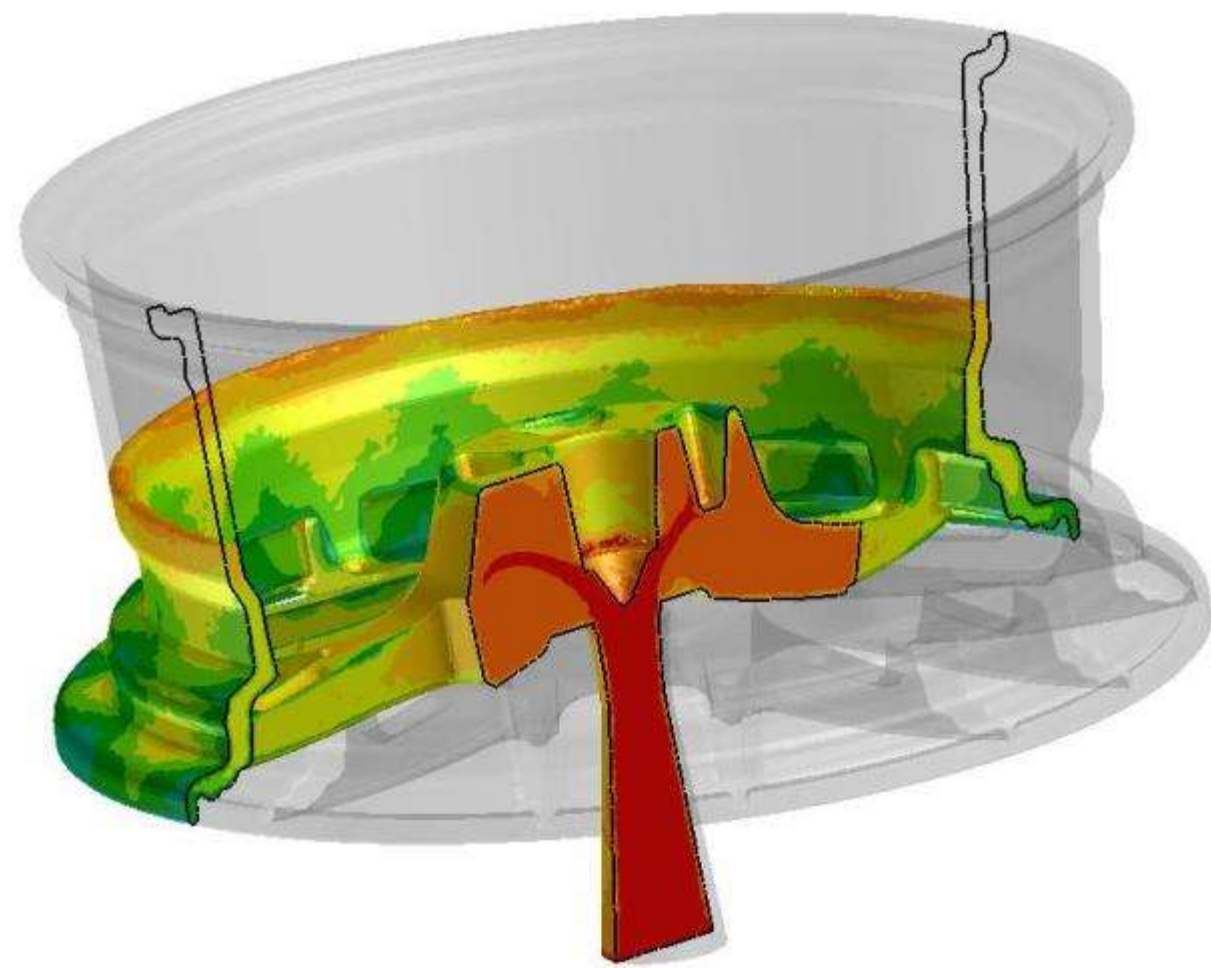


A photograph of blue water with ripples, partially obscured by a blue diagonal shape on the left side of the slide.

Использование компьютерного моделирования для повышения качества алюминиевого литья

Фокин Дмитрий – руководитель проекта департамента литейных сплавов

ООО «ИЛМиТ»



СОДЕРЖАНИЕ:

- Описание функционала и работы ПО для моделирования литейных процессов
- Применение ПО для оптимизации и разработки сплавов
- Примеры реализованных задач

Применение инструментов моделирования в ИЛМиТ

Производство

- Плоские, цилиндрические слитки



- Фасонное литье



Разработка новых материалов (ИЛМиТ)

- Отработка технологии литья новых типов сплавов



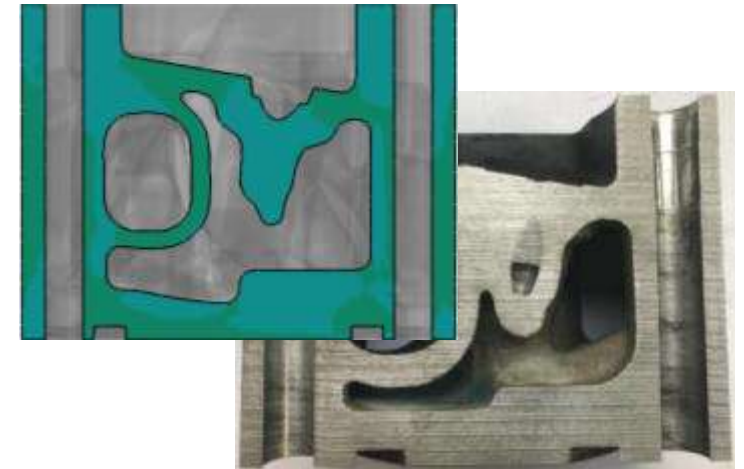
сплав AlZnMgCa



сплав AlCaMn

Технологическая поддержка потребителей алюминия

- Обоснование замены материала для достижения лучших эксплуатационных характеристик
- Снижение брака при изготовлении фасонных алюминиевых отливок
- Оптимизация состава сплава внутри марки



Возможности ProCAST в части моделирования процессов литья

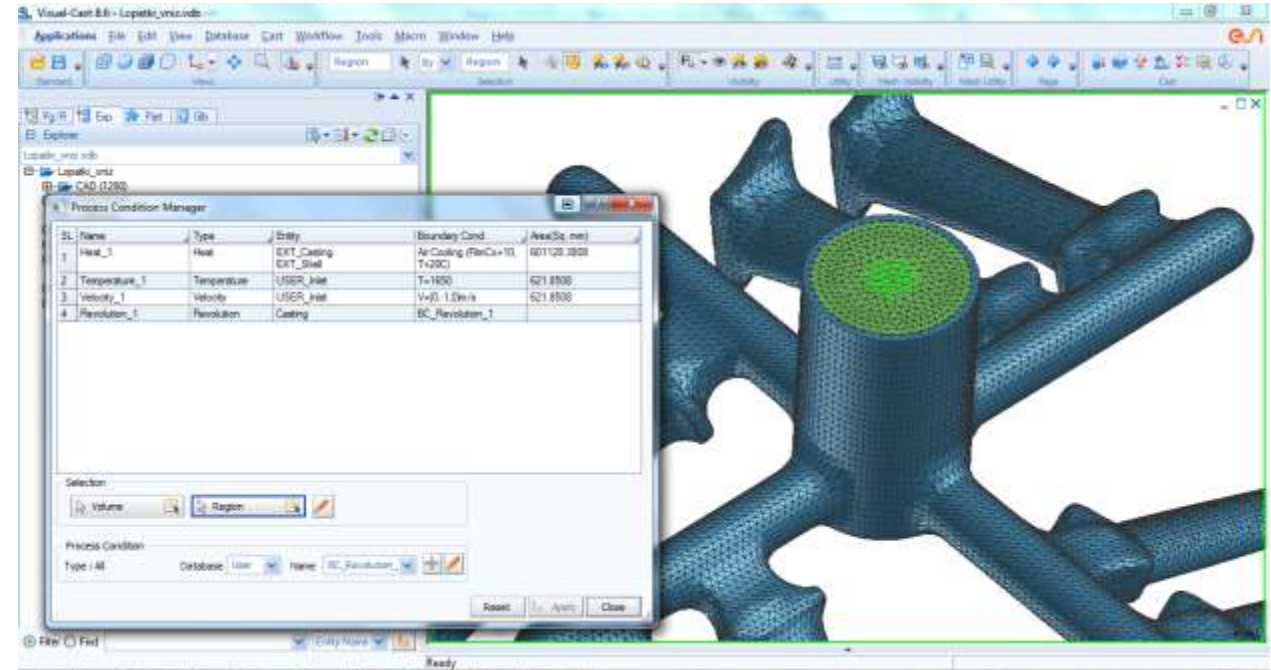
ProCAST – модульная система для моделирования процессов литья, использующая для расчета метод конечных элементов.

Возможности ProCAST

- Моделирование процесса заполнения формы расплавом.
- Моделирование условий кристаллизации отливок (прогнозирование литейных дефектов: недоливов, усадочных раковин, пористости, горячих и холодных трещин).
- Моделирование напряженно-деформированного состояния отливок и оснастки.

Виды литья:

- Литье в песчаные формы
- Литье в кокиль
- Литье под давлением
- ЛПНД
- Литье по выплавляемым/выжигаемым моделям
- Непрерывное литье
- Центробежное литье
- Литье по газифицируемым моделям

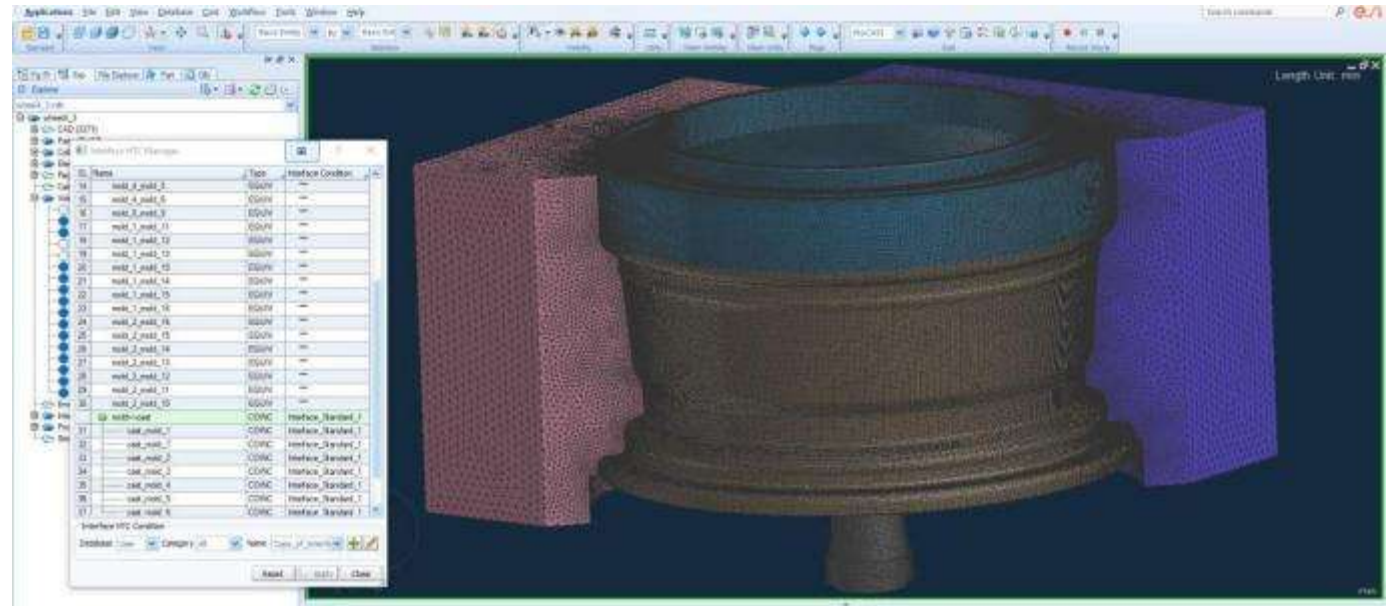


Преимущества: Возможность детальной настройки параметров процесса литья, свойств сплава и материалов формы.

Эффект: сведение к минимуму рисков, связанных с неопределенностью поведения сплава при затвердевании в конкретной форме. С учетом особенностей оборудования и оснастки заранее просчитываются варианты доработки технологии литья для конкретного сплава.

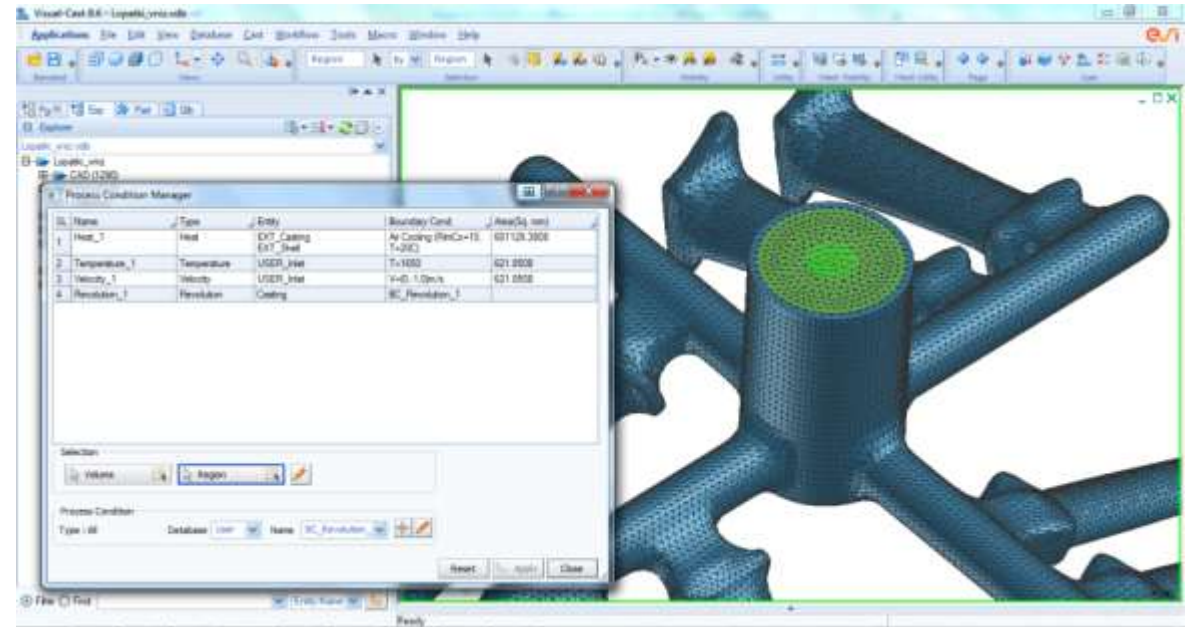
Преимущества ProCAST

- **Модульность** – позволяет приобретать только необходимые для решения задач модули;
- **Метод конечных элементов** – ускоряет расчет и повышает его точность;
- **Термодинамическая база** – позволяет рассчитывать свойства сплава в зависимости от их химического состава;
- **Научный базис** – постоянное совершенствование математической модели научными группами из ведущих университетов.



Основные модули ProCAST

- **Visual-Mesh** – подготовка расчетной сетки по CAD-модели;
- **Visual-CAST** – подготовка модели, задание параметров моделирования, расчет тепловых и механических свойств сплавов;
- **Visual-Viewer** – просмотр и анализ результатов моделирования;
- **Flow-Solver** – моделирование процесса заполнения расплавом, оценка захвата воздуха, окисления расплава, поведение неметаллических включений;
- **Thermal Solver** – моделирование процесса кристаллизации и формирования усадочных дефектов;
- **Stress-Solver** – моделирование напряжений и коробления отливки и оснастки.
- **User Function** – дополнительные функции настройки параметров моделирования.

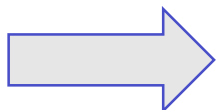


- **Advanced Porosity Module** – расчет междендритной и газовой пористости;
- **CAFÉ Module** – прогнозирование направления роста зерна отливки;
- **Microstructure Module** – моделирование фазовой структуры, ликвации, механических свойств;
- **Core Blowing Module** – моделирование процесса изготовления песчаных стержней пескодувным способом;

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ В PROCAST

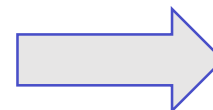
Построение расчетной сетки
из CAD-модели

(отливка, форма, стержни)

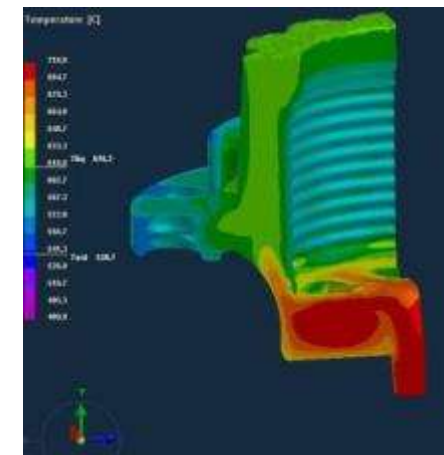
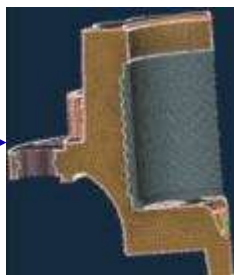
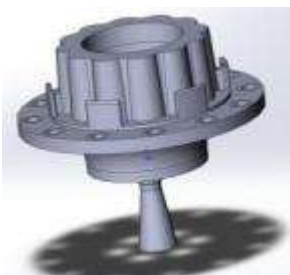


Задание материалов и параметров
литейного процесса

(условия заполнения, охлаждения
формы, параметры расчета)

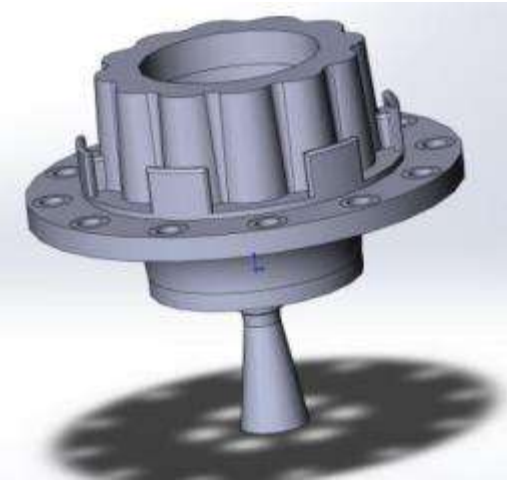


Расчет и анализ результатов
моделирования



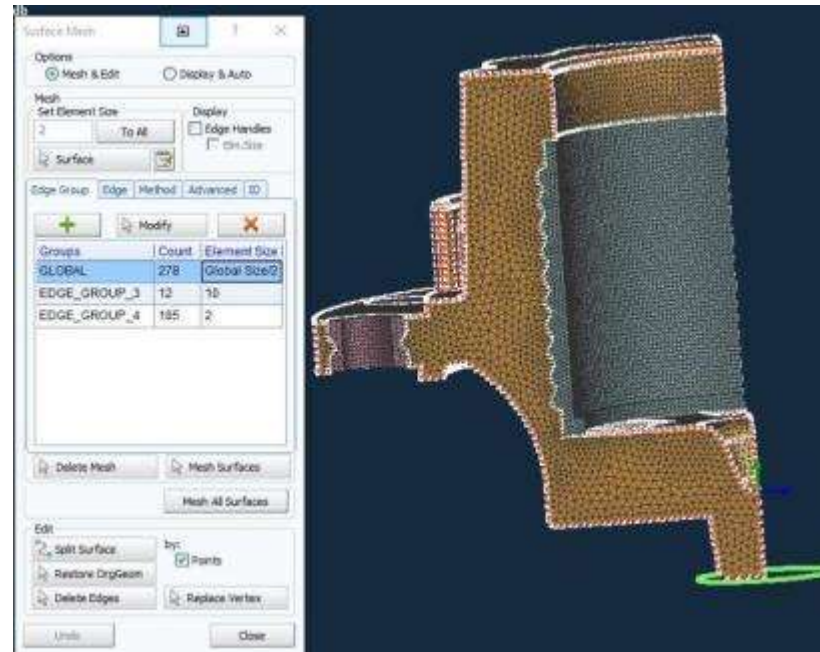
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ В PROCAST

Генерация тетраэдральной сетки в Visual-Mesh



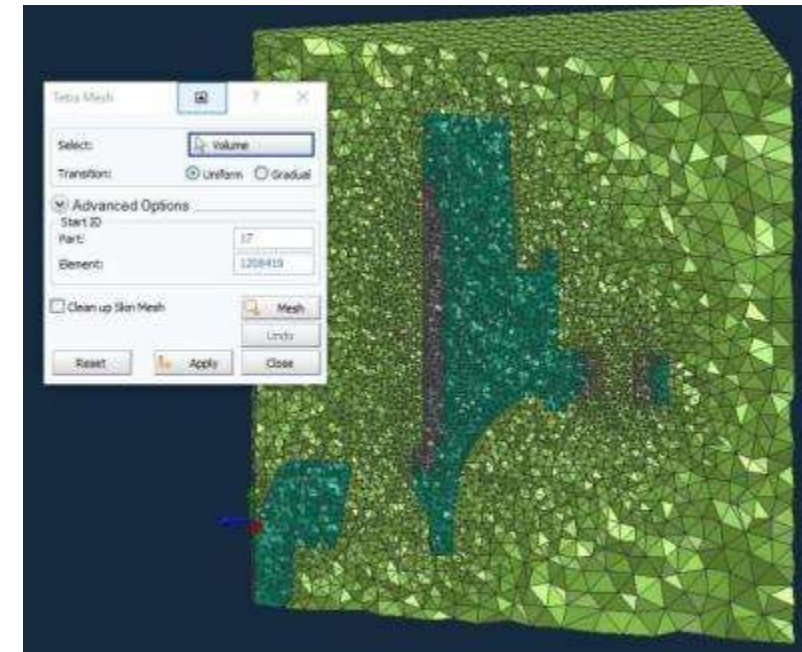
CAD-модель

Пример: Отливка типа «ступица»



Полигональная (2D) сетка

Возможность гибкого задания размера ячеек для различных областей отливки



Тетрагональная (3D) сетка

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ В PROCAST

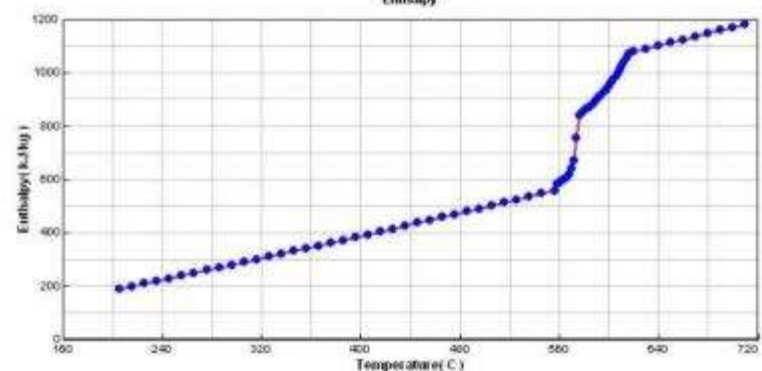
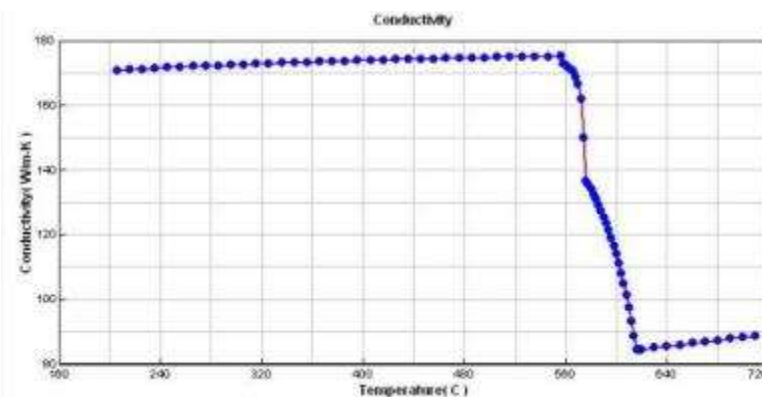
Расчет свойств сплава в Visual-CAST

Химический состав

Property	Value	Value Unit
Thermodynamic Computations		
Solid Diffusion Model	Scheil	
Compute Properties		
CAFE Computations		
Element	%Composition	Recommended Range(%)
Base		
Ag		0~1
B		0~1
C		0~1
Co		0~1
Cr		0~1
Cu		0~5.5
Fe		0~2
Gd		0~1
Ge		0~1
Hf		0~1
Li		0~1
Mg	0.3	0~7.6
Mn		0~1.2
N		0~1
Sb		0~1
Sc		0~1
Si	7	0~17.5
Sn		0~1
Sr		0~1
Ti		0~1
V		0~1
Y		0~1
Zn		0~8.1
Zr		0~1

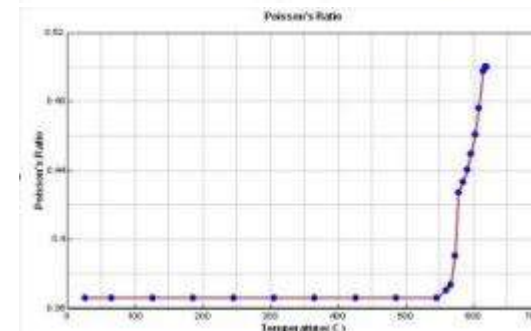
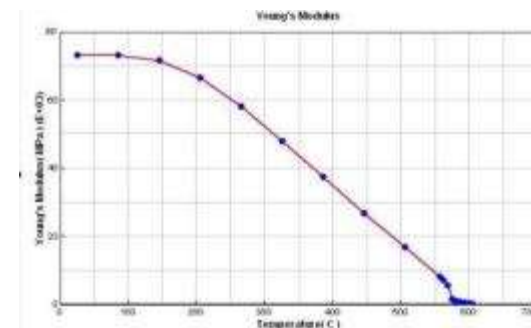
Теплофизические свойства

Property	Type	Value	Value Unit	F(T) Unit
Conductivity	F(T)		W/m-K	C
Density Models				
Density	F(T)		kg/m ³	C
Specific Heat	Const.		kJ/kg-K	
Enthalpy	F(T)		kJ/kg	C
Fraction Solid	F(T)			C
Latent Heat	Const.		kJ/kg	
Liquidus-Solidus				
Liquidus	Const.	816	C	
Solidus	Const.	856	C	



Свойства для расчета напряженно-деформированного состояния

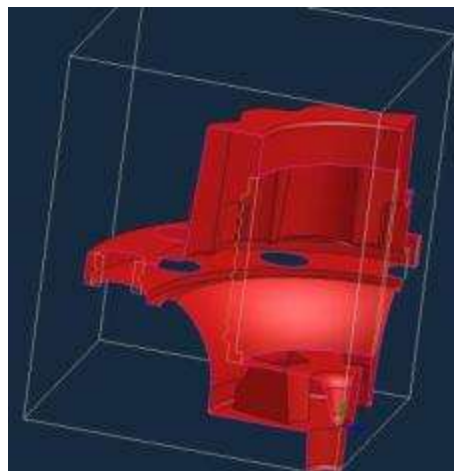
Property	Type	Value	Value Unit	F(T) Unit
Thermal Expansion				
Secant	Secant		1/K	C
Secant Ref. Temp.	Const.	25	C	
Type				
Young's Modulus	Elasto-Plastic		MPa	C
Poisson's Ratio	F(T)			C
Yield Stress	F(T)		MPa	C
Isotropic Hardening				
Hardening Type				
Plastic Modulus	F(T)		MPa	C
Kinematic Hardening				
Parameter1	Const.		MPa	
Parameter2	Const.			
Annealing Temperature				
Annealing Temperature	Const.		C	



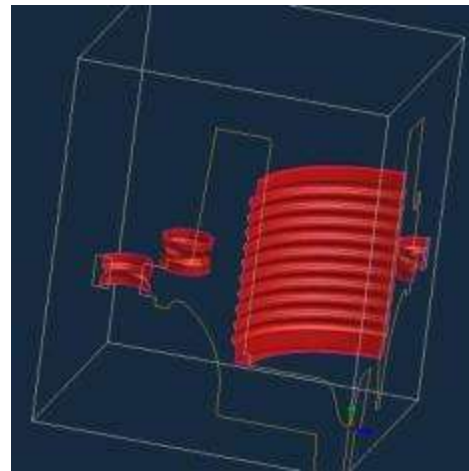
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ В PROCAST

Определение типа контакта и коэффициентов теплопередачи

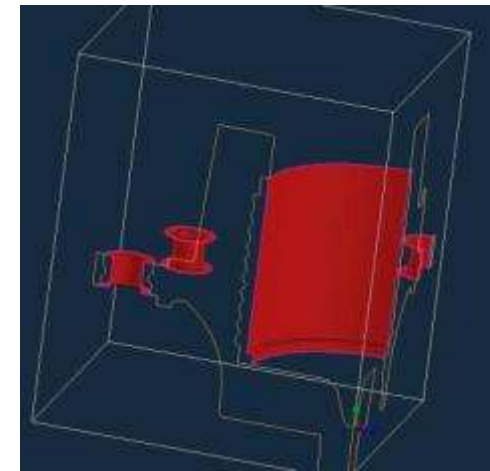
Контактные поверхности



Контакт:
«отливка-форма»



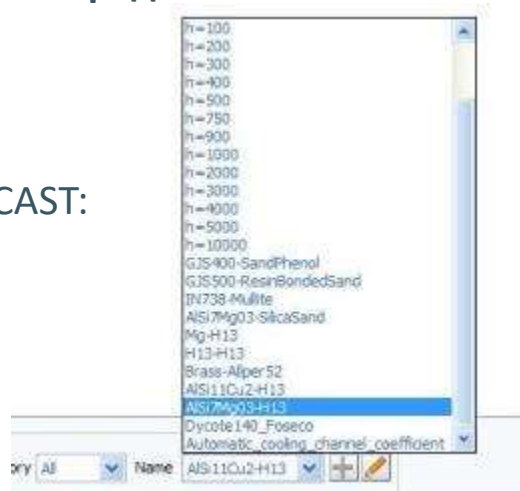
Контакт:
«отливка-стержень»



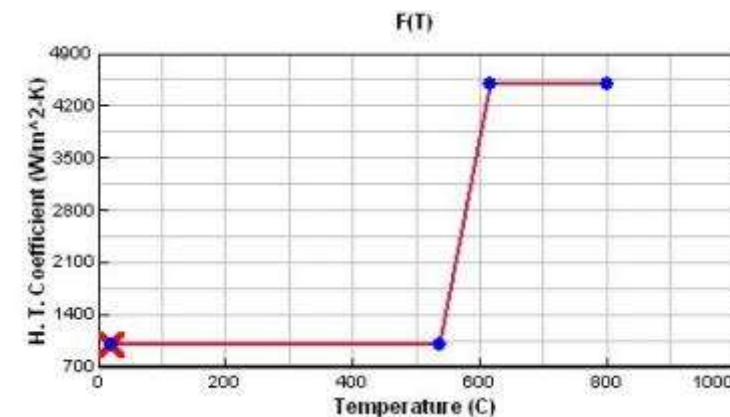
Контакт:
«форма-стержень»

Задание коэффициентов теплопередачи:

- Выбор из справочника ProCAST:



- Задание значения (функции) пользователем:



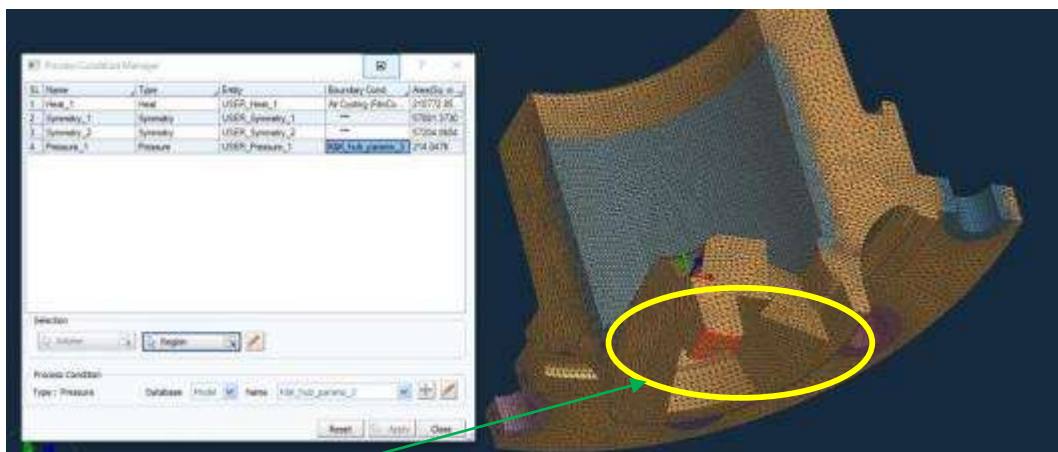
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ В PROCAST

Граничные условия

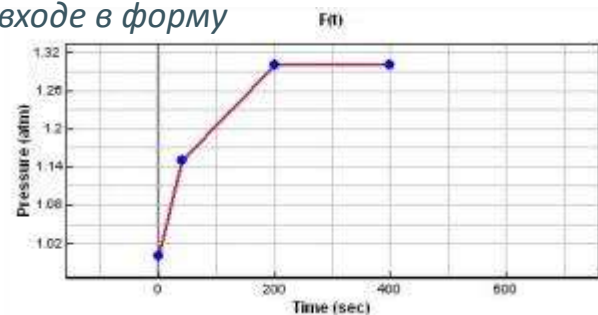
Условия подачи металла в форму

Например:

- Скорость расплава
- Расход металла
- Давление



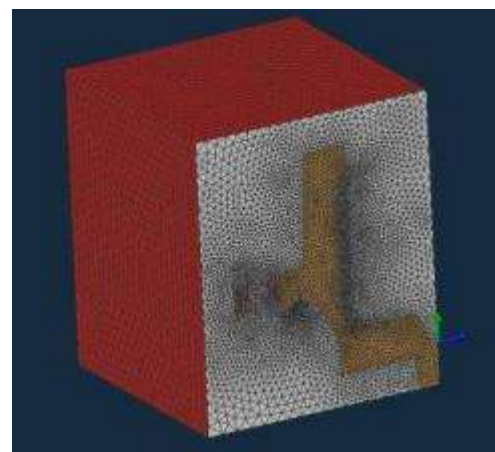
Пример:
Задается давление на входе в форму
(для процесса ЛПНД)



Условия охлаждения формы

Например:

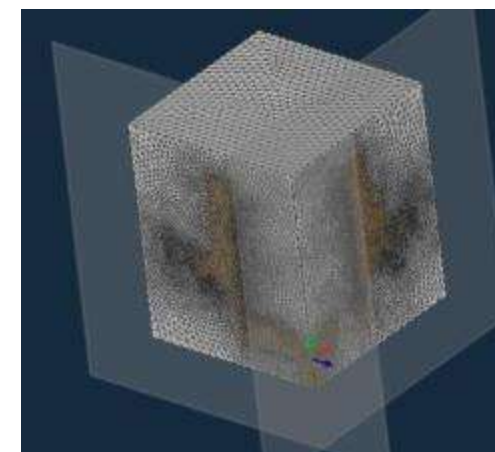
- Охлаждение на воздухе
- Водяное охлаждение



Прочие ГУ:

Например:

- Нанесение разделительного агента, краски
- Вакуумирование формы
- Плоскости симметрии и т.д.



- Выбор из справочника ProCAST
- Задание значения (функции) пользователем

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ В PROCAST

Задание параметров расчета

Выбор способа литья

Simulation Parameters

File Category Unit

Pre-defined Parameters: Select Pre-Defined Set

Show String Selection

Parameter	Value	Value Unit	F(t) Unit
NSTEP	50000		
TFINAL	0.0000e+00	sec	
TENDFILL	0.0000e+00	sec	
TSTOP	5.2867e+02	C	
TSTOP_PART			
INILEV	0		
DT	1.0000e-03	sec	
DTMAXFILL	1.0000e-02	sec	sec
DTMAX	5.0000e-01	sec	sec
TUNITS	C		
QUNITS	W/m ²		
VUNITS	m/sec		
PUNITS	bar		

Advanced

Настройка общих параметров расчета:

- Критерии остановки расчета (например, температура расплава, время ...)
- Временной шаг

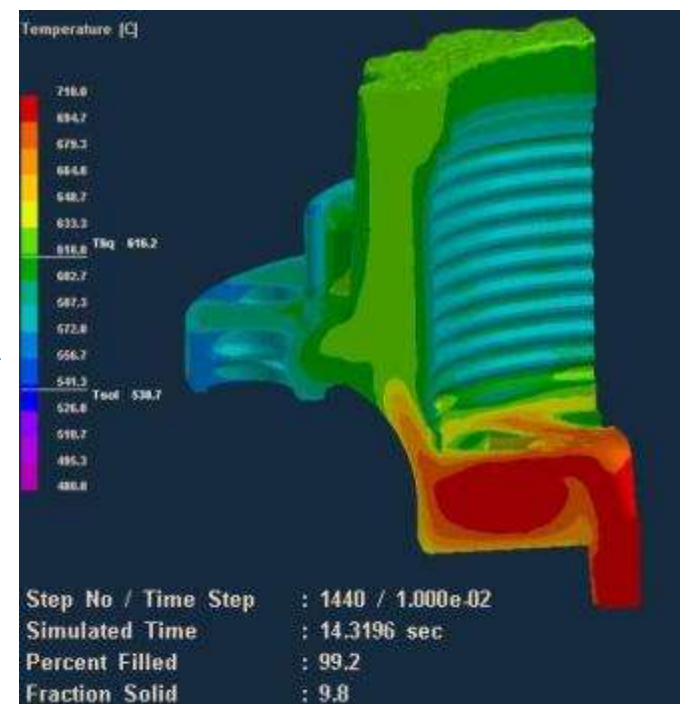
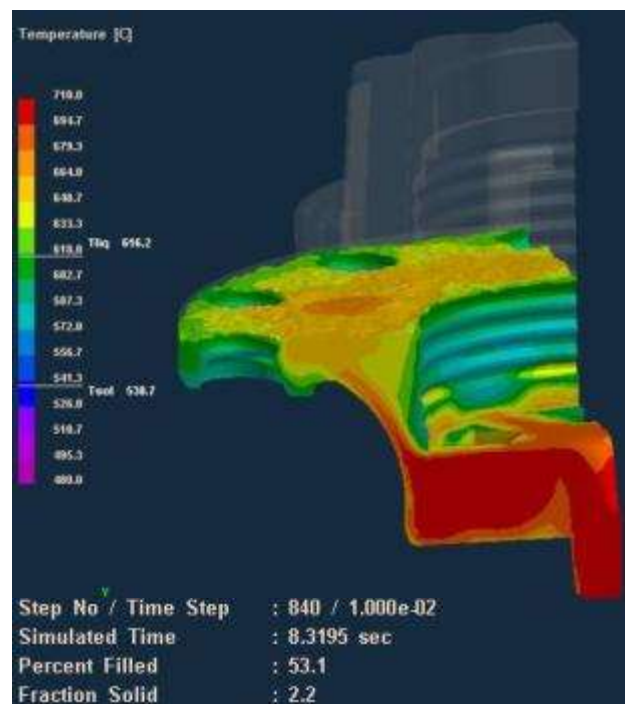
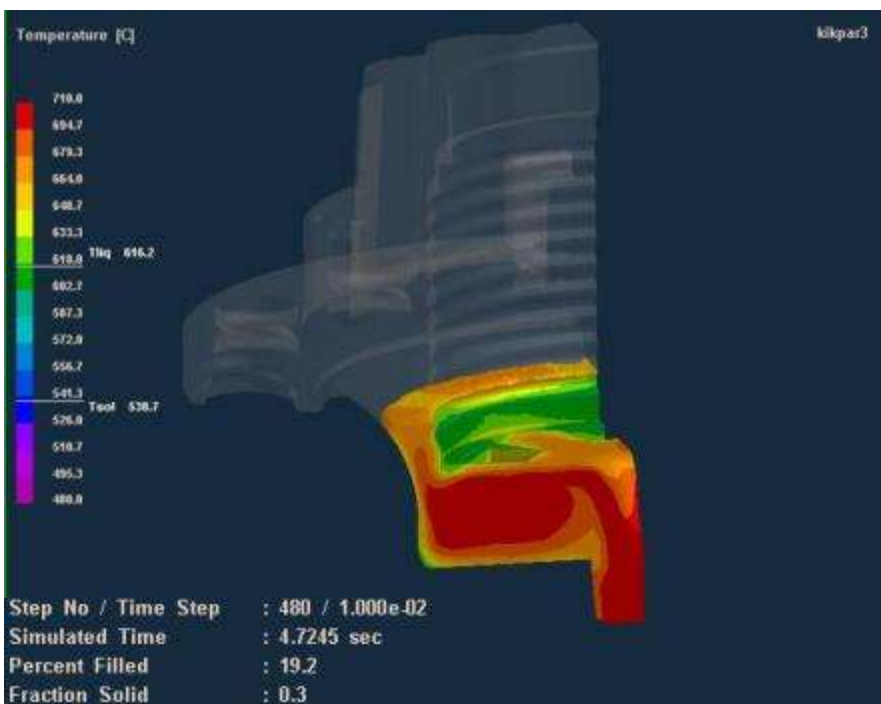
Отдельная настройка параметров для задач:

- Заполнения формы
- Теплового расчета
- Расчета напряженно-деформированного состояния отливки/формы

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Представление результатов расчета заполнения формы в Visual-Viewer

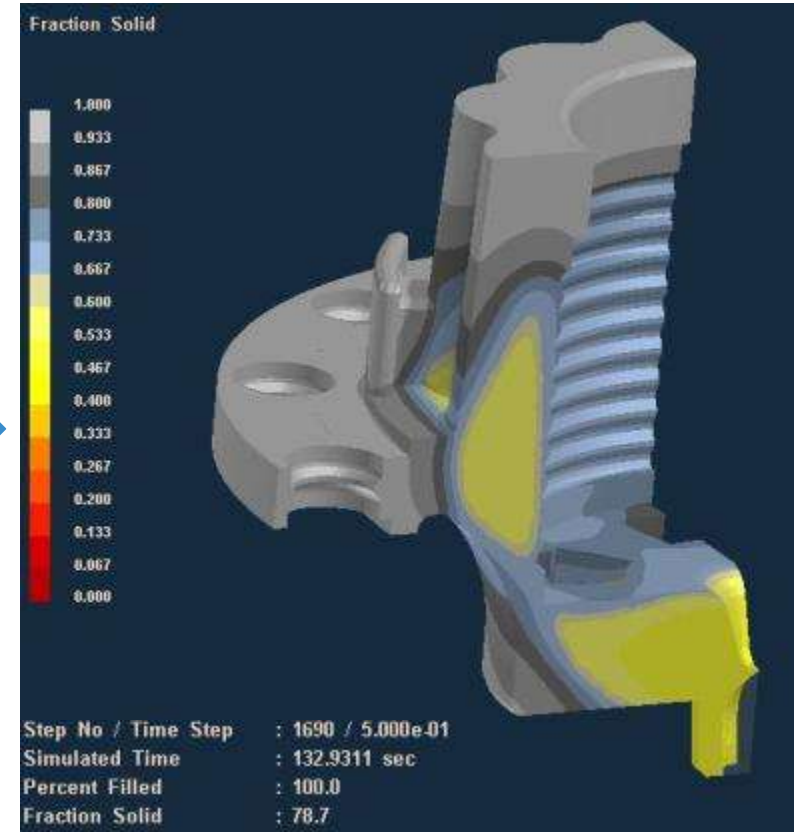
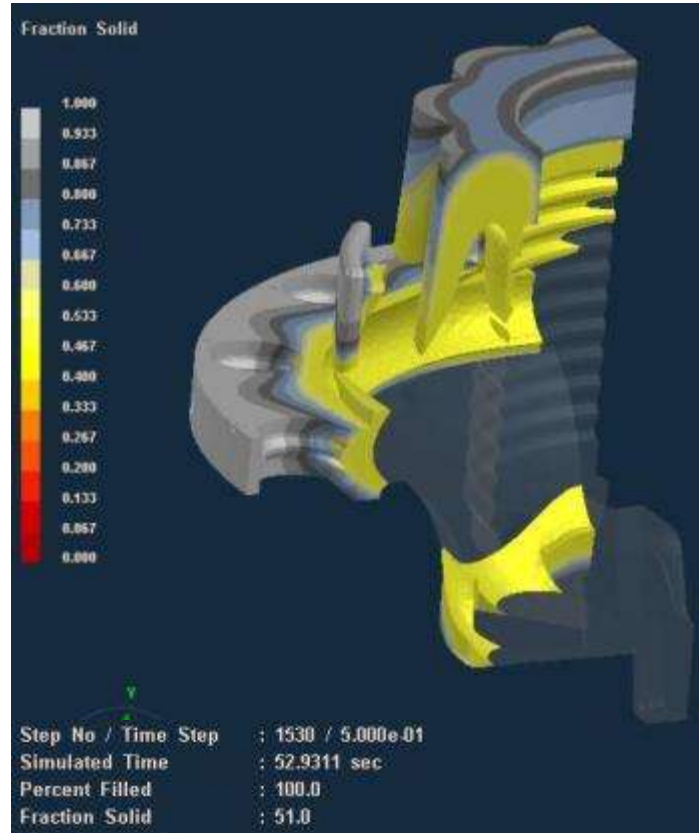
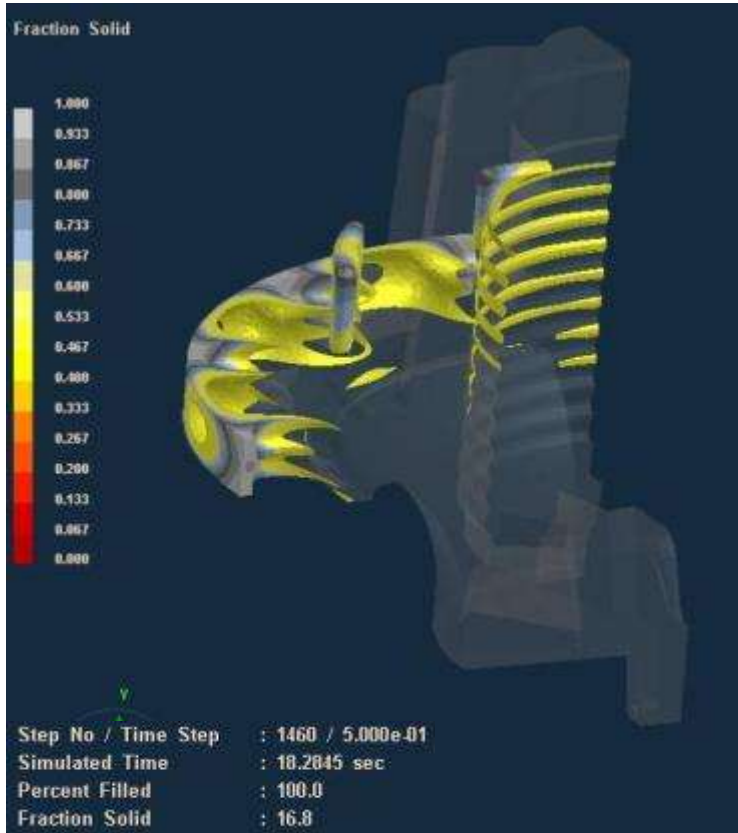
Температурные поля при заполнении формы расплавом



АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

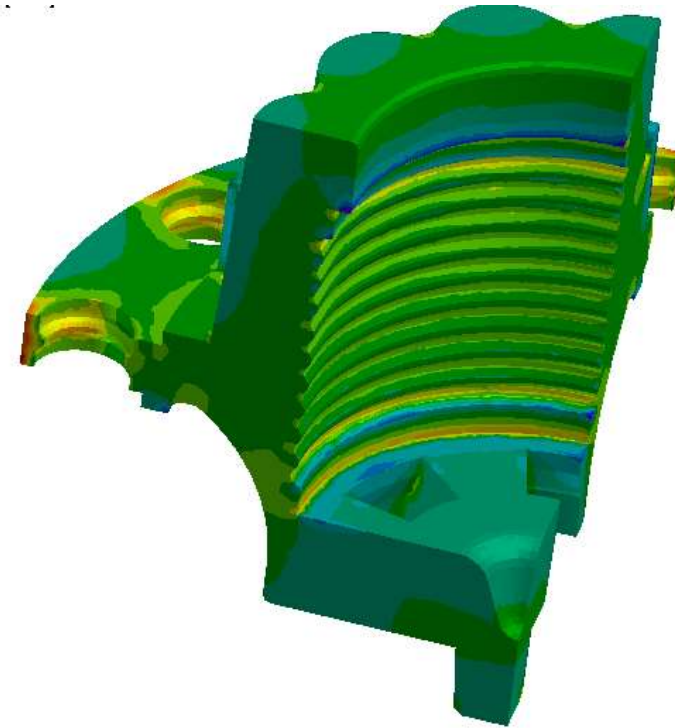
Представление результатов расчета кристаллизации в Visual-Viewer

Изменение количества твердой фазы по объему отливки в процессе кристаллизации



АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Представление результатов расчета пористости и напряжений



Применение ProCAST для оптимизации состава сплава

РЕШЕНИЯ по:

- Повышению уровня мех. свойств сплава в отливке
- Повышению выхода годного при литье

Анализ условий кристаллизации отливки

Анализ фазового состава для данного сплава (Thermocalc)

Оптимизация баланса легирующих применительно к условиям кристаллизации

Подтверждение технологичности оптимизированной композиции путем моделирования в ProCAST

Сбор данных о технологическом процессе,

Анализ отливок в лаборатории ИЛМиТ

Построение диаграмм состояния сплавов

Разработка предложений по изменению концентраций легирующих (в т.ч. внутри марок)

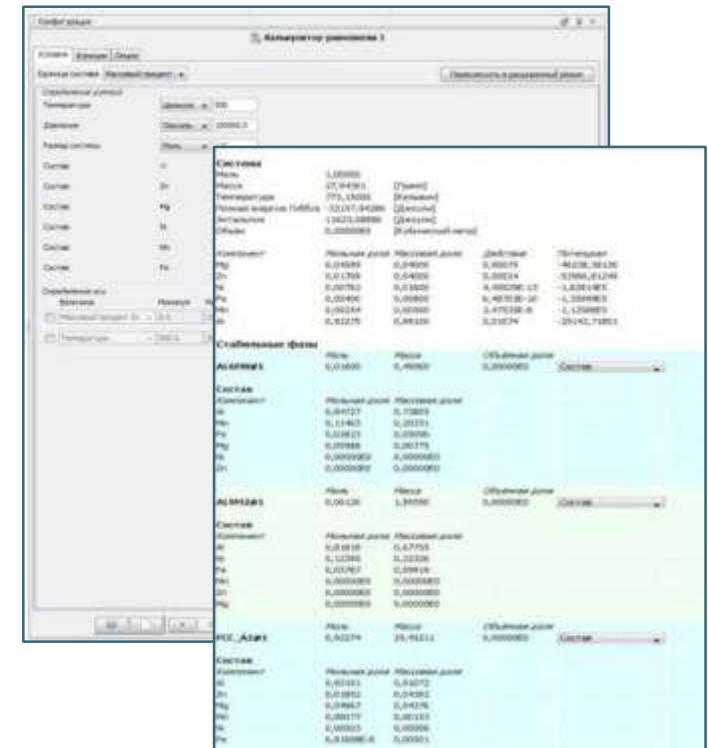
Представление рекомендаций с учетом анализа возможных дефектов по результатам моделирования

Обоснование выбора композиции сплава в ПО ThermoCalc



Применение ThermoCalc для:

- Анализ фазового состава сплава
- Расчет интервала кристаллизации
- Построение политермических и изотермических сечений
- Определение температур фазовых превращений
- Анализ условий образования неблагоприятных фаз
- Выбор режимов термической обработки



Обоснование выбора композиции сплава в ПО ThermoCalc



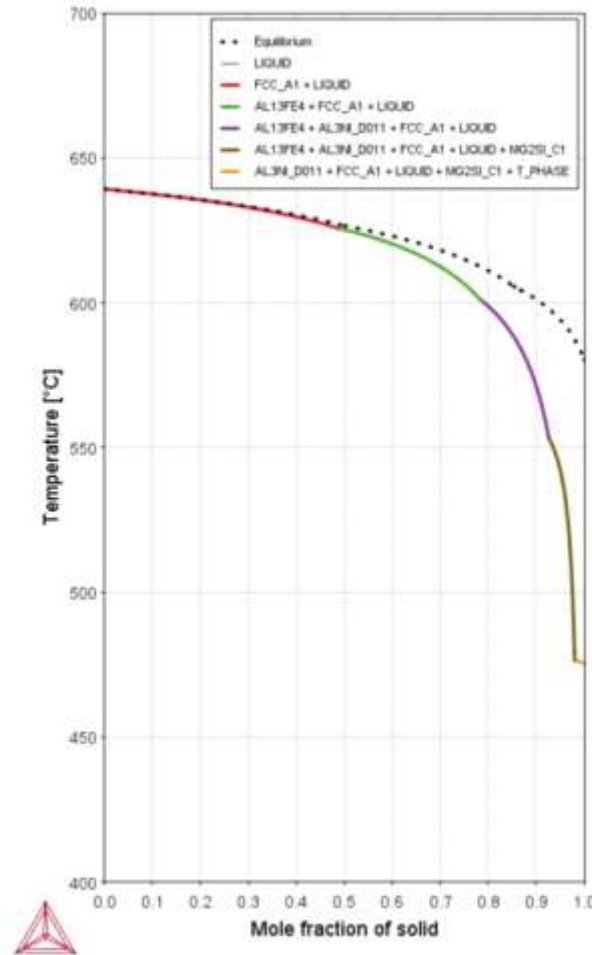
Пример анализа фазового состава для сплава системы AlZnMgFeNi

Сплав AlZnMgFeNi разработан для применения в высоконагруженных автокомпонентах.

Задача:

Определение предельной концентрации Si, обеспечивающей отсутствие в структуре нерастворенной фазы Mg₂Si

- Проведен анализ фазового состава сплава в условиях равновесной кристаллизации
- Построена диаграмма состояния в зависимости от содержания Si
- Определена допустимая концентрация Si



Кривая охлаждения сплава системы AlZnMgFeNi для 0,2%Si

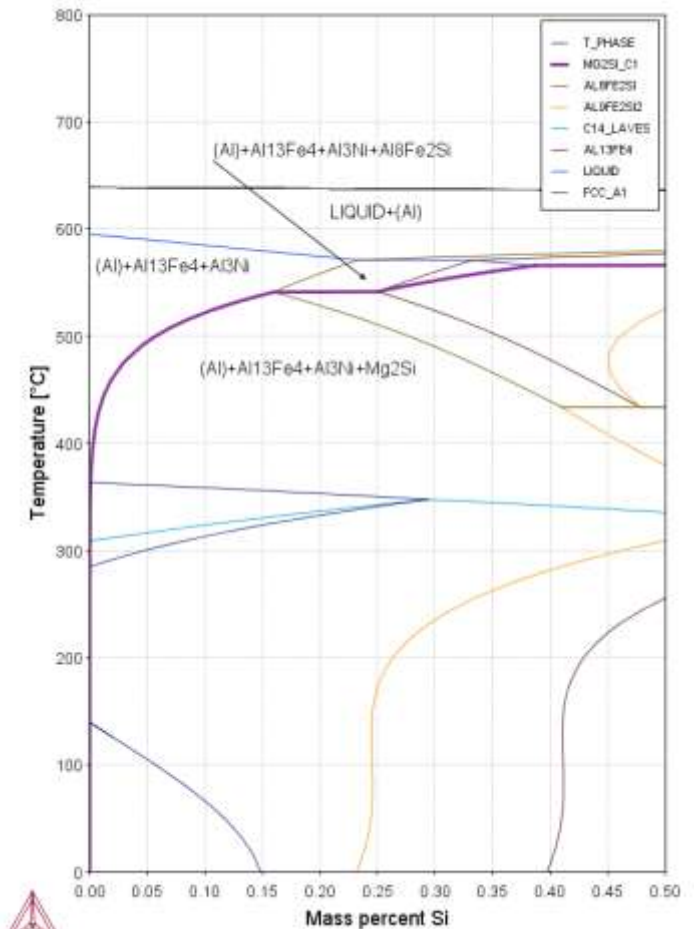


Диаграмма состояния сплава системы AlZnMgFeNi для 0 - 0,5%Si

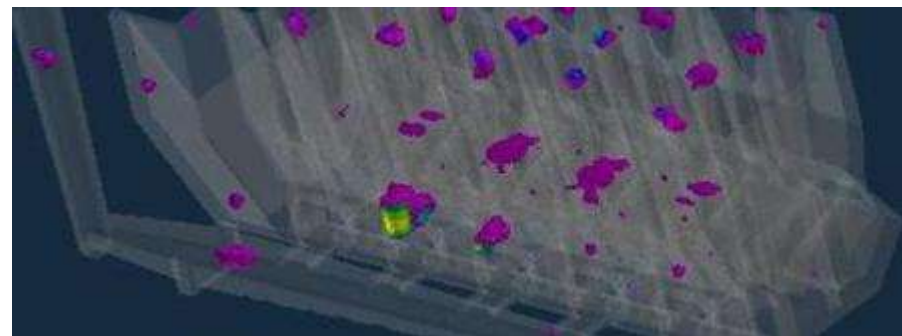
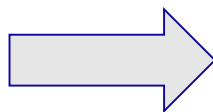
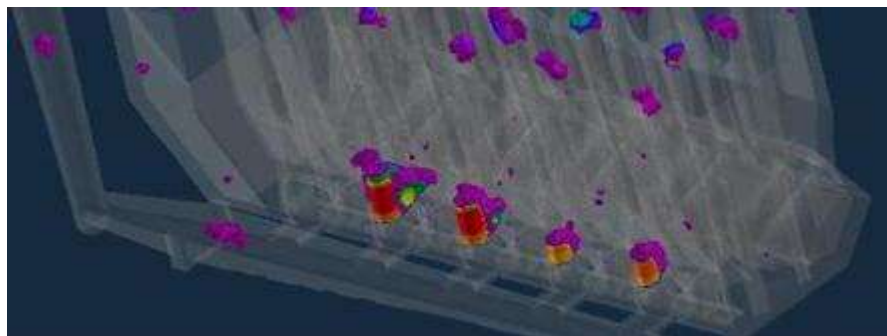
Оптимизация сплава АК6М2 применительно к литью ГБЦ

Задача – повышение выхода годного при изготовлении отливки «Головка блока цилиндров»

- Выполнено моделирование литья типовой детали ГБЦ
- Проведено исследование влияния химического состава сплава на механические и литейные свойства
- Проведена оптимизация химического состава в пределах марки АК6М2.
- Предложен состав в рамках ГОСТ, обеспечивающий снижение пористости в отливках



Снижение пористости в 2,5 раза (по объему) за счет оптимизации баланса легирующих



Результат: повышен выход годного на 1,5% при улучшении механических характеристик.

Оптимизация технологии литья радиатора из сплава АК12М2

Проект по повышению выхода годного отливки «Секция радиатора»

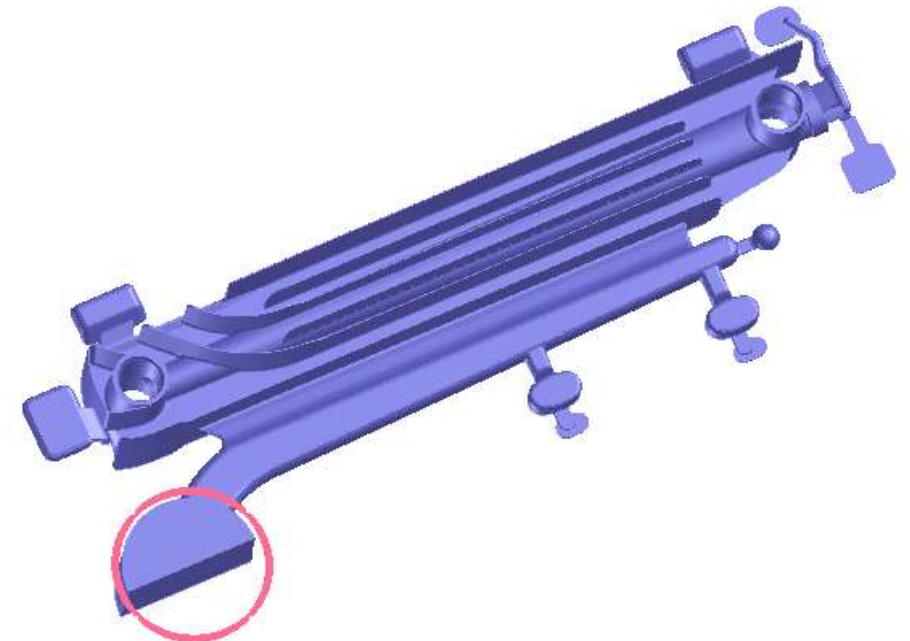
Результаты комплексной работы, проведенной ИЛМиТ:

- Скорректированы режимы литья, представлены рекомендации по выбору смазки пресс-формы
- Разработаны рекомендации по доработке пресс-формы на основании результатов моделирования

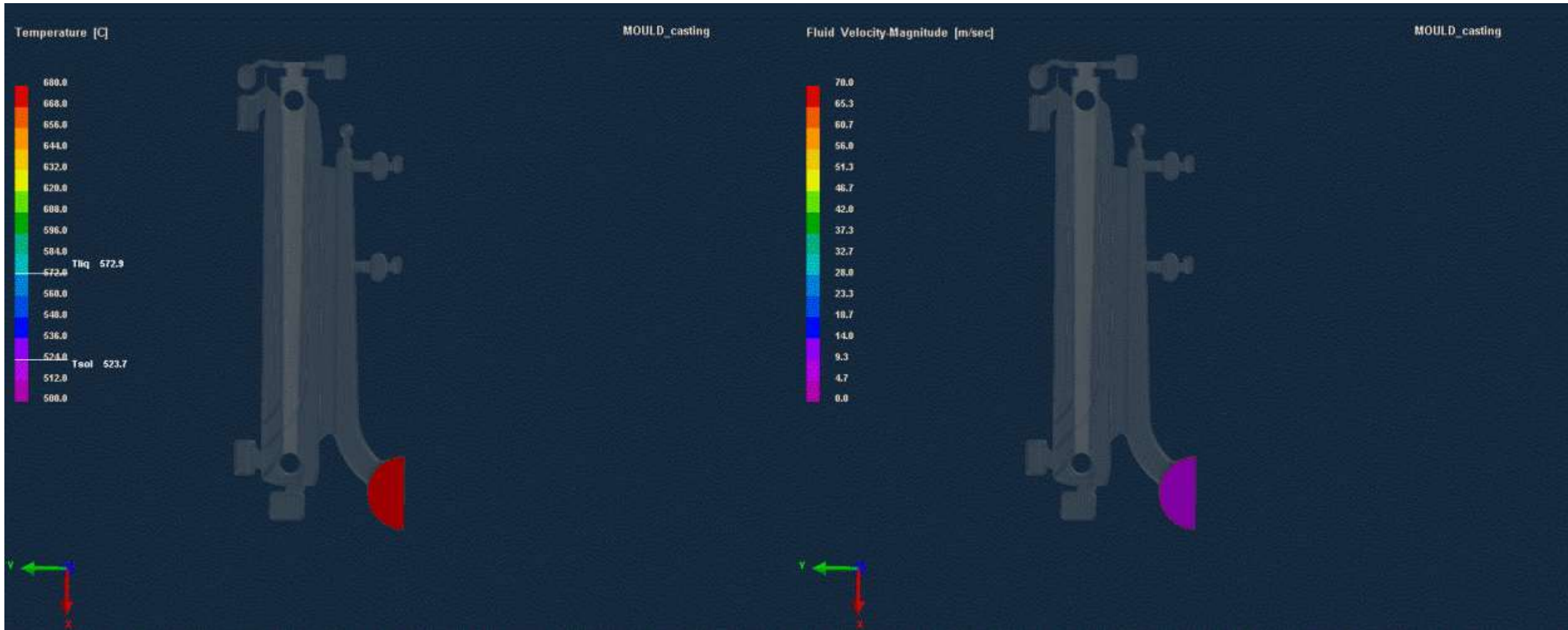
Предложены решения по :

- Изменению соединения коллектора с пресс-остатком
- Изменению толщины питателей
- Оптимизации расположению и количеству промывников

Результат: увеличен выход годного на >10%



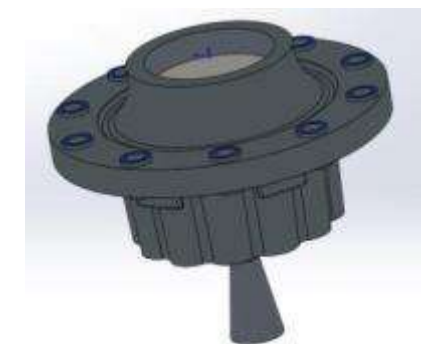
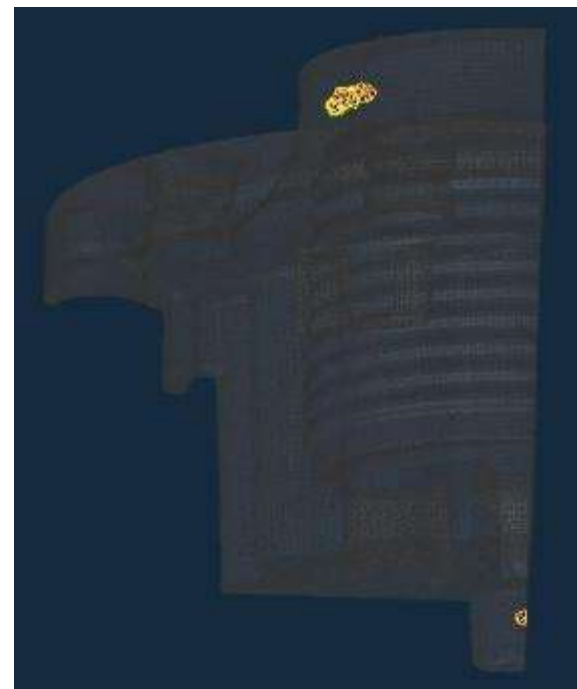
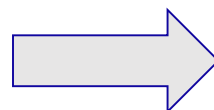
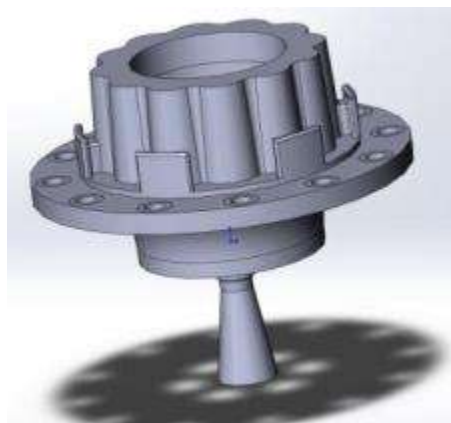
Оптимизация технологии литья радиатора из сплава АК12М2



Выбор оптимального положения в форме алюминиевой ступицы из сплава АК9

Освоение технологии литья отливки типа «Ступица» методом ЛПНД

Цель: снижение массы детали за счет замены чугуновой отливки на алюминиевую



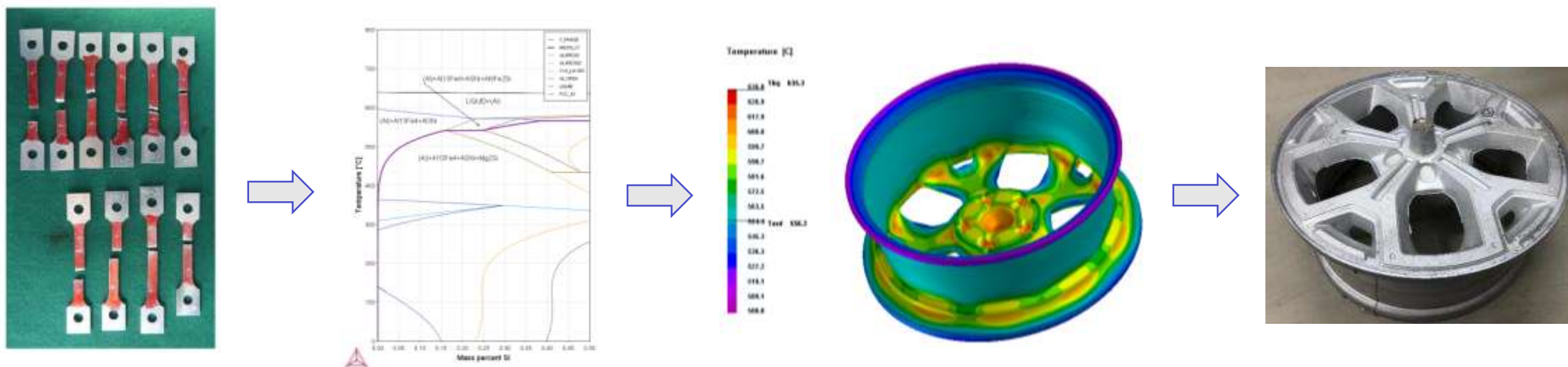
Разработан технологический режим изготовления отливки, в т.ч.:

- Определены условия подвода металла
- Устранена пористость в области фланца
- Снижен общий объем пор >10 раз

Оптимизация технологии литья колесных дисков из нового сплава системы AlZnMgFeNi

Цель – замена сплава 356.2 для литья колесных дисков

- Проведена оптимизация параметров литья под низким давлением применительно к сплаву AlZnMgFeNi применительно к существующей пресс-форме с применением моделирования в ProCAST
- Разработаны рекомендации по доработке пресс-формы с учетом свойств сплава AlZnMgFeNi
- Обоснованы предельных концентраций примесей в сплаве для достижения требуемой прочности



Эффект: снижение массы колеса на 10% за счет повышения прочности сплава

Приглашаем к сотрудничеству!

ООО «ИЛМиТ» выполняет работы в области:

- Оптимизации составов алюминиевых сплавов с учетом требований к отливке;
- Разработки новых сплавов с повышенными эксплуатационными характеристиками на замену существующих материалов;
- Разработки режимов термической обработки;
- Оптимизации технологии литья для повышения выхода годного.

ALLOW

aluminium crafted by hydro power



For more information please contact:

Dmitry.Fokin@rusal.com