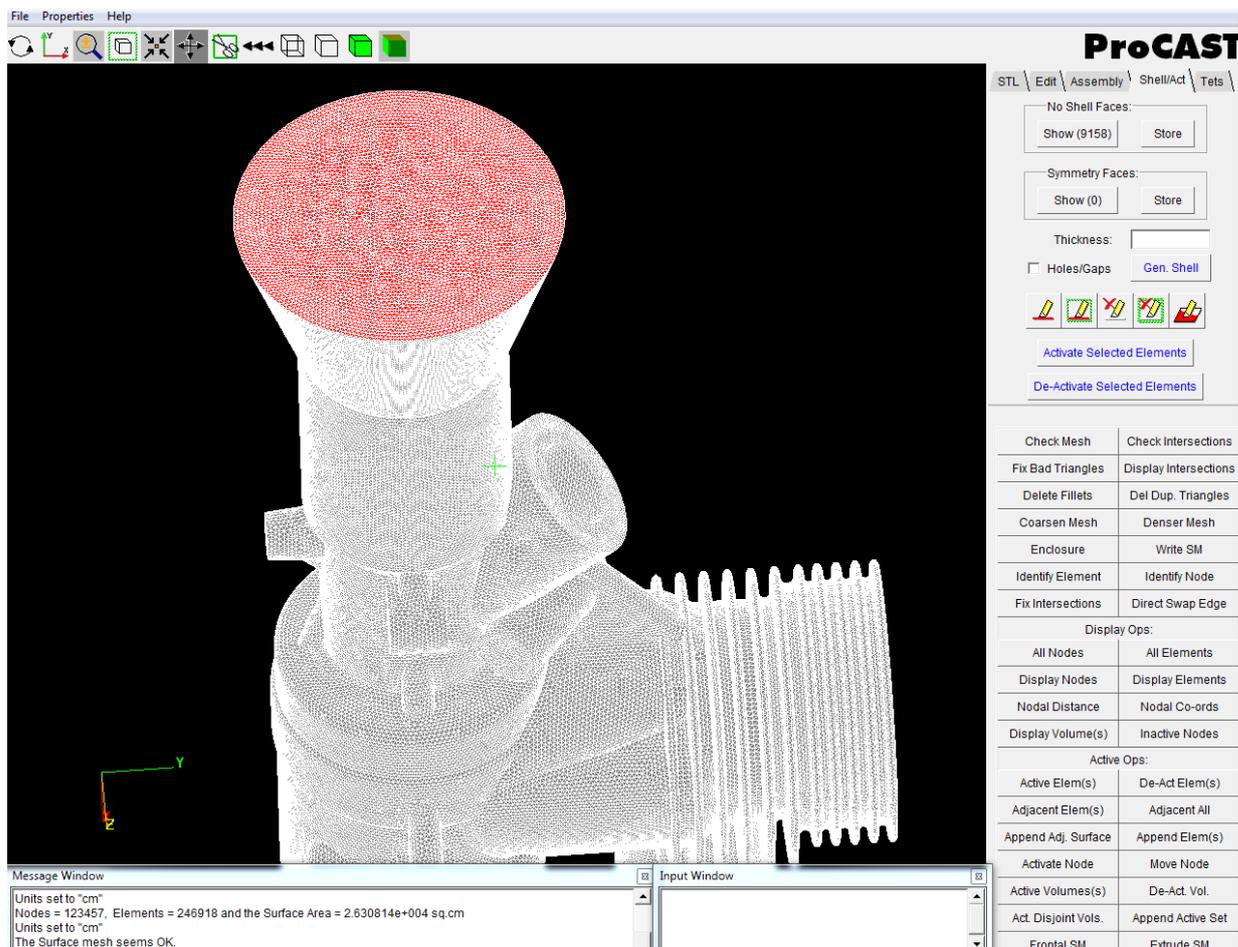


Рисунок 107 – Обозначение заливочной поверхности

В окне «**thickness**» (рисунок 107) задаем толщину оболочки (обсыпки), исходя из соображений накладывания слоев обсыпки выбираем величину 1 миллиметр (толщину оболочки). После чего используя функцию «**gen.shell**» **Gen. Shell** - система генерирует оболочку, толщиной 1 мм, при чем используя в сеточной модели равносторонние треугольники так же с величиной стороны 1 мм (рисунок 108, 109).

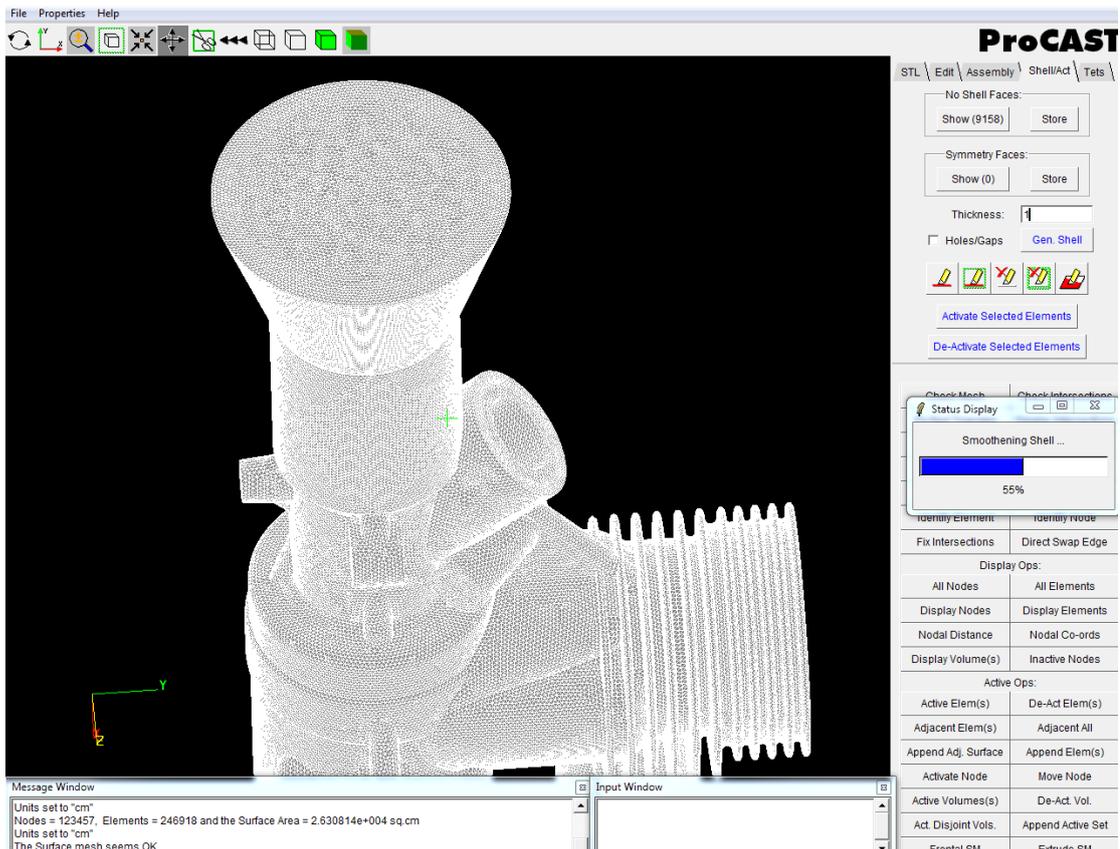


Рисунок 108 – Система в процессе создания оболочки

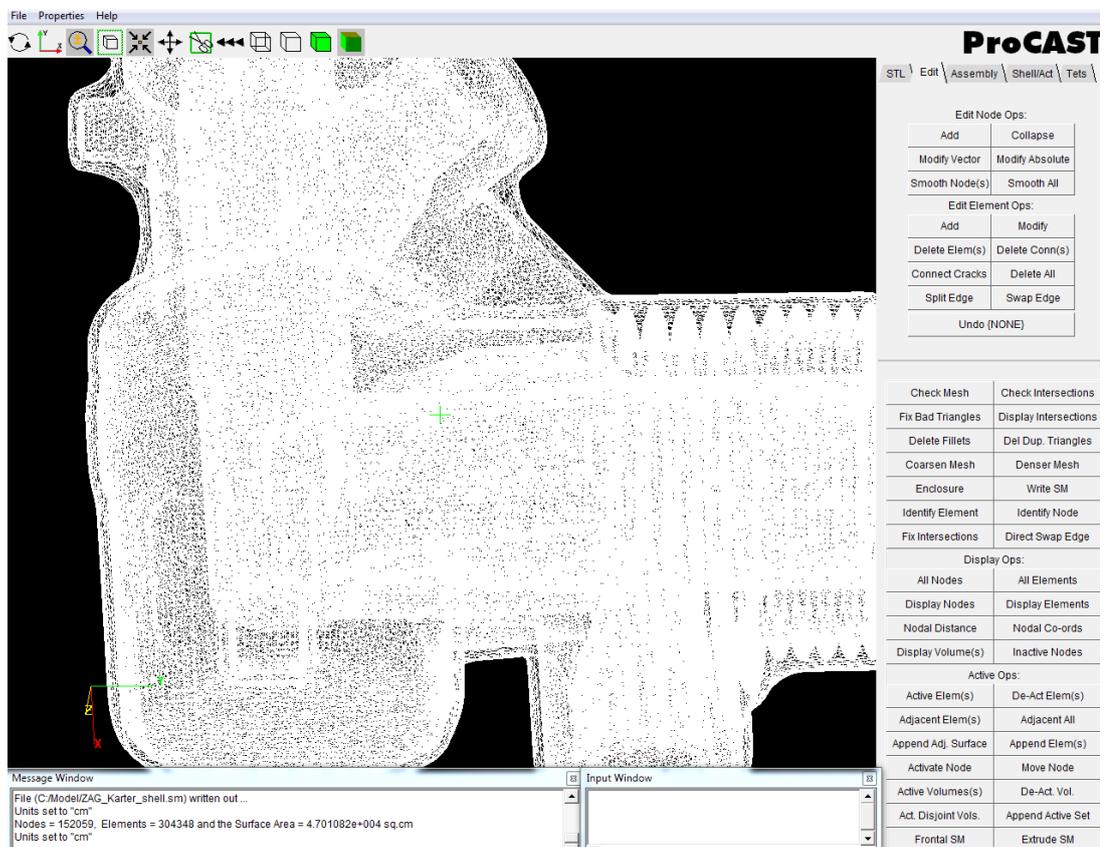


Рисунок 109 – Созданная оболочка

Следующим шагом создания сетки модели ЛПС, является ее окончательная генерация. Для этого переходим в окно «tets» и нажимаем кнопку «generating mesh» **Generate Tet Mesh** (рисунок 110). Если данная функция отсутствует (возможна при работе с ProCast на мониторах менее 19 дюймов) данную функцию возможно задать при использовании подокна «layers». Для чего необходимо поставить курсор перед «fulllayer» и нажатием двойного «tab» и «пробела» на клавиатуре, данная функция запустится (рисунки 111, 112).

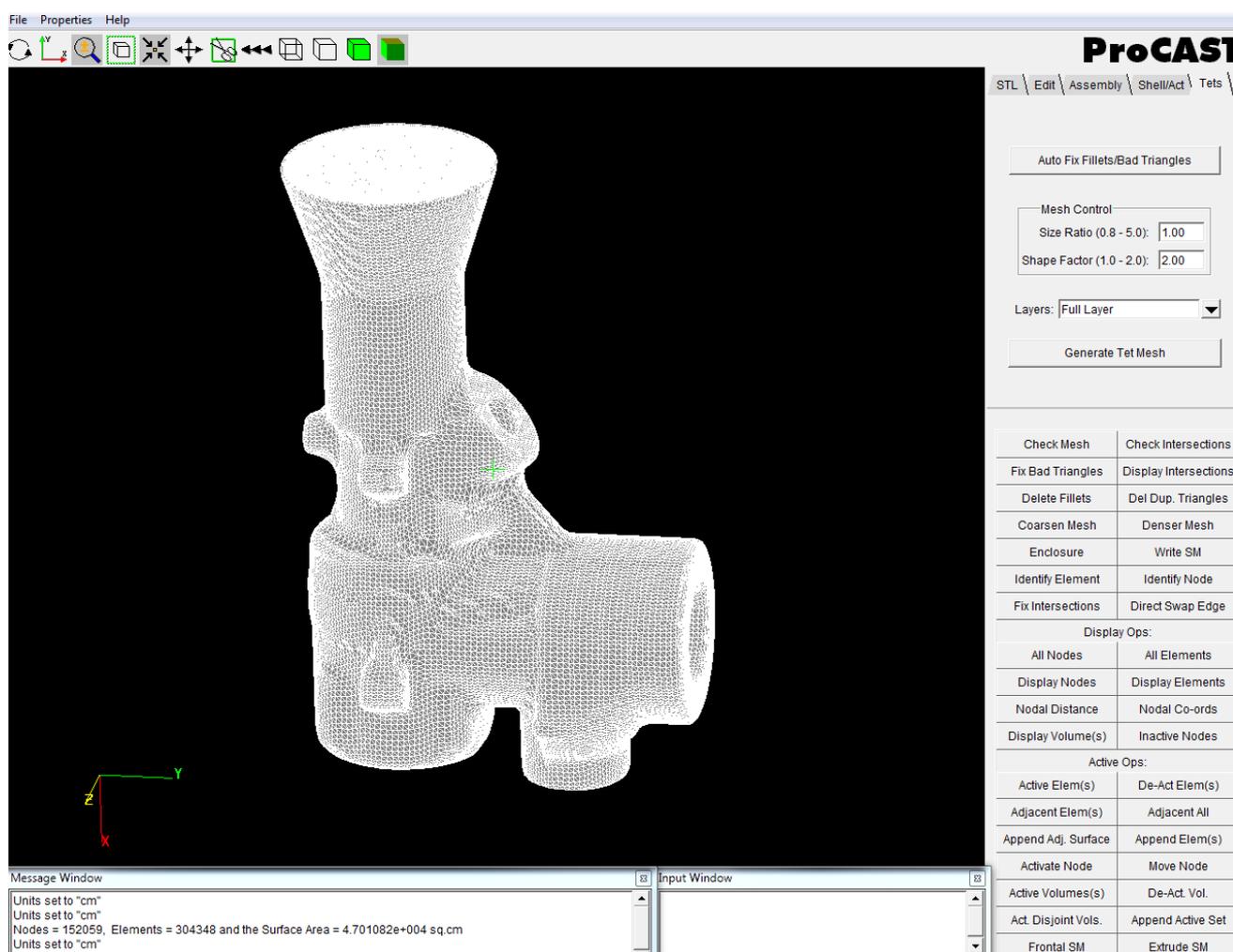


Рисунок 110 – Генерация наложенной сеточной модели

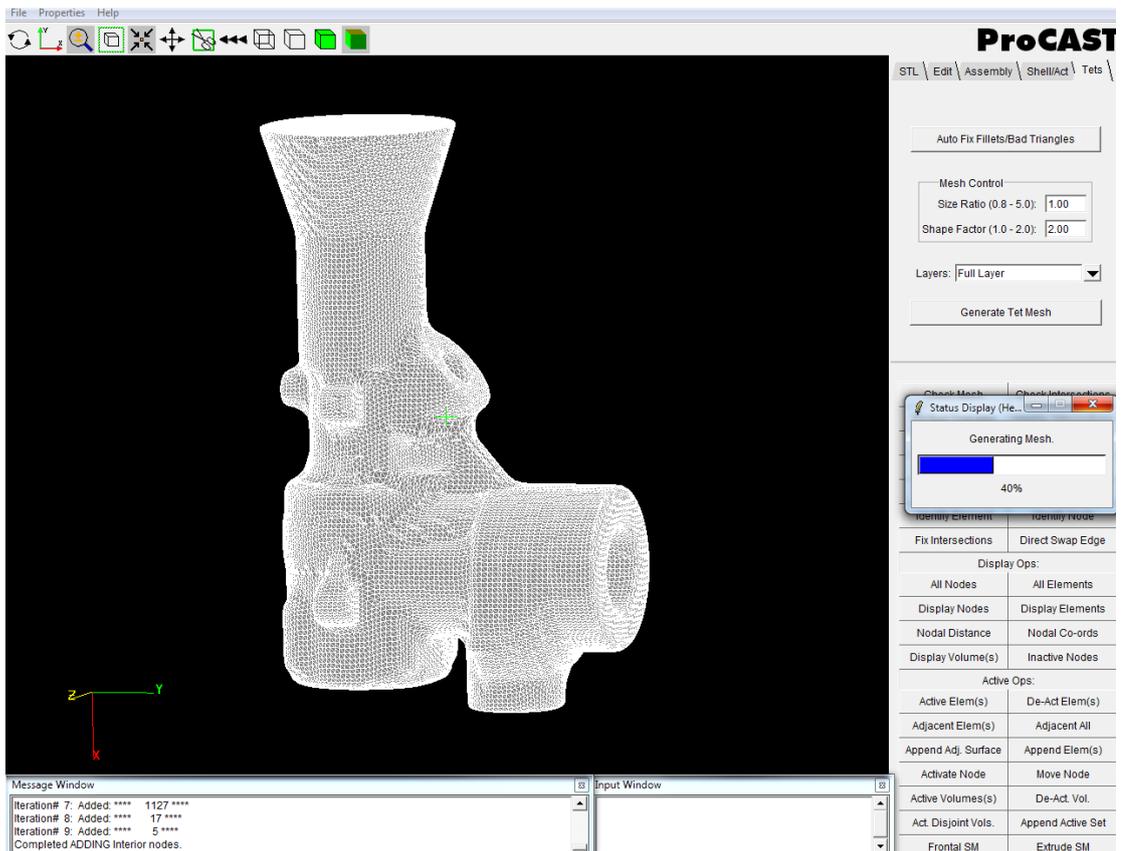


Рисунок 111 – Окончательная генерация сеточной модели

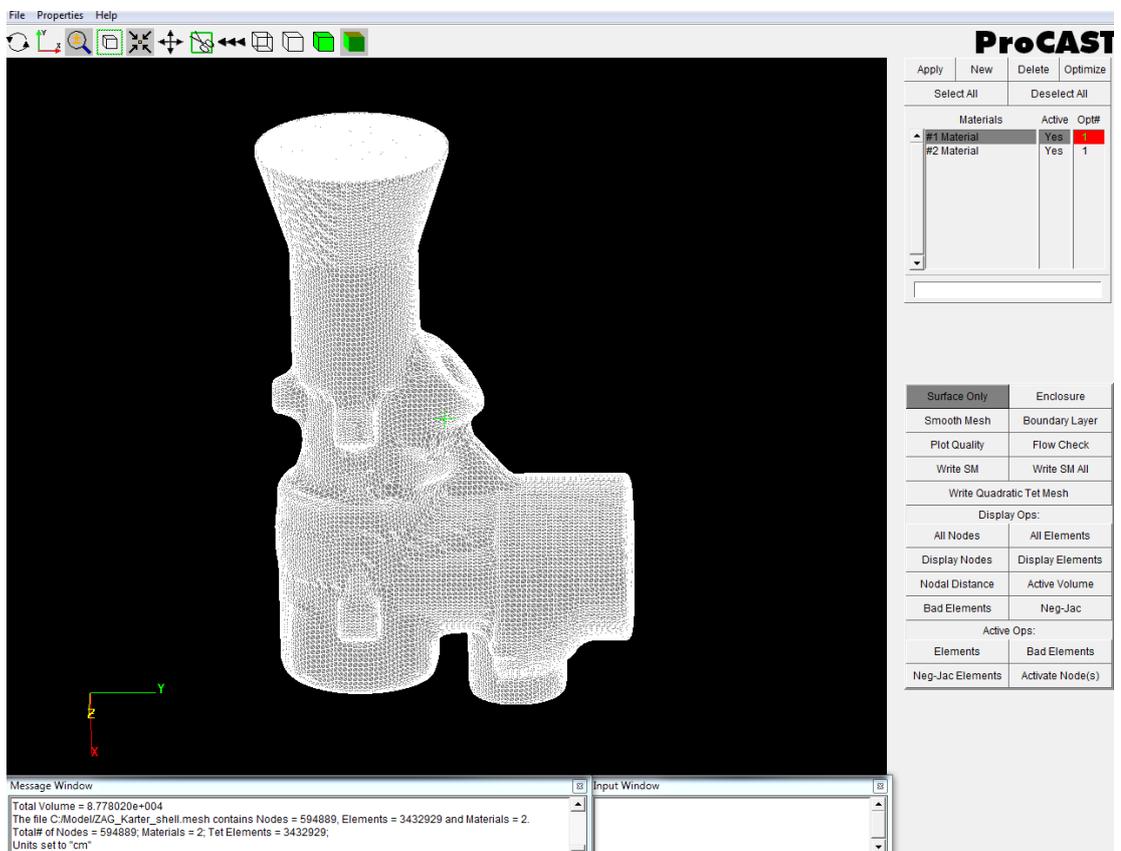


Рисунок 112 – Сформированная сеточная модель

После окончания генерации сетки система выдаст окно, в котором заданы два материала (материал заливки или форма, которую необходимо залить и материал формы оболочки, собственно, куда заливается металл) представленные на рисунке 113, 114. Причем, в графе **Active** напротив материала заливки должно стоять **Yes**, а в материале формы – **No**. Установка требуемых параметров осуществляется нажатием **ЛКМ** по соответствующему окну.

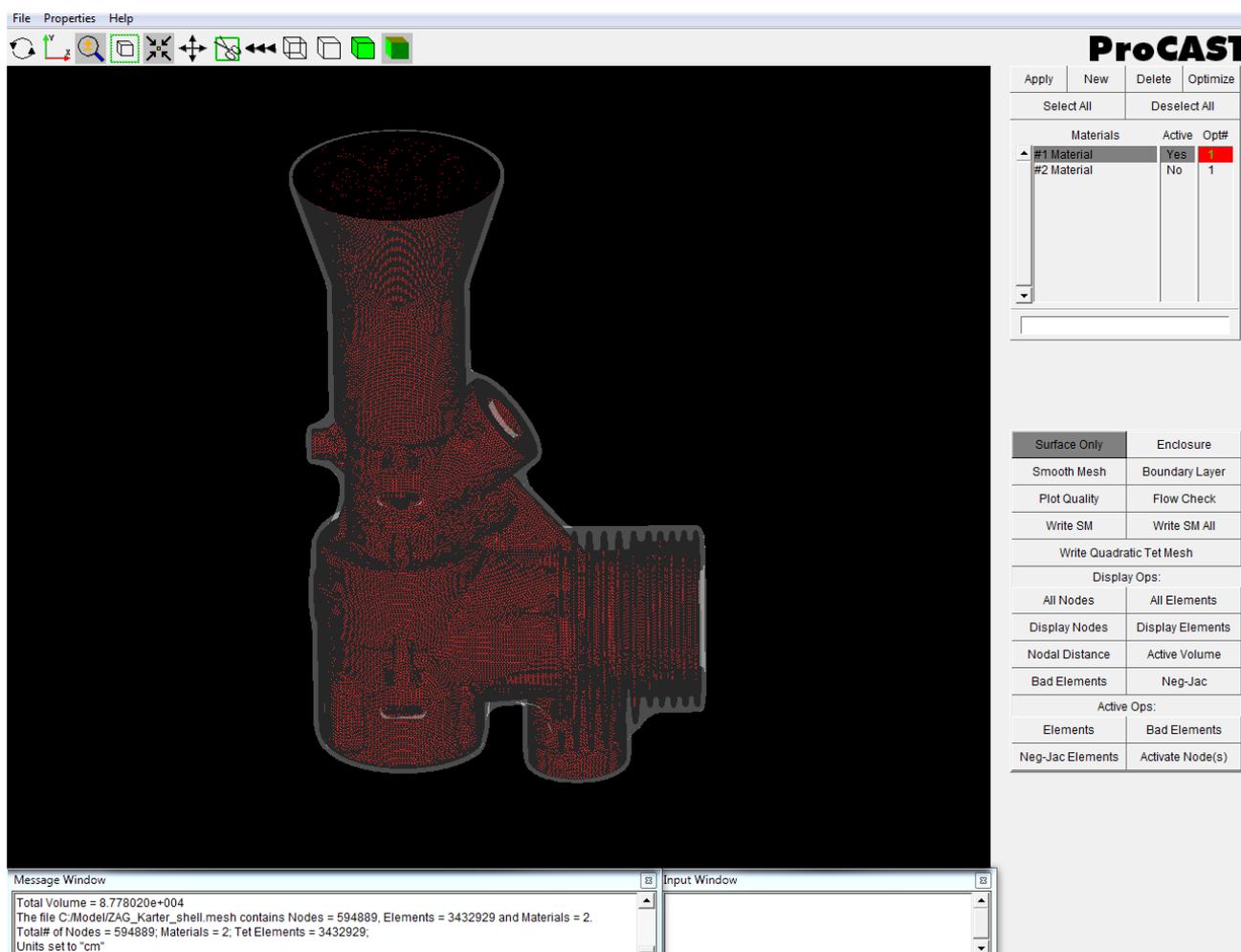


Рисунок 113 – Режим отображения материала заливки

В итоге, нажимаем на кнопку **Optimize** (рисунок 115), для оптимизации модели и нажимаем кнопку применить **Apply** (рисунок 115).

Работа в модуле «MeshCast» закончена переходим в модуль «PreCast».

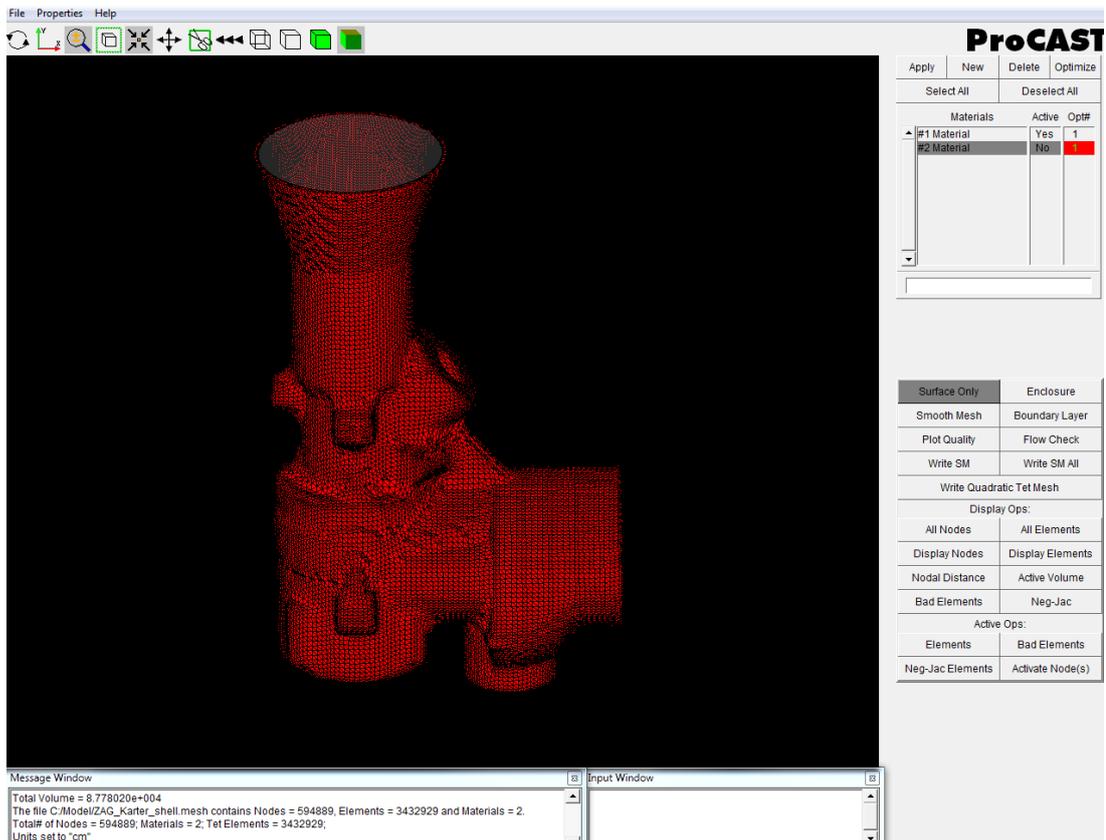


Рисунок 114 – Режим отображения материала формы

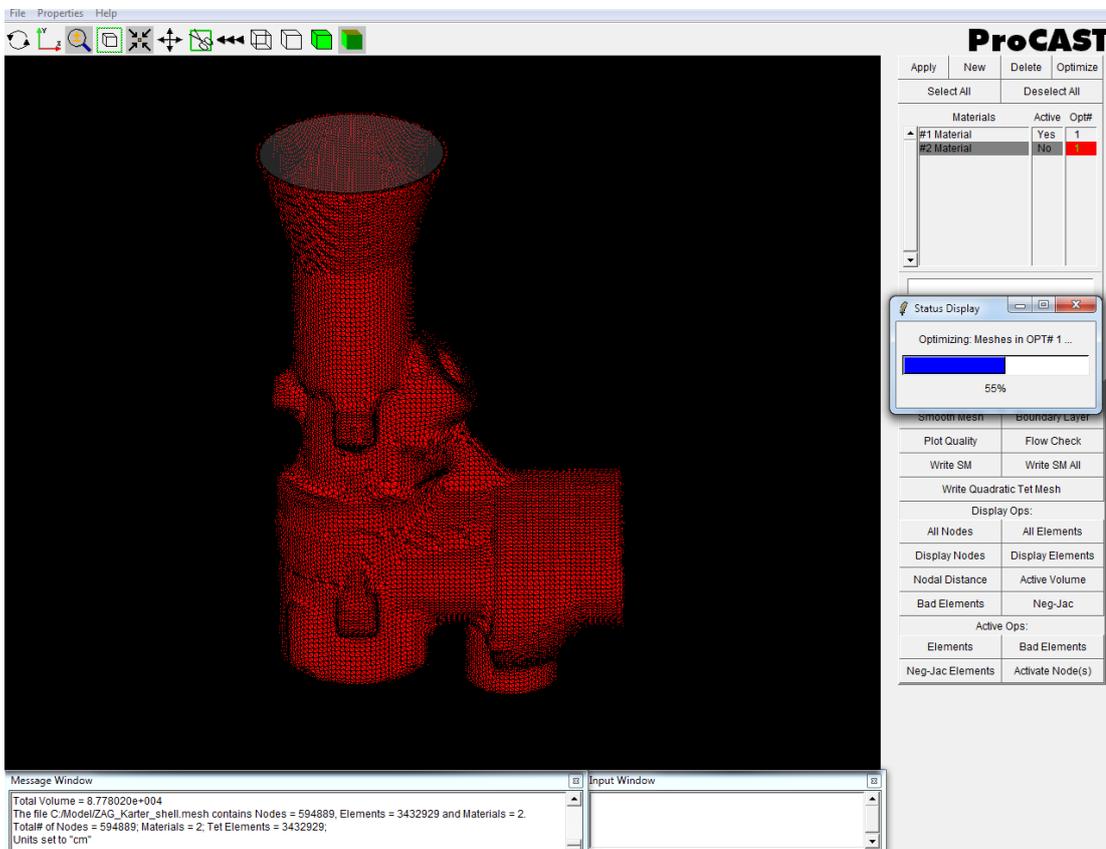


Рисунок 115 – Оптимизация модели

Создание контактных, граничных и начальных условий в модуле PreCast

Работа в данном модуле начинается с загрузки файла модели, находящегося в папке **C:\Model**, подготовленного на этапе MashCast. Для этого необходимо в диалоговом окне ProCast указать путь к папке с подготовленными файлами и нажать на кнопку PreCast (K1, K2, K3 на рисунке 116). При открытии модели в данном модуле система выдает информацию о модели (рисунок 117). Необходимо проверить единицы измерения и габаритные размеры модели.

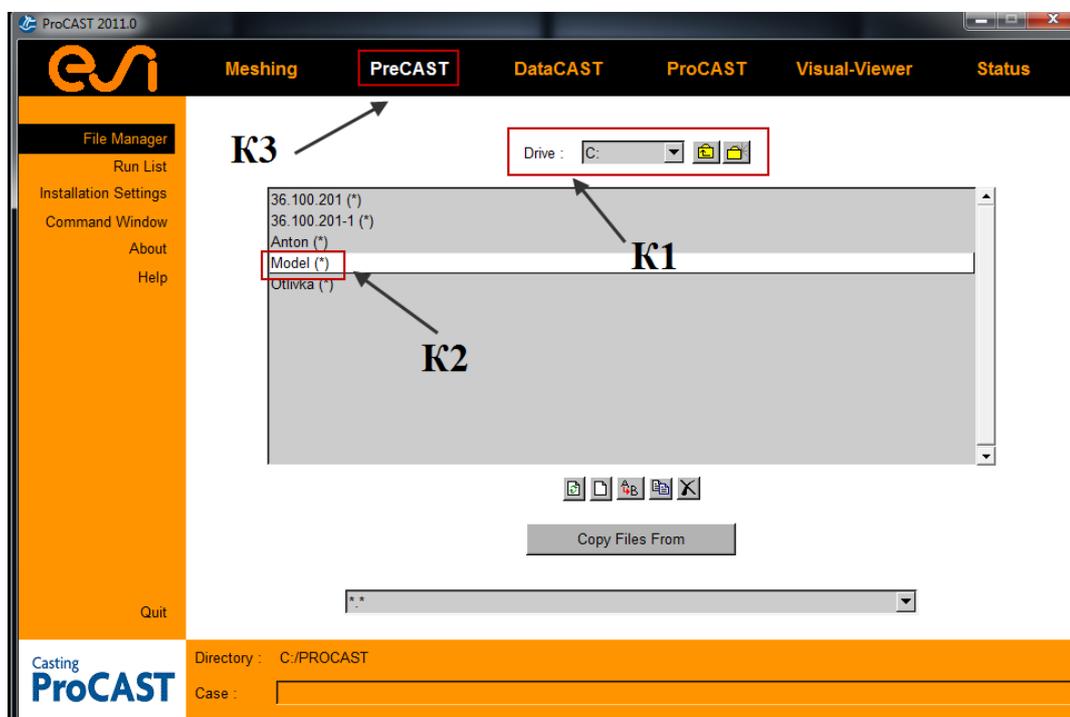


Рисунок 116 – Загрузка модели в модуль PreCast

Данное окно просто закрываем. Меню, расположенное в верхней части окна содержит 9 разделов-меню, которые позволяют выполнять 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	- Вычислительные параметры
Inverse	- Обратная задача
Help	- Помощь

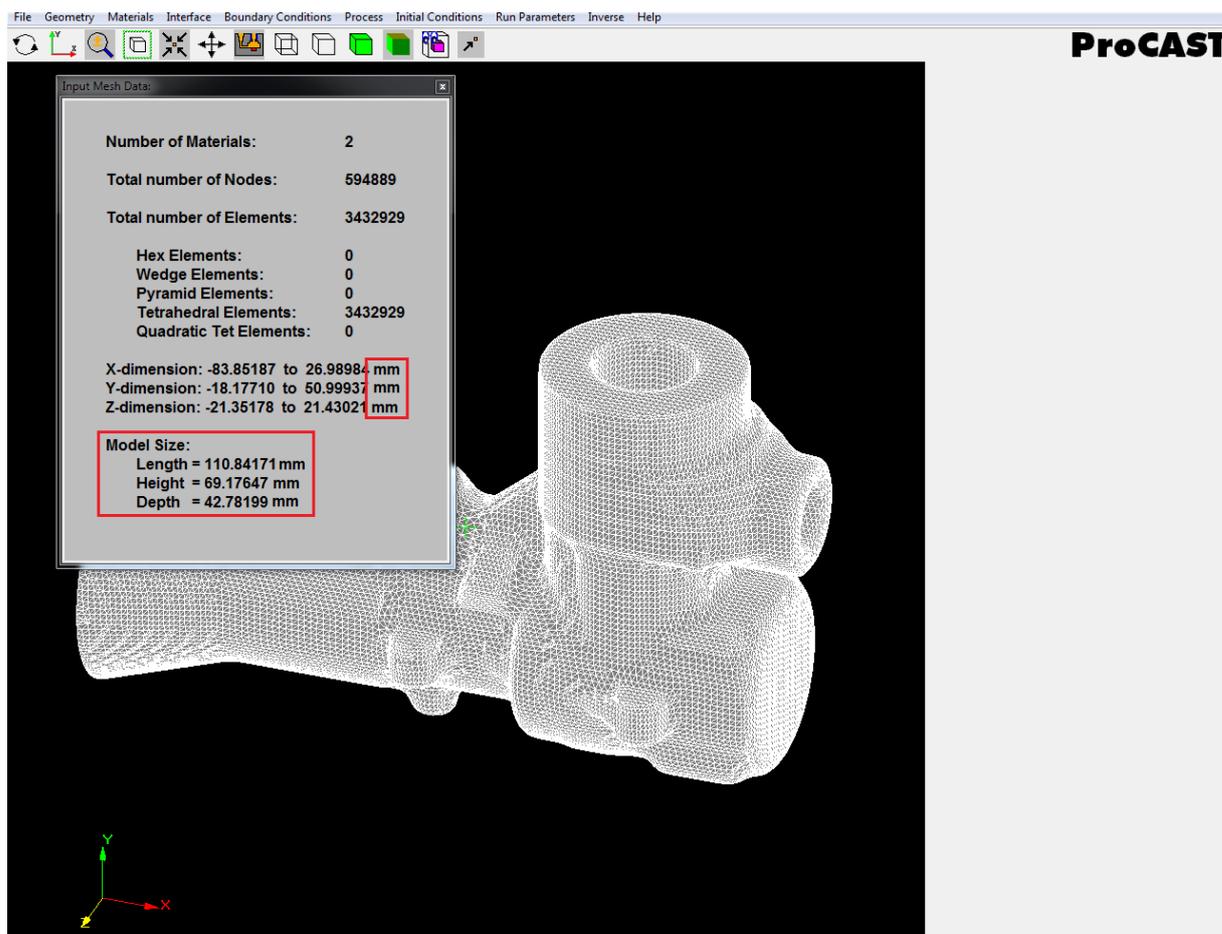


Рисунок 117 – Открытие CAD модели в модуле PreCast

Используя закладку **geometry / chek geom / min-max** система выдаст размеры модели по осям X, Y, Z (рисунок 119). Так же необходимо убедиться, что в модели отсутствуют элементы с отрицательным значением якобиана. Для чего необходимо воспользоваться той же закладкой «**geometry**» и функцией «**neg-jac**» (рисунок 120).

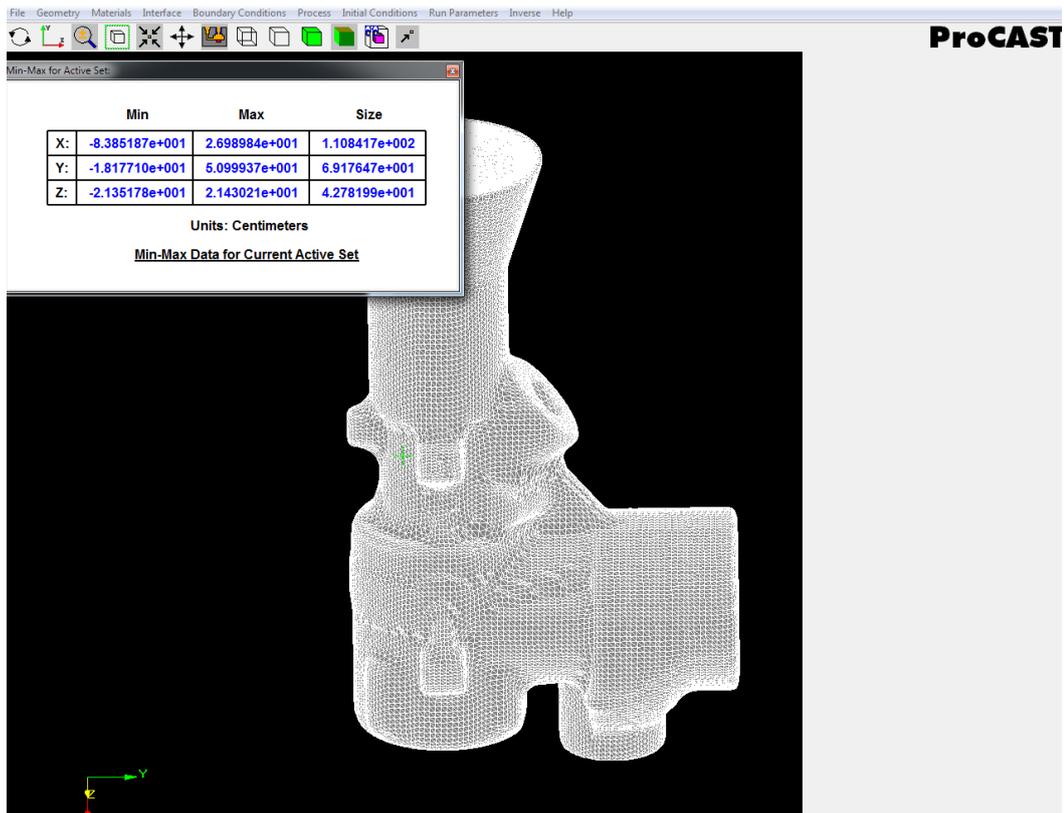


Рисунок 118 – Показ габаритных моделей отливки

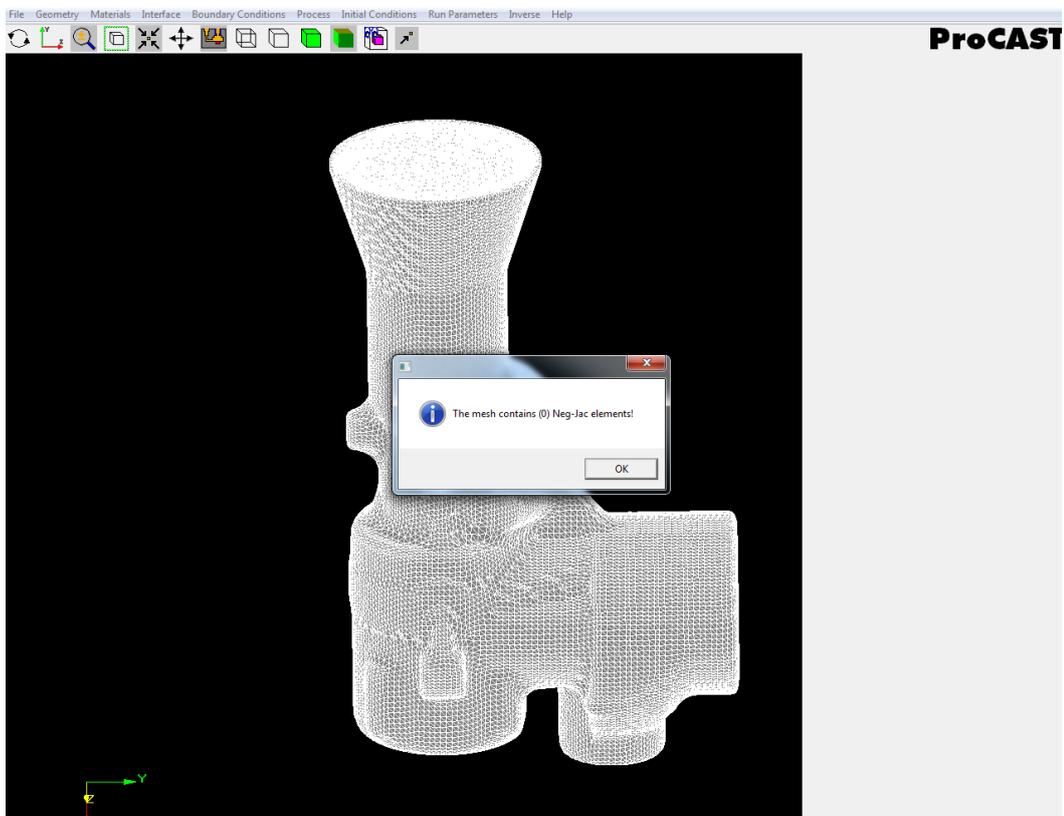


Рисунок 129 – Проверка элементов с отрицательным значением Якобиана
 Переходим в закладку «**materials**» для задания материалов формы и заливки.

Банк материалов находится в нижнем правом окне (рисунок 130), при выборе материала, из списка банка, необходимо задать его форме или модели для чего необходимо использовать функцию «assign». В нашем случае задаем материал заливки алюминиевый сплав (Al_Aluminum_201), а материал формы керамическое покрытие (Refractory_Alumina). Так же необходимо задать вид контакта между материалом и формой, задание контакта производится в закладке «type», в нашем случае «casting», в закладке «empty» ставим «yes» (рисунок 131).

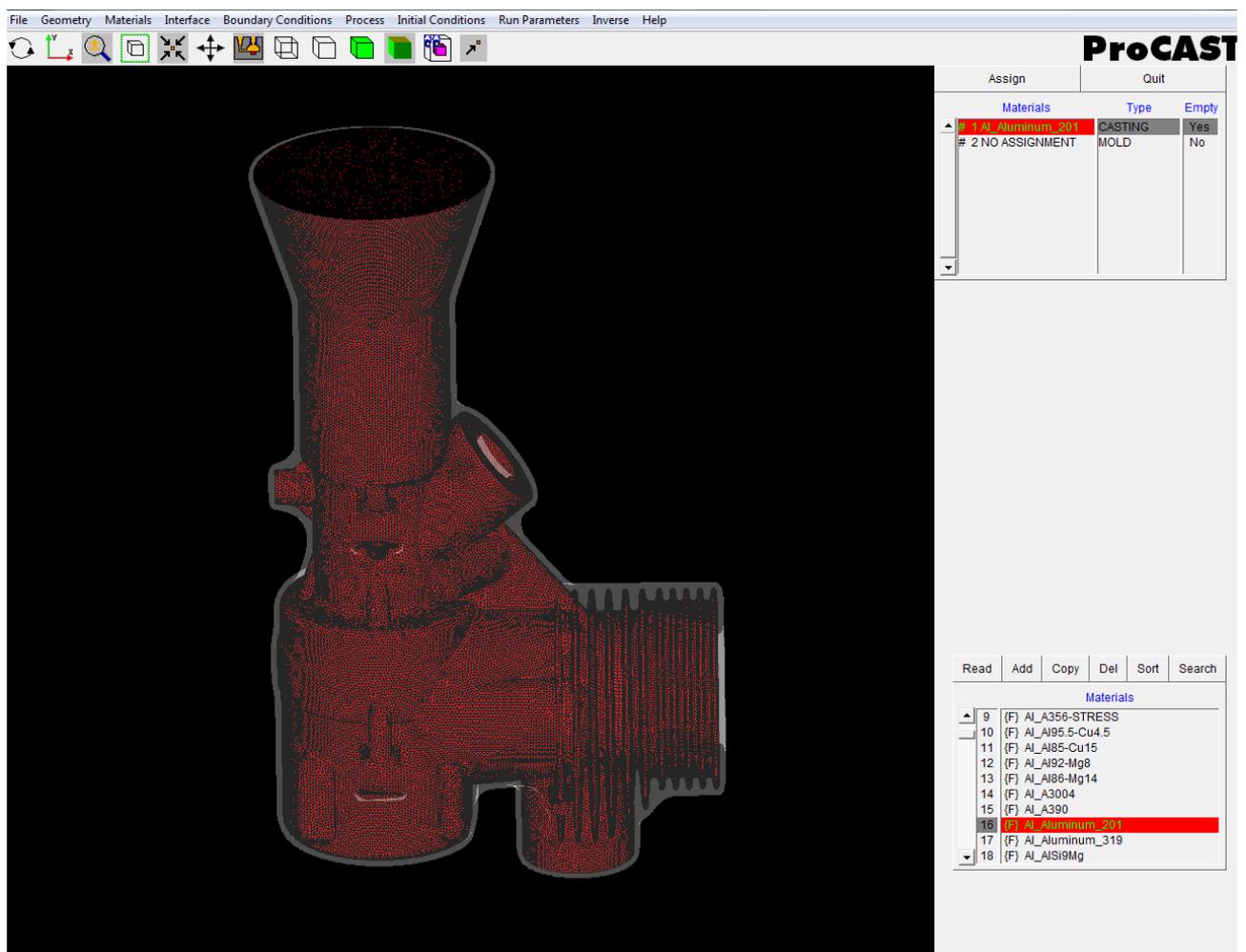


Рисунок 130 – Задание материала отливки

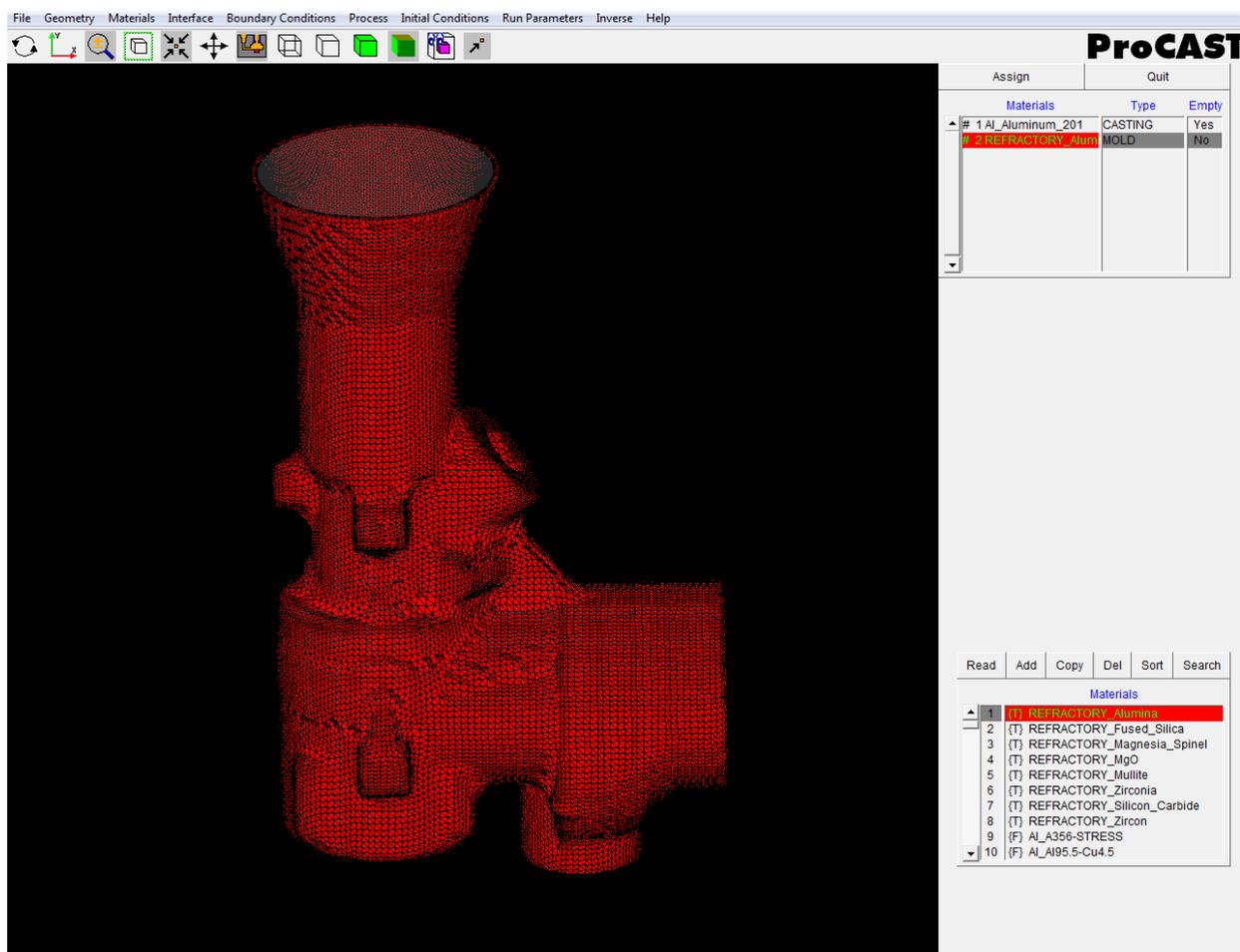


Рисунок 131 – Задание материала формы

В закладке «**interface**» задаем стандартные условия, выбирая из меню в правом нижнем углу (коэффициент теплопередачи, равен $500 \text{ W/m}^2/\text{K}$), и задаем тип контакта щелчком ЛКМ между формой и отливкой, в данном случае тип контакта будет «**coing**», при задании параметров пользуемся функцией «**assing**» (рисунок 132).

Переходим в закладку «**Boundary Conditions**» в подменю «**Assign Surface**» для задания температуры, скорости, и предварительного подогрева формы.

Используем закладку «**add**» (рисунок 133) где, соответственно, и выбираем температуру (**temperature**), скорость (**velocity**) и предварительный подогрев (**heat**). При задании данных параметров в меню правого нижнего угла выбираем закладку «**add**», где задаем параметры (числовые значения) для каждого выбранного элемента условий заливки.

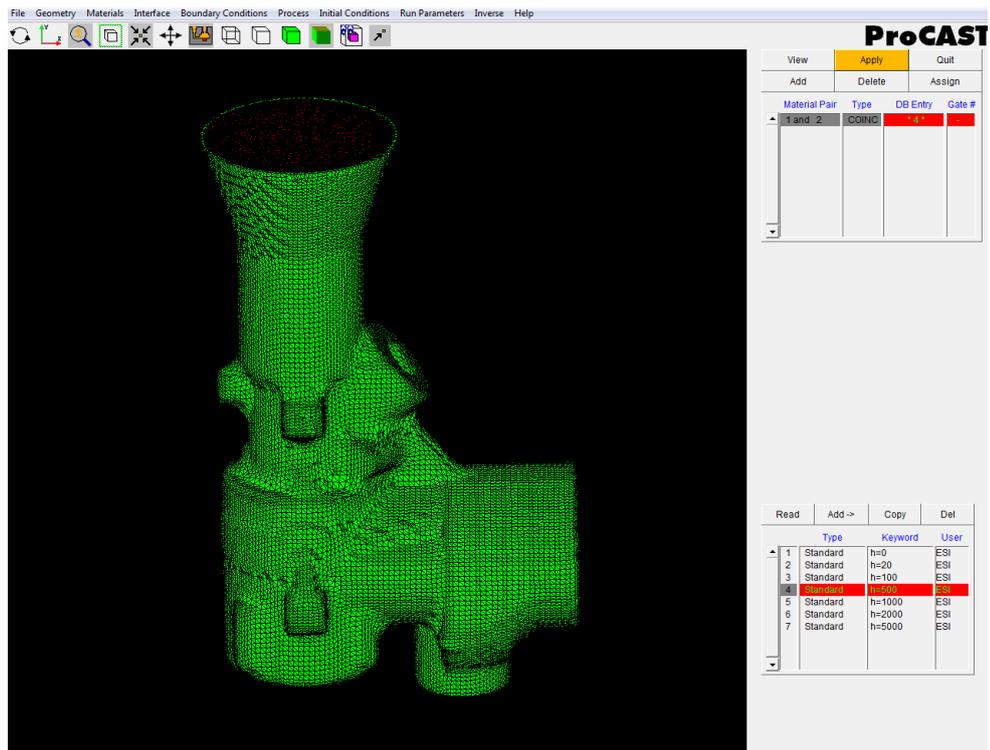


Рисунок 132 – Задание типа контакта формы и металла

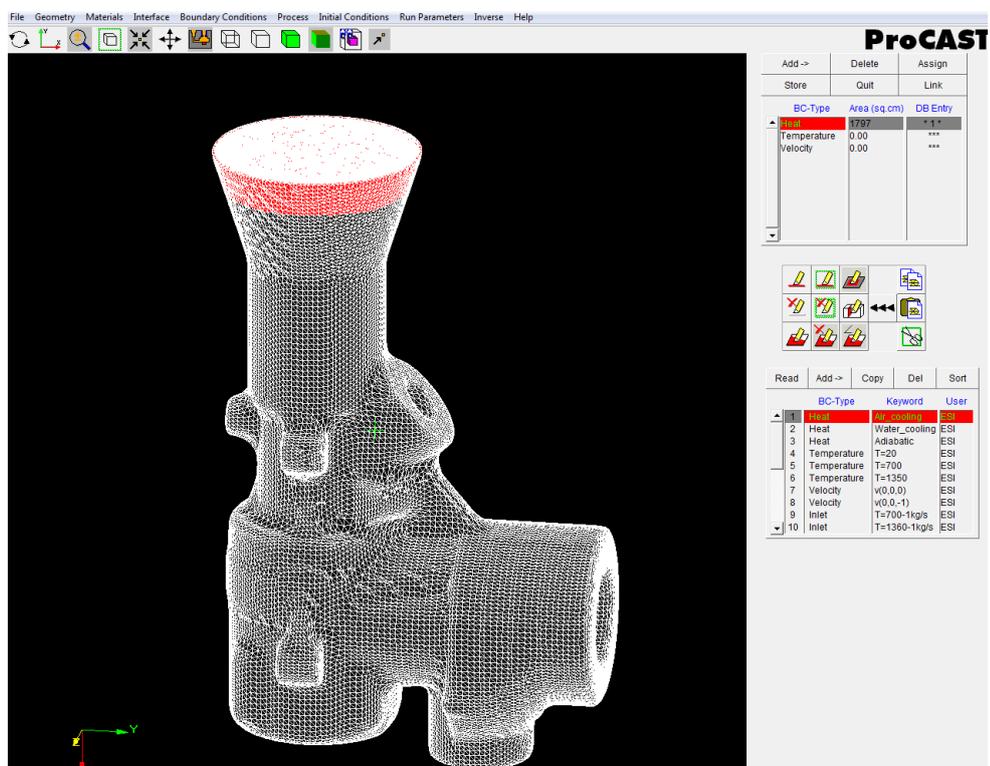


Рисунок 133 – Задание предварительного подогрева для формы отливки

При задании параметров предварительного подогрева формы выделяем внешнюю оболочку формы, при помощи инструментов выделения узлов сетки,

для упрощения выделения используем команды «**Propagate-Select**» и «**Define Propagating Angle**» (рисунок 134).

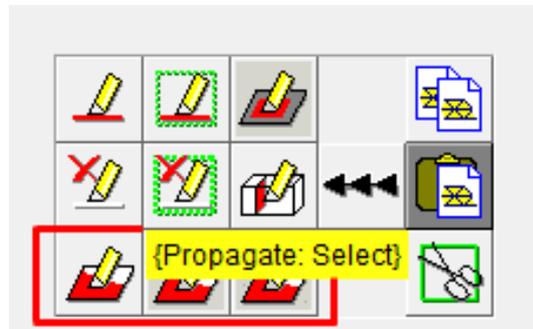
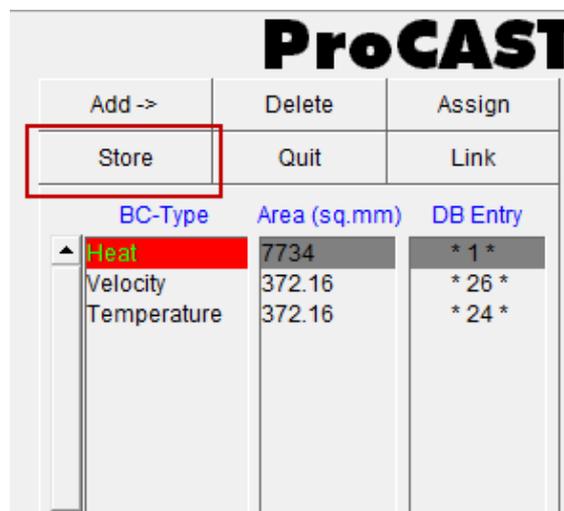


Рисунок 134 – Инструменты выделения границ модели

После чего записываем выбранные поверхности при помощи команды «**store**» (рисунок 135). В окне задания параметров предварительного подогрева формы задаем значения температуры окружающей среды, коэффициент теплопередачи и коэффициент черноты, после чего для закрытия окна используем команду «**store**» (рисунок 136).



Рисуно135– Запись выбранных параметров

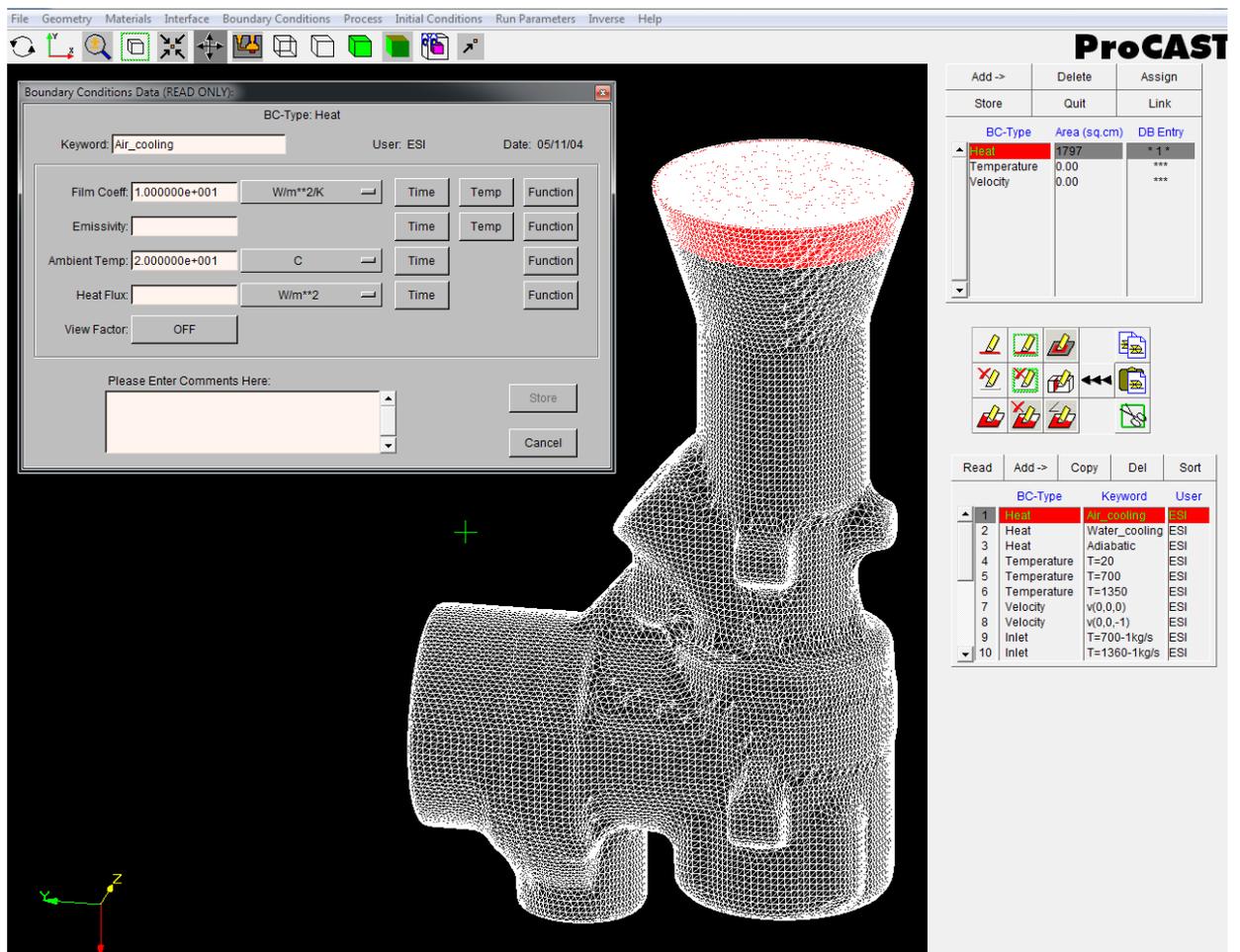


Рисунок 136 – Задание табличных данных предварительного подогрева

Задаем параметры температуры заливки, для чего выделяем поверхность заливки (заливочное отверстие) используя команду выделения поверхности узлов сетки, после выделения, сохранив выделенную поверхность используем команду «store» в окне задаем значение температуры ($T=750^{\circ}\text{C}$) согласно технологии заливки и закрываем окно при помощи команды «store» (рисунок 137).

В окне задания параметров скорости необходимо задать скорость по оси заливки, по всем остальным осям значения необходимо оставить нулевыми. Если направление скорости заливки будет противоположно направлению вектора оси, то ставим перед значением скорости знак минус. Для удобства задания используем команду «**velocity calculator**», при выборе данной команды открывается дополнительное окно, в котором задаем значения времени заливки (15 секунд), система выдает скорость которую заносим в значение оси. Скорость входящего потока металла рассчитывается в специальном калькуляторе скорости «**Velocity calculator**». Величина скорости определяется требуемым временем заполнения формы (принимается 15 с). Все вычисленные значения представлены на рисунке 139. Причем изначально ставим единицы измерения мм/с, а во все не заполняемые поля вводим значение 0.

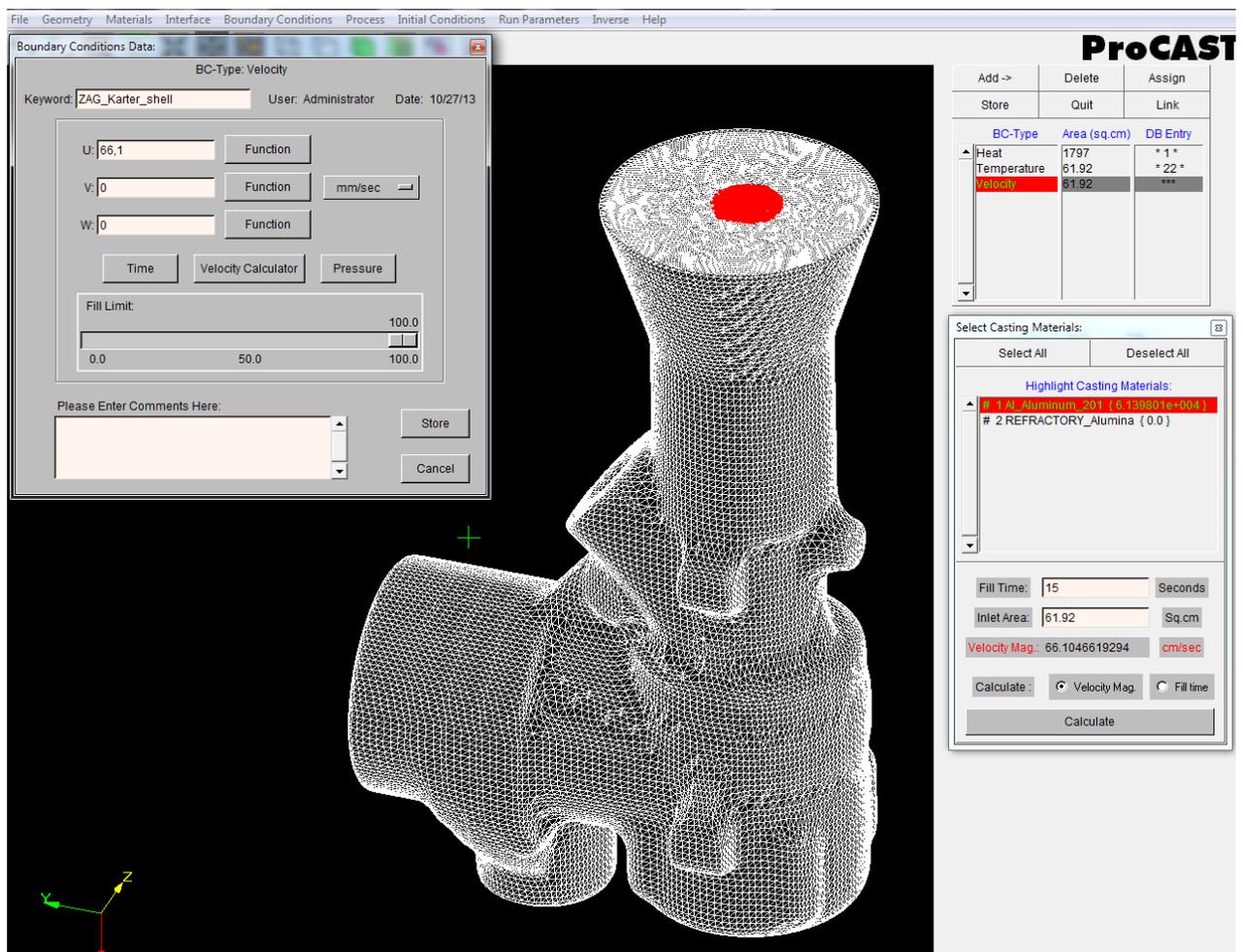


Рисунок 139 – Задание скорости

Задаем вектор гравитации (рисунок 140) для чего открываем закладку

«process» и подменю «gravity» в открывшемся окне задаем вектор гравитации ($9,8 \text{ м/с}^2$) относительно оси заливки. Если ось заливки противоположно направлена относительно вектора гравитации, то ставим знак минус.

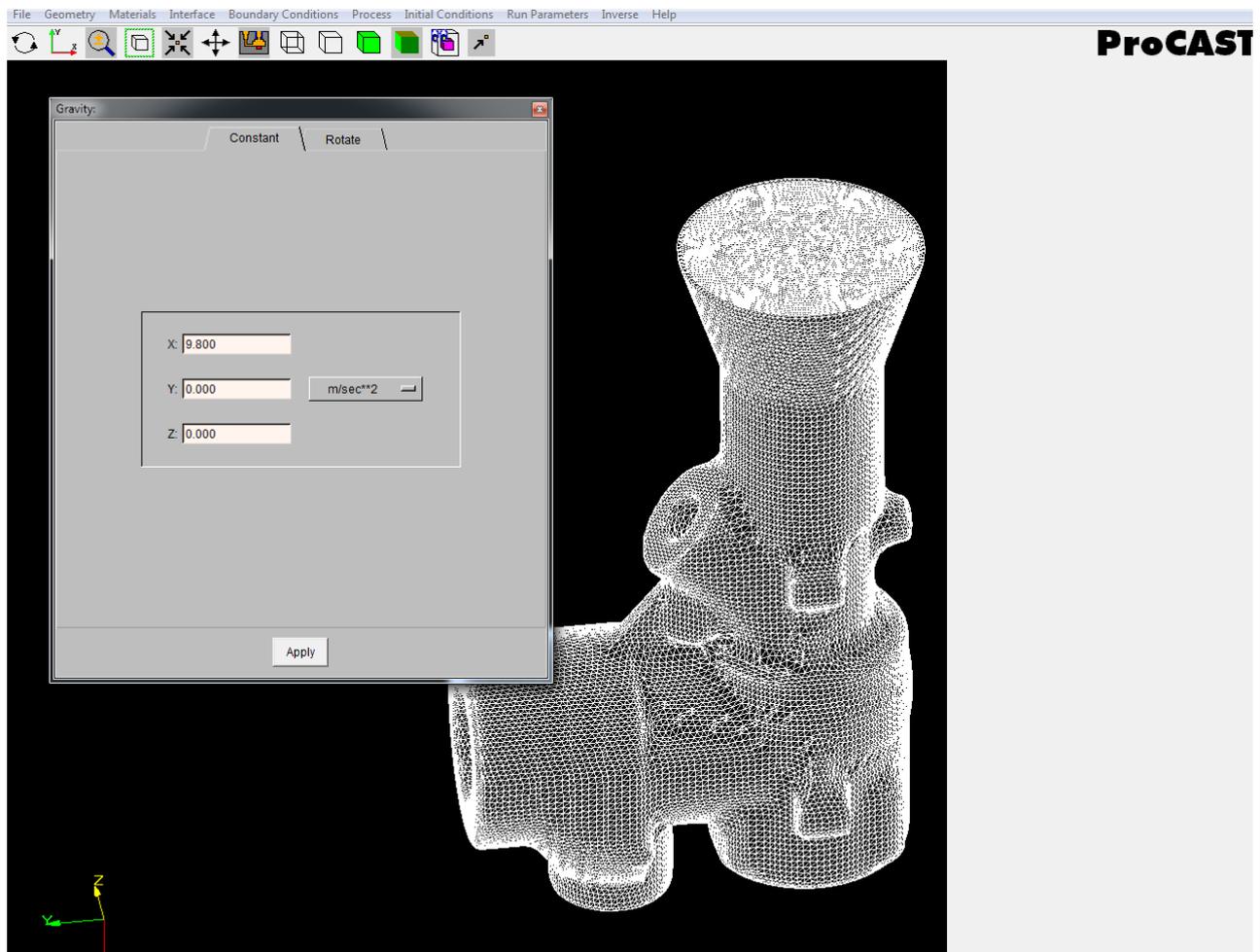


Рисунок 140 – Задание вектора гравитации

Переходим на вкладку «**Initial Condition**» и выбираем параметр «**Constant**». Задаем начальные температуры отливки ($T=720^{\circ}\text{C}$) и формы ($T=750^{\circ}\text{C}$), для чего, выбрав, данный материал в нижней строке задаем значение температуры, используя клавишу «**enter**» (см. рисунок 141).

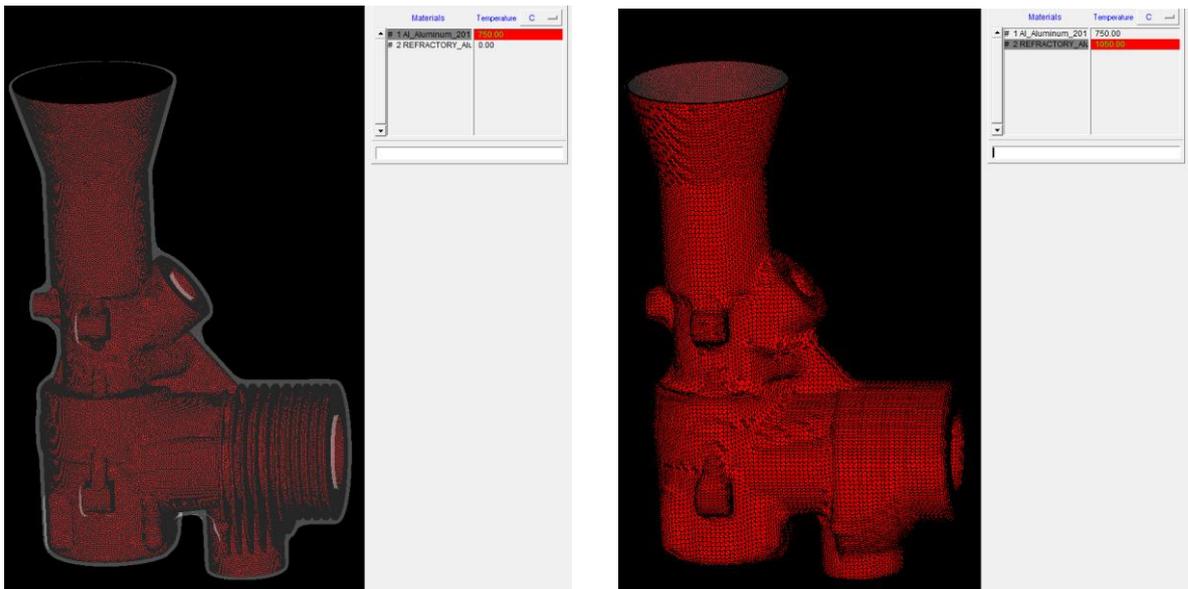


Рисунок 141 – Задание начальной температуры формы и отливки

Переходим на вкладку «**Run Parameters**», в меню «**Preferences**» и из выпадающего меню «**User Pre-defined Run Parameters**» задаем параметры процесса литья, в данном случае это литье по выплавляемым моделям - «**Gravity filling**» (рисунок 142).

При этом будут автоматически установлены специализированные параметры для данного вида. Переходим во вкладку «**General**» меняем количество шагов **NSTEP** на **20000**.

Также необходимо задать параметр остановки для процесса моделирования:

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.

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.

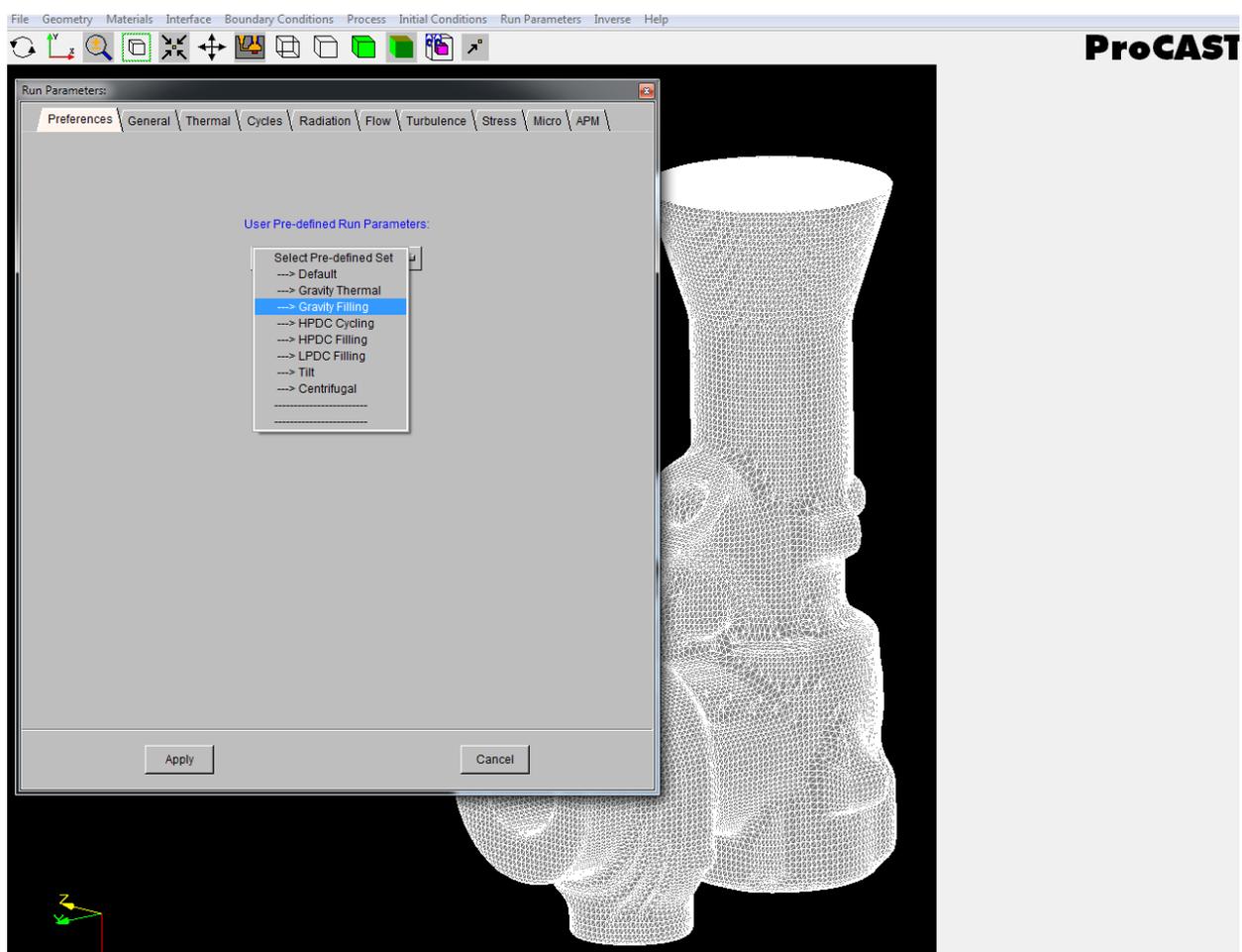
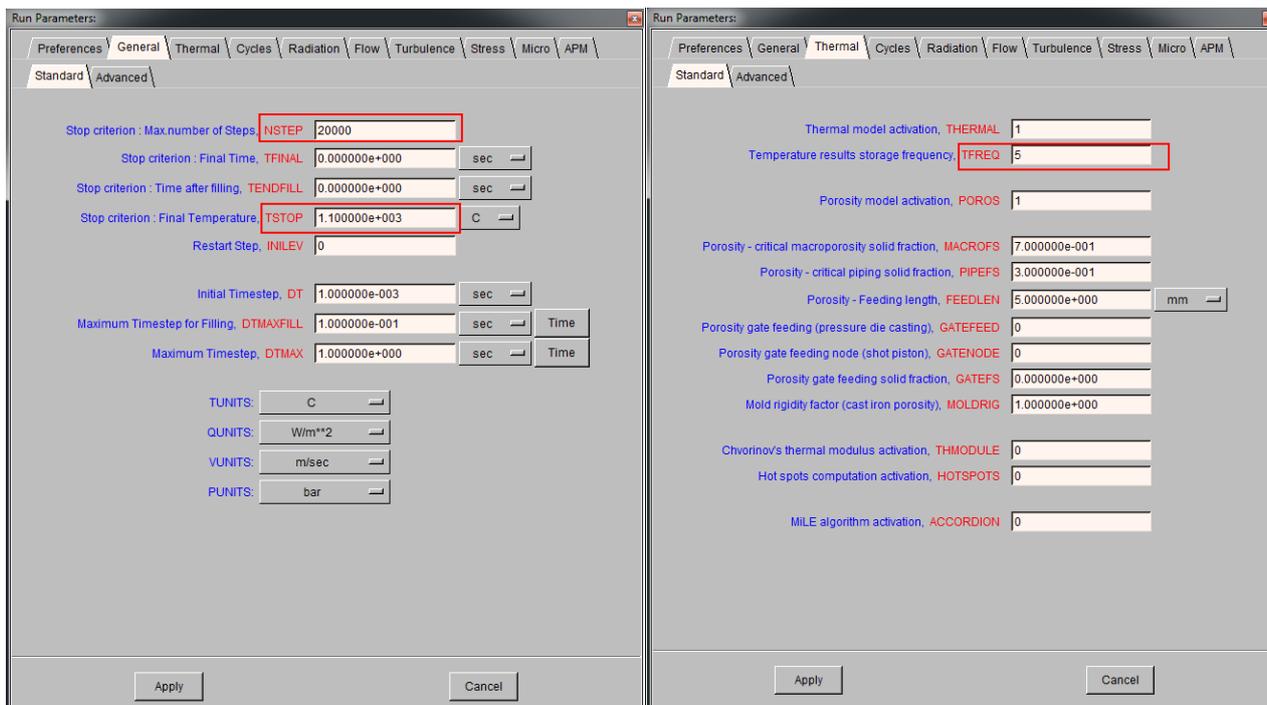


Рисунок 142 – Задание параметров литья по выплавляемым моделям

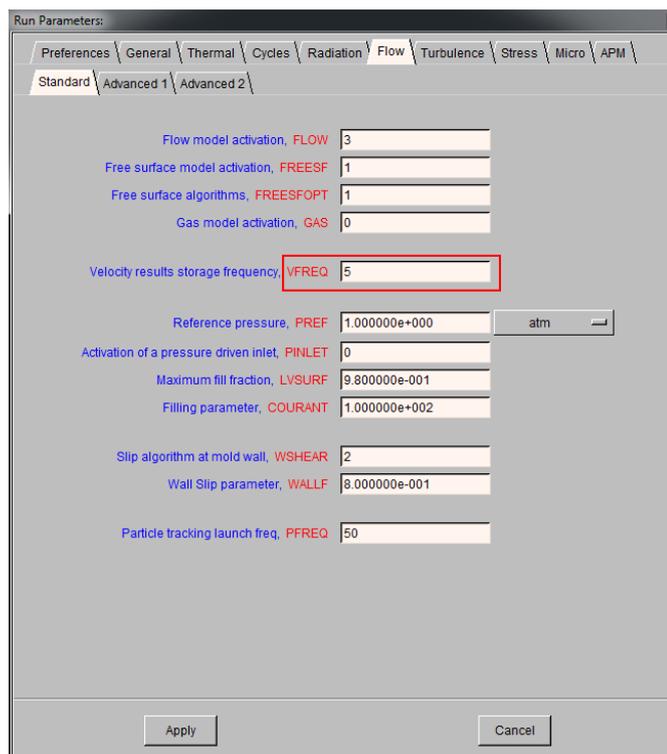
TSTOP - остановка расчета по температуре. Например, если необходимо провести заливку и кристаллизацию отливки, чтобы получить распределение усадочных дефектов, можно указать в качестве критерия остановки расчета температуру солидуса (или чуть ниже). При этом расчет остановится после полной кристаллизации отливки.

В нашем случае, параметр останова расчета выбираем **TSTOP=1100**. Для получения более детальных результатов устанавливаем меньшее значение частоты сохранения расчетных шагов, для этого во вкладке «**Thermal**» напротив поля **TFREQ** устанавливаем значение **5** и во вкладке «**Flow**» напротив параметра поля **VFREQ** устанавливаем значение **5** (рисунок 143, а, б, в).



a

b



в

Рисунок 143 – Окна ввода параметров расчета

Во вкладке «**Radiation**» выбираем «**advanced**» и задаем параметры «**TRI2QUAD =1**». **TRI2QUAD** – параметр, определяющий возможность группировки или не группировки треугольников в четырехугольников для

расчета теплообмена излучением. Когда параметр TRI2QUAD равен 1, треугольники группируются в четырехугольники (при условии, что угол между треугольниками не слишком велик). Это приводит к снижению количества излучающих поверхностей (примерно на 50%), что значительно сокращает время расчета (примерно на 75%). Сохраняем заданные параметры используя команду «**apply**».

На этом задание граничных и начальных условий заканчивается. Для сохранения и оптимизации введенных значений заходим во вкладку **File** и ставим галочку напротив пункта **Optimize**. Затем снова заходим во вкладку **File** и выбираем **Exit**. Происходит оптимизация модели с заданными условиями. На этом работа в модуле PreCast заканчивается. При оптимизации PreCast переименует все узлы в модели для увеличения скорости расчета. Оптимизацию необходимо выполнить перед выходом из PreCast.

Компилирование настроек и создание необходимых для расчета файлов в модуле DataCast

DataCast компилирует и конвертирует исходные данные, хранящиеся в ASCII-файле prefixd.dat, в двоичный формат, пригодный для решателя. DataCast также удаляет все файлы с результатами расчета и создает новые. Поэтому при запуске DataCast все результаты моделирования, проведенные раньше, будут удалены. Также DataCast исправляет некоторые ошибки в ходе компиляции.

Работа в данном модуле начинается с загрузки файла модели, подготовленного на этапе PreCast. Для этого необходимо в диалоговом окне ProCast указать путь к папке с подготовленными файлами и нажать на кнопку DataCast (рисунок 144). Произойдет загрузка модели в модуль и появится диалоговое окно, в верхнем поле которого будет указано имя, загружаемого файла.

Модуль DataCast служит препроцессором системы. Используем команду прочтения файла (рисунок 145).

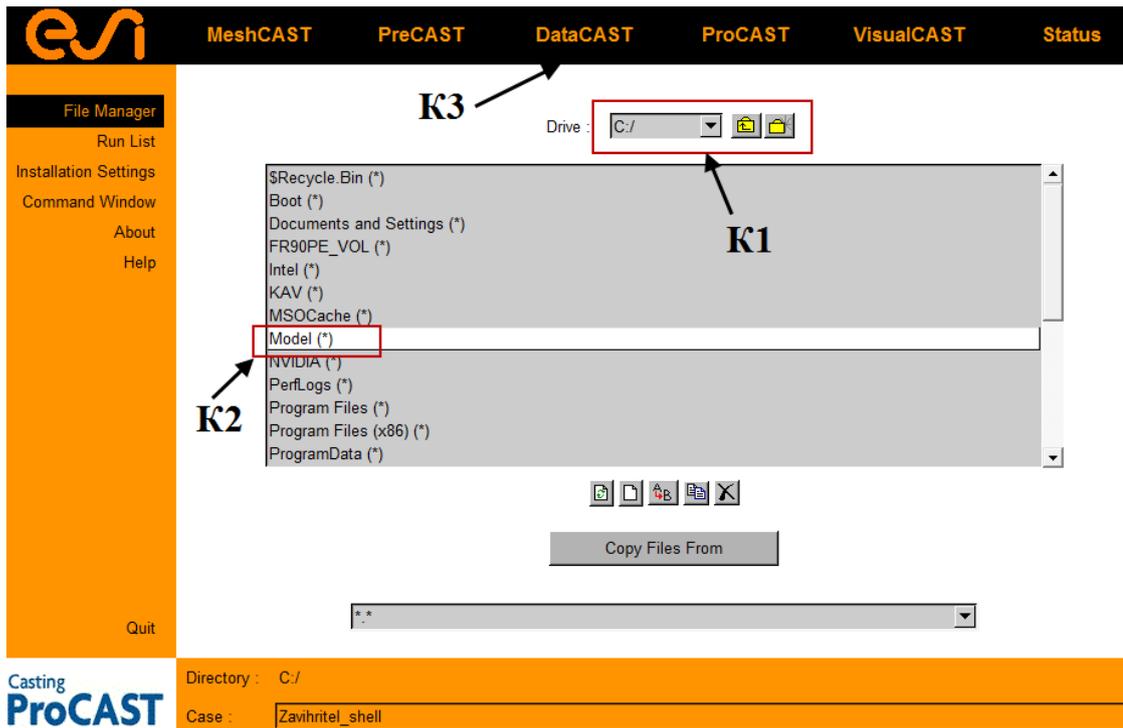


Рисунок 145 – Загрузка модели в модуль DataCast

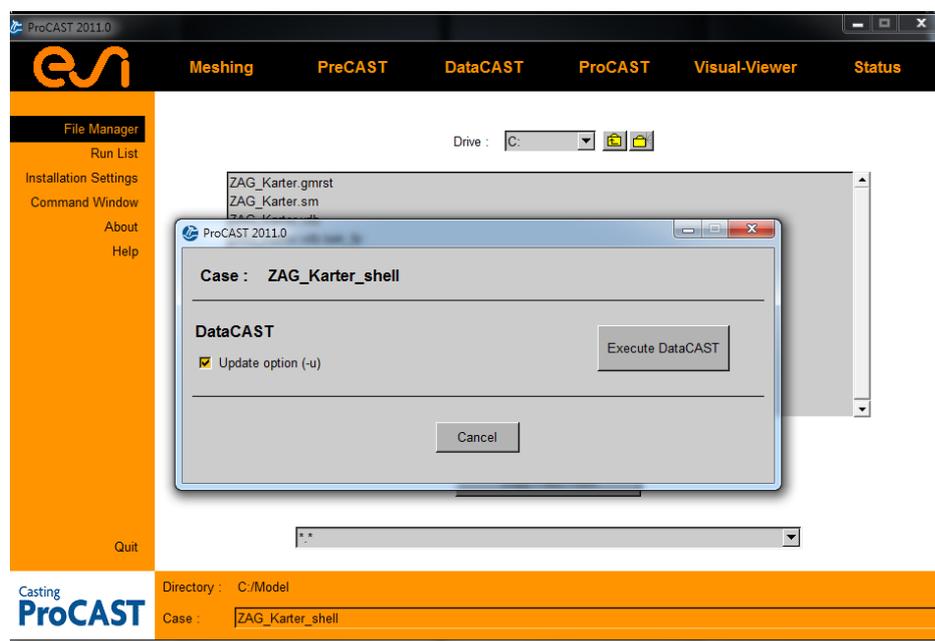


Рисунок 145 – Окно компилирования настроек

Опция **Execute DataCAST** необходима для компиляции введенных в PreCAST параметров в файлы запуска расчета. Проводить компиляцию необходимо перед первым запуском каждого расчета, при повторном перезапуске (с текущего шага или нулевого) компиляция не нужна. Разница

между DataCAST и Execute DataCAST first состоит в том, что в первом случае компиляция проводится независимо, во втором случае - перед запуском самого расчета.

После этого появляется командное окно и произойдет обработка модели. Ждем пока в этом окне не появится сообщение следующего вида: **“Для продолжения нажмите любую клавишу...”** – это свидетельствует о том, что модуль DataCast успешно завершил свою работу (рисунок 146).

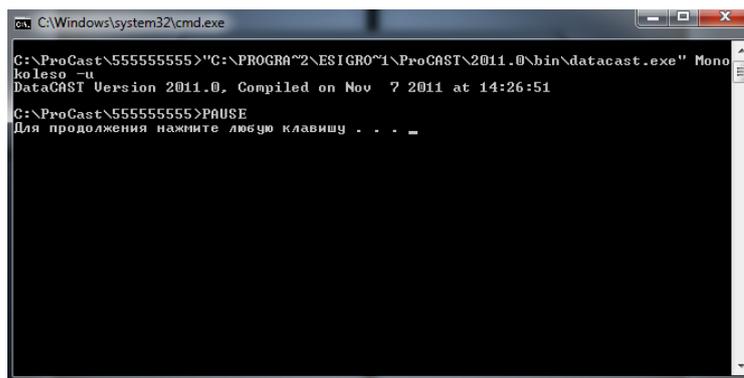


Рисунок 146 – Окно завершения работы модуля DataCast

На этом работе в модуле DataCast заканчивается.

Выполнение анализа скомпилированной модели в модуле ProCast

Модуль ProCAST предназначен для управления решателем. Он создает все файлы, которые необходимы для ViewCast.

1. Перейдите в окно **File Manager**.
2. Находим *d.dat и *p.dat файлы, которые будут использованы для расчета. Оба этих файла необходимы для решателя.
3. Нажмите кнопку ProCast.
4. Появится новое окно.
5. Поставьте галочку в окне **"Execute DataCast first"**. Эту опцию необходимо использовать перед каждым новым расчетом (рисунок 147).
6. В окне **«Number of Processors»** указываем количество используемых в моделировании процессоров. Данная функция доступна для

подключения режима распараллеливания задачи. В нашем случае **Number of Processors=4**.

7. Нажмите кнопку **Run**, при этом будет запущен расчет. После этого появляется командное окно и произойдет обработка модели. Одновременно нажимаем кнопку **Status** в верхнем меню окна ProCAST и ждем пока закончится процесс обработки (рисунок 148).

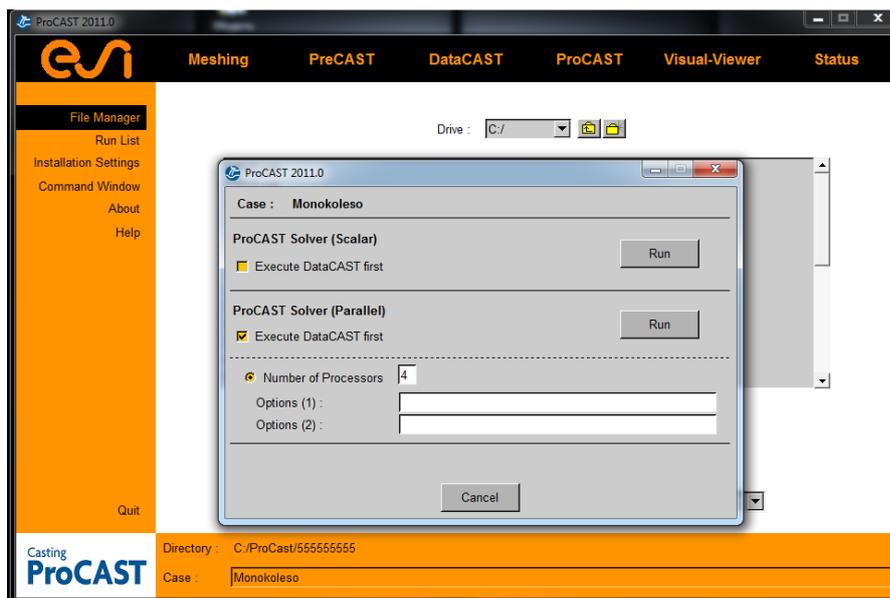


Рисунок 147 – Запуск расчета

ProCAST Solver (Scalar) – для запуска однопроцессорного расчета.

ProCAST Solver (Parallel) – для запуска параллельного вычисления.

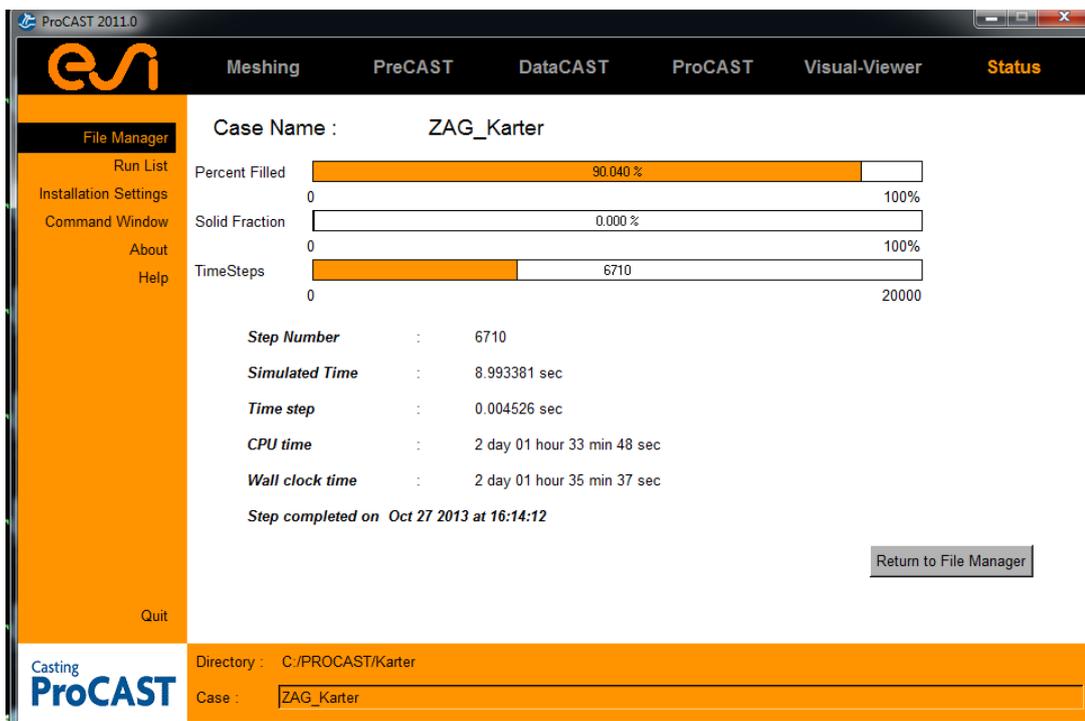


Рисунок 148 – Расчет скомпилированной задачи

Данный шаг занимает очень длительное время – от нескольких часов до нескольких дней. После завершения процесса обработки, можно считать работу модуля ProCast завершенной.

Причины, по которым необходим перезапуск:

- ✓ программа закончила расчет в заданном месте;
- ✓ не хватило мощностей компьютера;
- ✓ существует проблема программного обеспечения или сходимости;
- ✓ вы сами прервали расчет.

Анализ полученных результатов виртуальной заливки картера ДВС

Для просмотра результатов расчета программы ProCAST необходимо запустить дополнение **Visual-Viewer**, и открыть файл результата расчета с расширением .UNF. Данное дополнение позволяет записать видео процессов изменения параметров и заливки.

Ниже приведены данные по результатам расчетов полей температур,

скоростей, давлений жидкой фазы и прочее, на основании которых можно оценить качество проектируемого технологического процесса.

Температура. Процесс заполнения оболочки и распределение температуры сплава в некоторые моменты времени заливки представлен на рисунках 149 – 152. Перед заливкой оболочка имеет температуру 720 °С, и можно рассмотреть повышение температуры оболочки при контакте с ней расплавленного металла с температурой 750 °С. Также представлены температуры ликвидуса и солидуса.

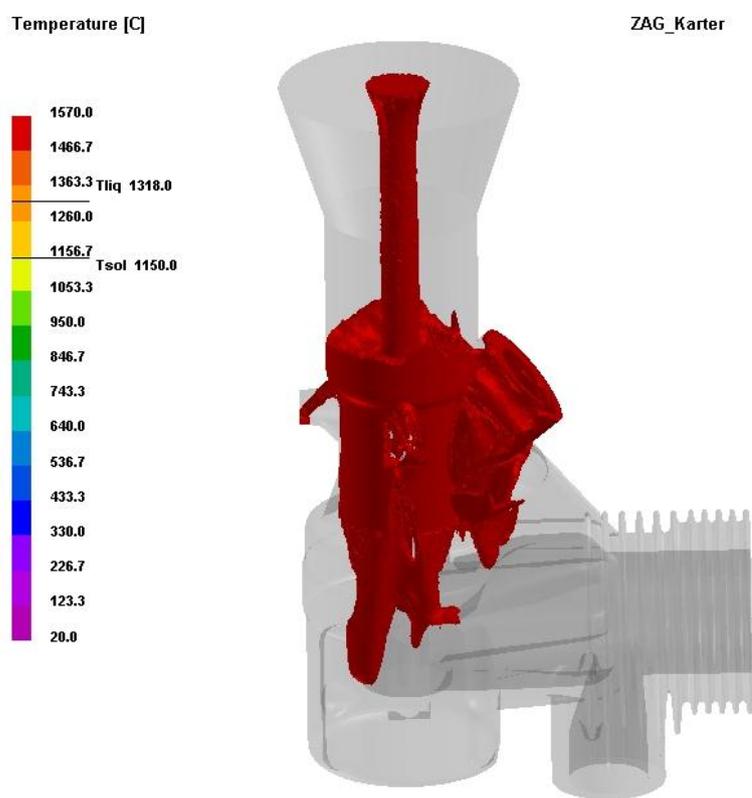


Рисунок 149 – Распределение температуры сплава при заполнении оболочки (начальный момент)

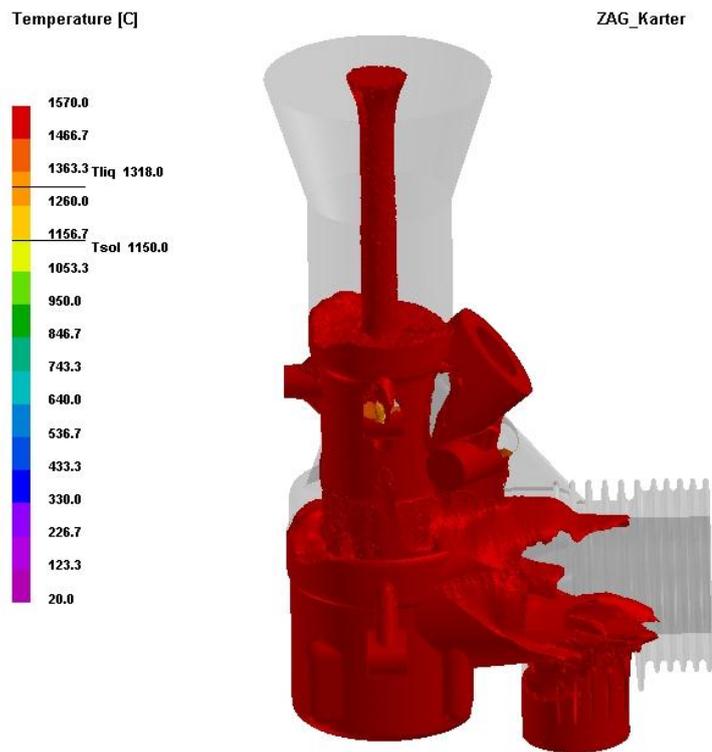


Рисунок 150 – Распределение температуры сплава при заполнении оболочки
(3 с)

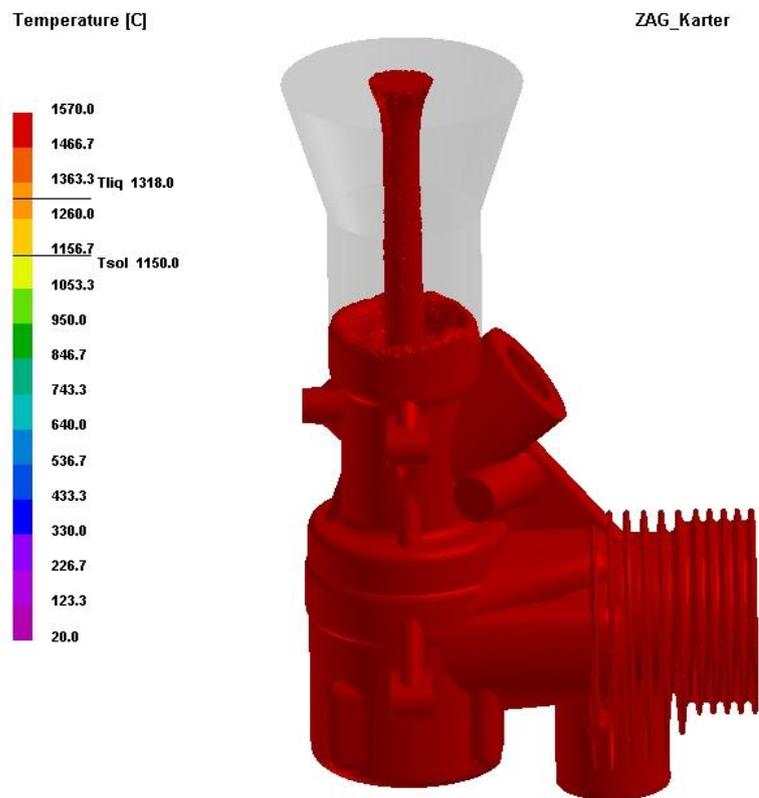


Рисунок 151 – Распределение температуры сплава при заполнении оболочки
(7 с)

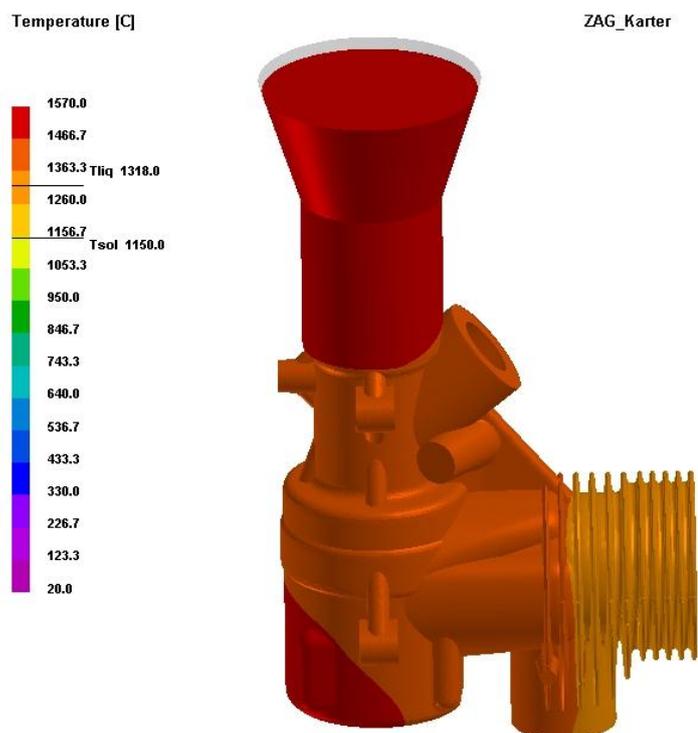


Рисунок 152 – Распределение температуры сплава при заполнении оболочки
(15 с)

Из рисунков видно, что расплав поступает относительно равномерно в отливку картера, это свидетельствует об эффективности литников, прибылей и питателей в частности и об литниково-питающей системы в целом.

На рисунке 153 представлено распределение температуры одной из половин оболочки перед окончанием заливки.

Оболочковая форма нагревается относительно равномерно по мере наполнения ее сплавом. Большое влияние на распределение температур оказывает местные участки сопротивления течения жидкости (резкое изменение проходной площади и направления движения расплава).

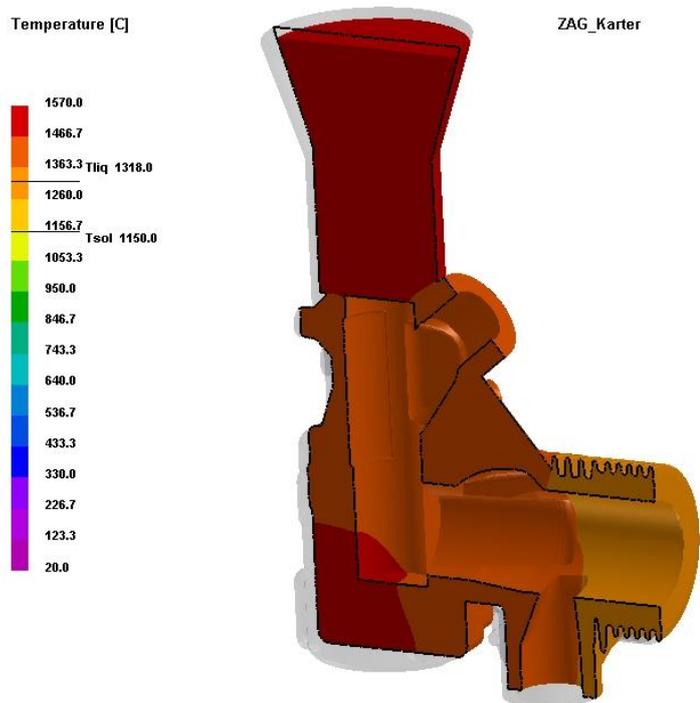


Рисунок 153 – Распределение температурного поля в сечении X-Y

Давление. Динамическое и статическое давление металла представлено на рисунках 154 – 156.

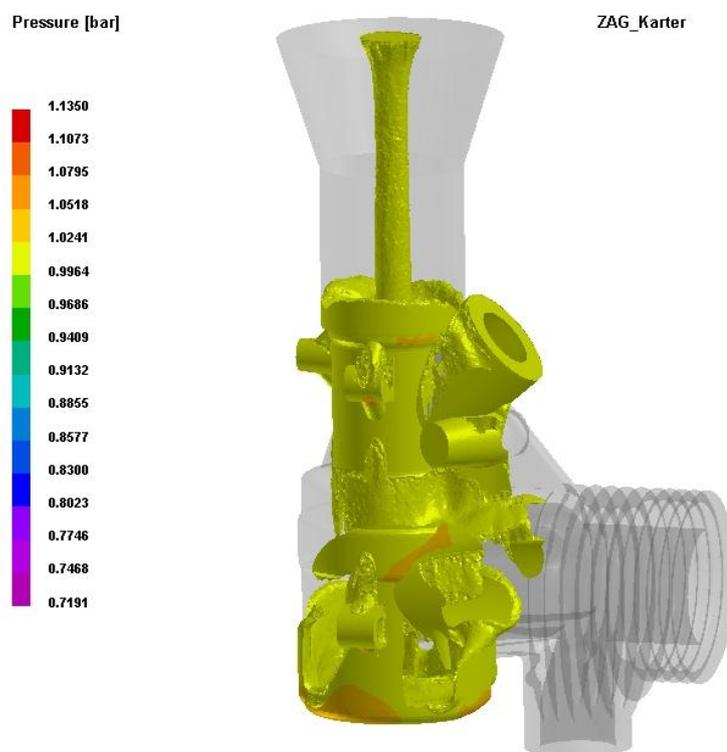


Рисунок 154 – Распределение давления сплава при заполнении оболочки в начальный момент заливки

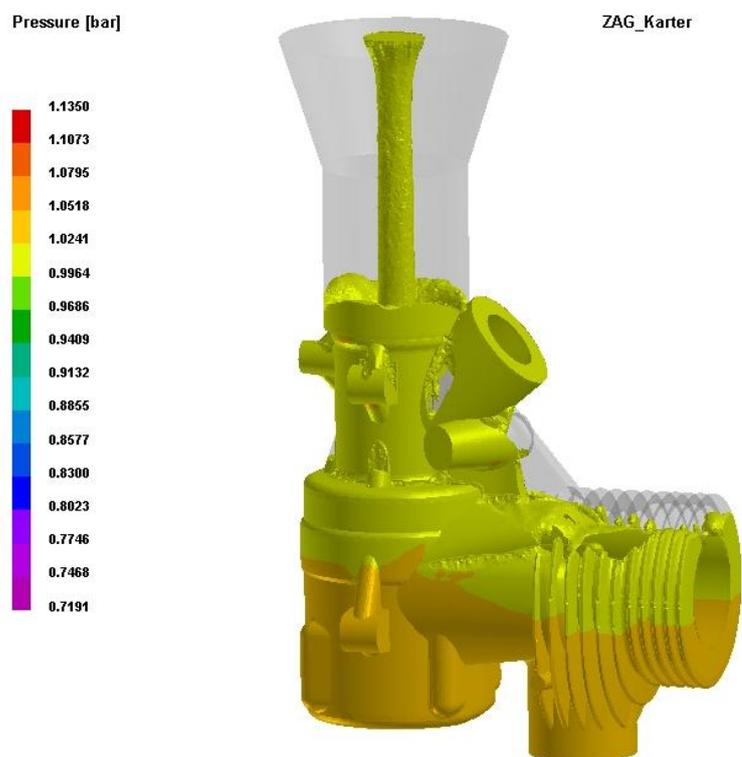


Рисунок 155 – Распределение давления сплава при заполнении оболочки (5 с)

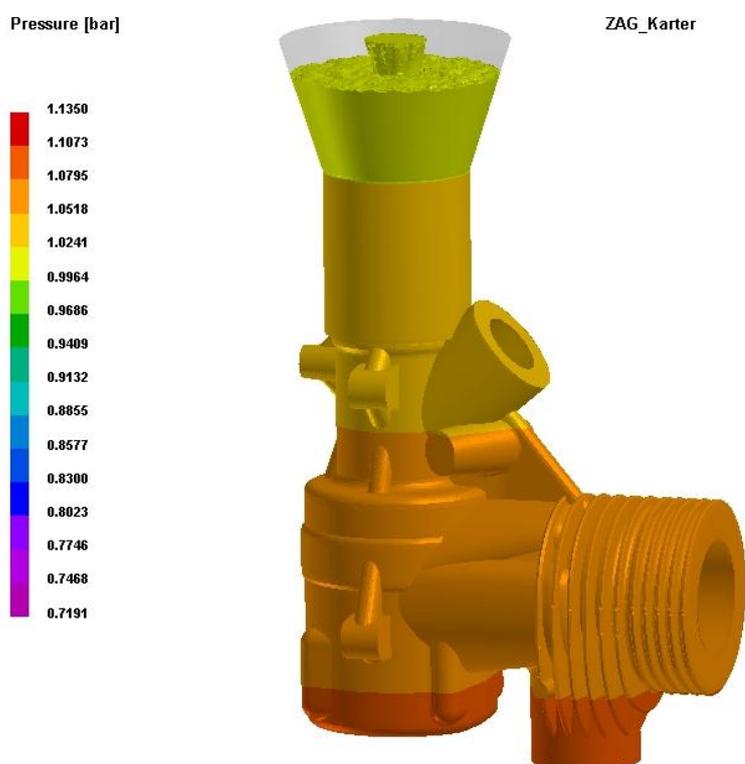


Рисунок 156 – Распределение давления сплава при заполнении оболочки в
конечный момент заливки

Из рисунков 154 – 156 рентгеноконтроля видно, что максимальное давление сплава соответствует нижней части стояка. Распределяясь по отливке, давление сплава снижается, и при завершении заливки поле давлений начинает выравниваться по сечению.

Скорость. Значение скорости металла U вдоль оси X представлено на рисунках 157 – 159.

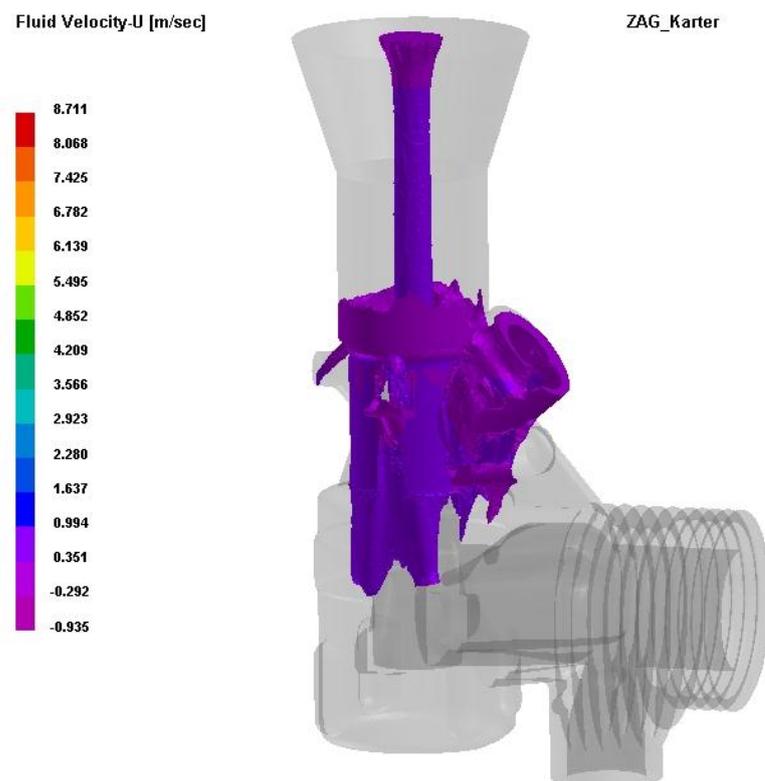


Рисунок 157 – Распределение скорости сплава вдоль оси X при заполнении оболочки в начальный момент заливки

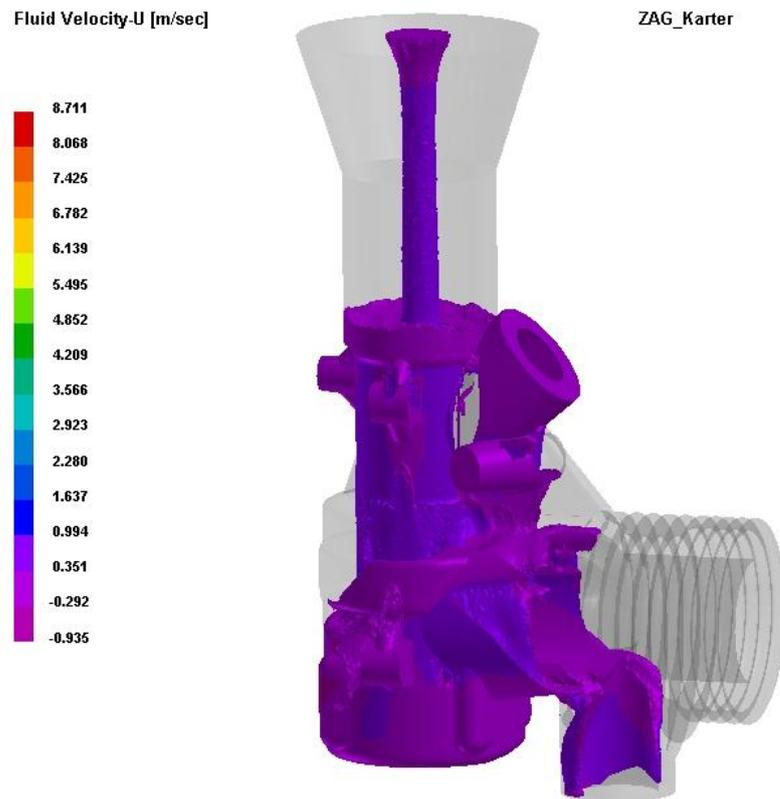


Рисунок 158 – Распределение скорости сплава вдоль оси X при заполнении оболочки (5 с)

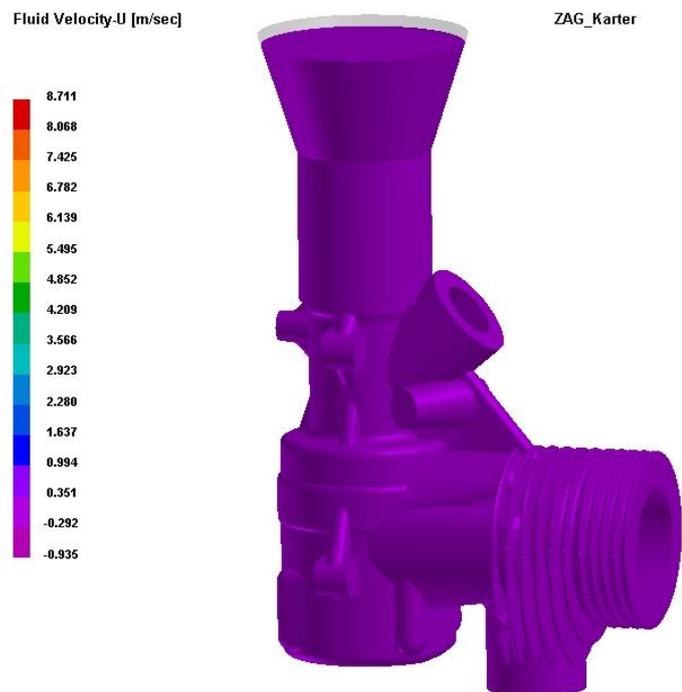


Рисунок 159 – Распределение скорости сплава вдоль оси X при заполнении оболочки в конечный момент заливки

Скорость движения частиц сплава вдоль оси X растет с момента заливки в оболочковую форму (рисунок 157). К окончанию процесса заливки (рисунок 159) расплав имеет равномерное поле скоростей частиц по всему объему вдоль оси X, плавно снижающееся до 0 м/сек.

Количество жидкой фракции (FVOL). Режим заполнения и объем заполненного сплава представлен на рисунках 160 – 162.

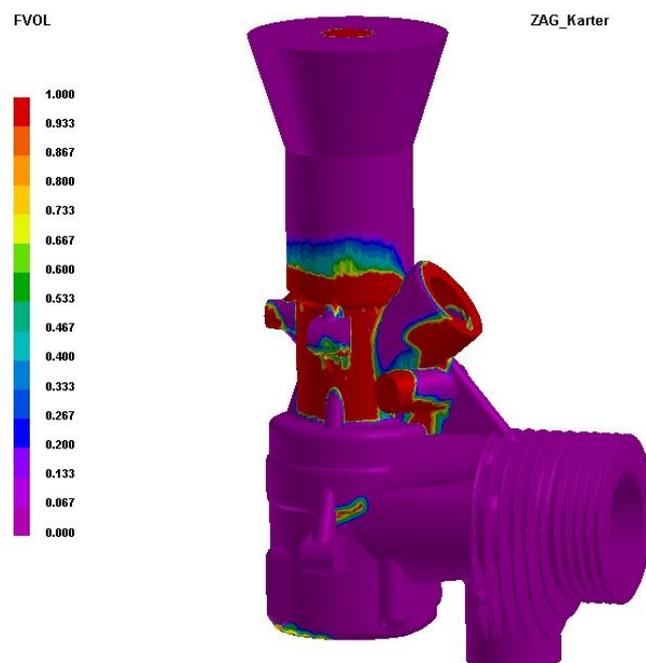


Рисунок 160 – Распределение жидкой фракции сплава при заполнении оболочки в начальный момент заливки

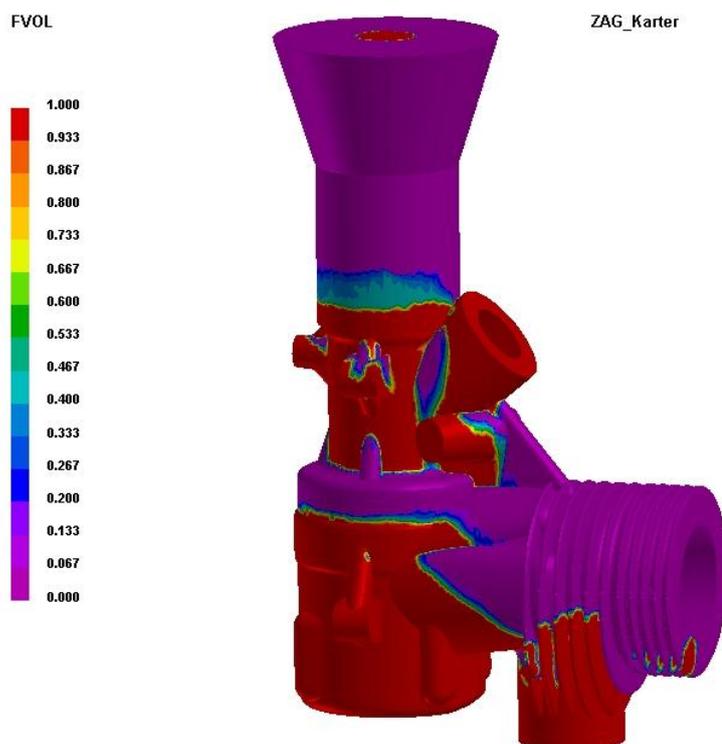


Рисунок 161 – Распределение жидкой фракции сплава при заполнении оболочки (5 с)

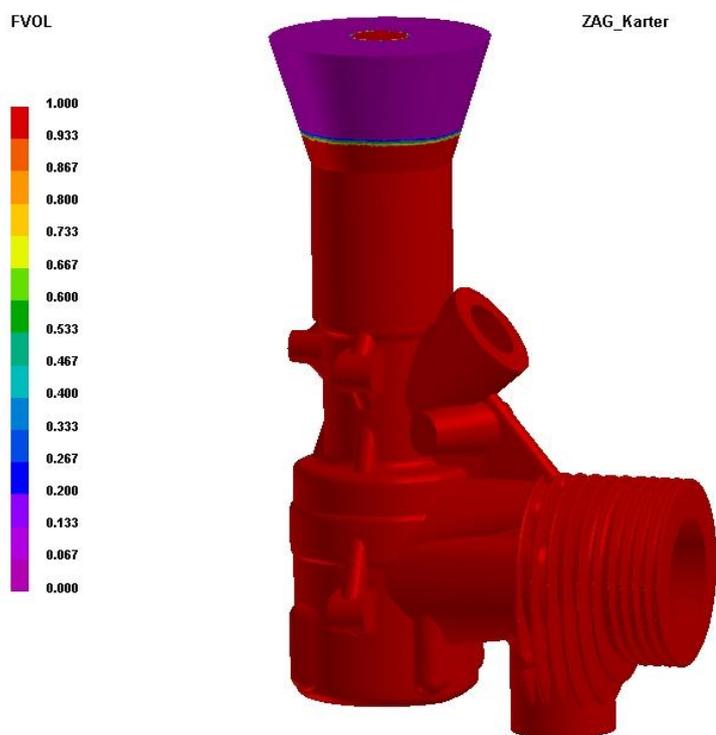


Рисунок 162 – Распределение жидкой фракции сплава при заполнении оболочки в конечный момент заливки

Из рисунков 160 – 162 видно, что жидкая фракция составляет 100% внутреннего объема всей отливки, следовательно, моделирование заливки демонстрирует высокое качество заполнения жидким сплавом исследуемой оболочковой формы.

Распределение пустот в отливке в начале и конце заливки представлено на рисунках 163 – 165.

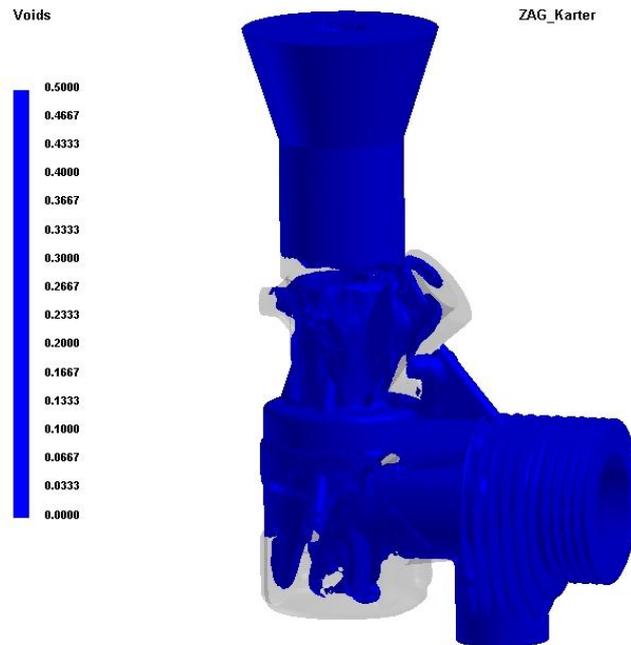


Рисунок 163 – Распределение пустот в отливке в начальный момент

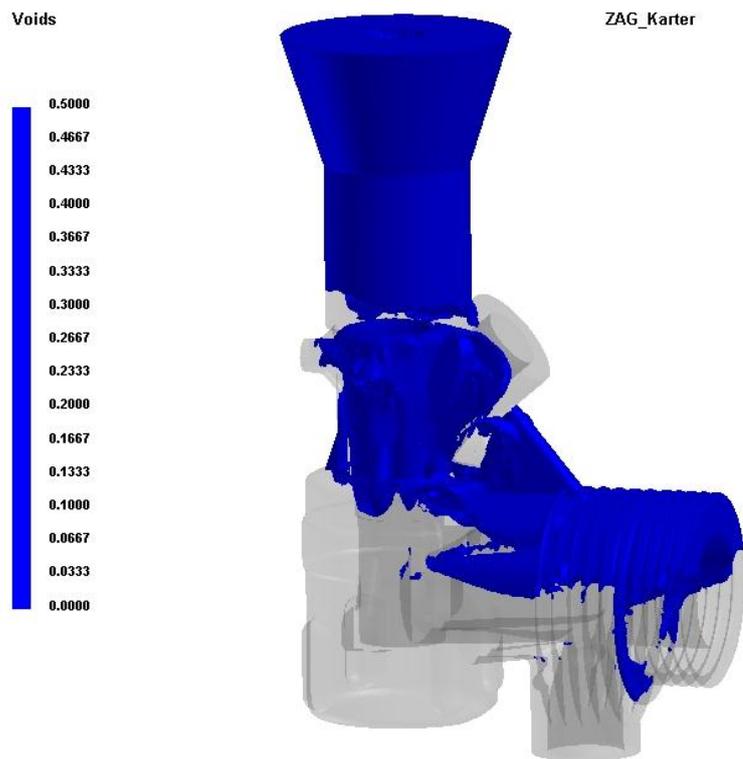


Рисунок 164 – Распределение пустот в отливке в середине отливки

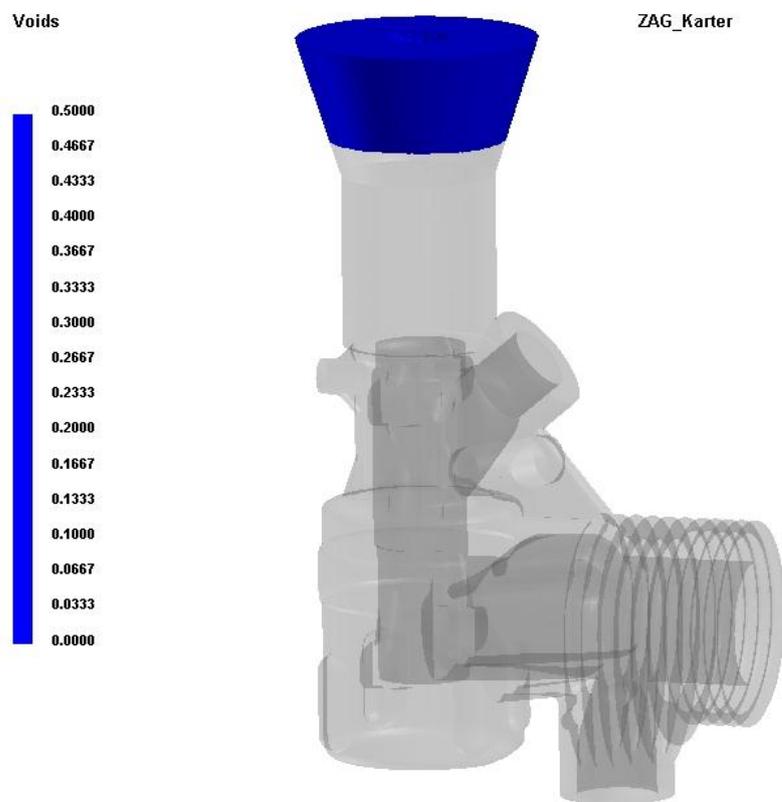


Рисунок 165 – Распределение пустот в отливке в конечный момент

На рисунках 163 – 165 представлено распределение пустот в отливке в начале и конце заливки. Видно, что в конце заливки отсутствуют пустоты, однако, результат заливки показывает усадочные раковины в районе ребер охлаждения картера ДВС (рисунок 166) – это, в итоге приведет к непроливу и, как следствие, к браку. Чтобы избежать образования усадочных раковин, можно порекомендовать изменить вид литниково-питающей системы, изменить проходное сечение заливной горловины, так как металл кристаллизуется, не успевши заполнить всю форму, а также изменить начальные и граничные условия заливки, в частности температуру, скорость заливки.

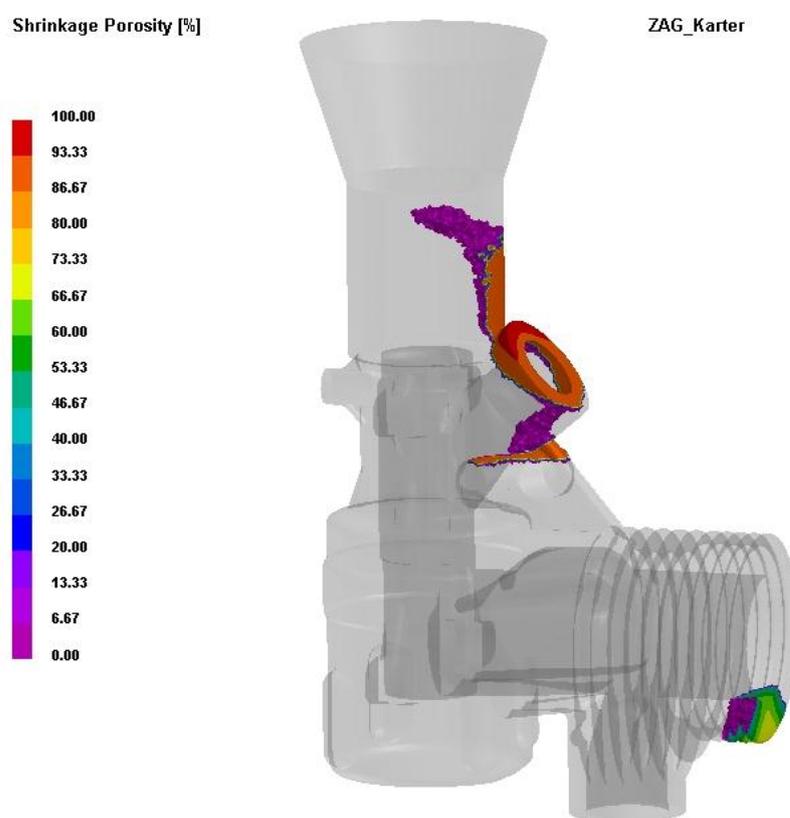


Рисунок 166 – Образование усадочных раковин при заливки картера

Исходя из полученных расчетов можно судить о том что:

- имеются усадочные раковины в районе ребер охлаждения картера ДВС;
- при данной заливке отсутствует пористость металла в отливаемой модели.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шкленник, Я. И. Литье по выплавляемым моделям [Текст]: учебник для вузов / Я. И. Шкленник, В. А. Озерова. — М.: Машиностроение, 1984.— 408 с.
2. Рыбальченко, Н.А. Проектирования литейных цехов [Текст]: учебник для вузов / Н.А. Рыбальченко. — Харьков, 1965.
3. Козлов, Л.Я. Производство стальных отливок: [Текстучебник для вузов / Л.Я. Козлов, В.М. Колокольцев, К.Н. Вдовин и др./ Под ред. Л.Я. Козлова. — М.: МИСИС, 2003.
4. Технология производства авиационных двигателей [Текст]: монография / Богуслаев В.А., Качан А.Я., Мозговой В.Ф., Корневский Е.Я. — Изд.2-е, перераб. и доп. — Запорожье: Мотор Сич, 2010.-Ч.1: основы техно-логии авиадвигателестроения.-2010.-416с.
5. Виноградов В.М. Технология машиностроения [Текст]: введ в специальность: [учеб. пособие для вузов по направлению подгот. «Конструкт. — технол. обеспечение машиностроит. пр-в»]/В.М. Виноградов. — 3-е изд., стер. — М.: Academia, 2008 — 175 с.
6. Основы технологии машиностроения [Текст] : учебник :[для вузов по направлению подгот. дипломир. специалистов - "Конструкт.-технол. обеспечение машиностроит. пр-в"] / Е. И. Махаринский, В. А. Горохов, А. Г. Схиртладзе [и др.] ; под общ. ред. П. И. Ящерицына. - 3-е изд., доп. и перераб. - М. : Глобус, 2005. - 412 с.
7. Суслов А.Г. Технология машиностроения [Текст] : [учеб. для ву-зов по направлению подгот. бакалавров и магистров "Технология, оборудование и автоматизация машиностроит. пр-в" и направления подгот. дипломир. специалистов "Конструкт.-технол. обеспечение машиностроит. пр-в"] / А. Г. Суслов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Машиностроение, 2007. - 429 с.