

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ
Кафедра « Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

15.04.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Системы автоматизированного проектирования в машиностроении

(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему Совершенствование технологии литья диска колеса легкового автомобиля путем моделирования процесса в САЕ системе

Студент	<u>Р.И. Сидоров</u>	_____
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Научный руководитель	<u>А.В Скрипачев</u>	_____
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)

Руководитель программы
канд. техн. наук., доцент Е.Н. Почекуев _____
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой
д-р. техн. наук., профессор В.В. Ельцов _____
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Анализ исходных данных и технических решений.....	5
1.1 Описание изделия.....	5
1.2 Характеристика материалов изделия	10
1.3 Основные виды штамповки металлов.....	13
1.4 Обзор программ используемых в машиностроении для литья	20
1.5 Задачи работы.....	33
2 Выбор способа литья	34
2.1 Литье в песчано-глинистые формы.....	35
2.2 Литье по выплавляемым моделям.....	35
2.3 Литье в оболочковые формы.....	37
2.4 Литье под низким давлением.....	38
3 Подготовка процесса литья	44
3.1 Выбор программы для литья.....	44
3.2 Разработка 3Д модели изделия	46
3.3 Моделирование 2Д сетки	53
3.4 Создание 3Д сетки.....	59
3.5 Назначение граничных условий процесса.....	61
3.6 Назначение коэффициента теплопередачи.....	63
3.7 Диспетчер условий процесса	65
3.8 Рекомендация по моделированию.....	67
4 Моделирование процесса литья.....	70
4.1 Анализ результатов	70
4.2 Распределение температуры в отливке.....	70
4.3 Распространение температуры в форме	74
4.4 Процесс затвердевания металла	80
Заключение	90
Список использованных источников.....	91

ВВЕДЕНИЕ

Число автомобилей неуклонно растёт, а поэтому производство комплектующих, запчастей и деталей для автомашин является весьма перспективным начинанием, которое предполагает изготовление постоянно востребованной продукции. К таким изделиям относятся колёсные диски, которые сегодня часто представлены на рынке стальными заготовками. Данный тип изготовления колеса считается традиционным, но он имеет множество недостатков, поэтому на смену ему уже давно пришли типы колес, изготавливаемые по более совершенным технологиям и с использованием более лёгких металлов и их сплавов. По этой причине они получили название легкосплавные. Диски делятся на 2 категории: литые и кованые.

Легкосплавные диски выгодно отличаются от стандартных стальных и на рынок всё больше клиентов приходят именно за дисками из лёгких металлов. И если литые диски имеют некоторые недостатки по сравнению со стальными, то кованые – лучшие изделия из всех. При нормально налаженном производстве их цена будет несильно отличаться от остальных типов дисков, причём будет почти наверняка ниже импортных литых и стальных образцов. При этом легкосплавные диски имеют хорошую геометрическую точность, что улучшает эксплуатацию автомобиля; меньший вес уже неоднократно был упомянут.

Легкосплавные диски отличает ещё и то, что им можно задать практически любой дизайн, который не противоречит конструктивным особенностям колеса, почему они и стали так популярны у водителей, которые не хотят наблюдать на своей автомашине стандартные (и, откровенно говоря, невзрачные и даже убогие) диски. При желании можно организовать производство дисков на заказ (что можно сделать при производстве кованых дисков) и производить уникальную продукцию по индивидуальным заказам. Наконец, легкосплавные диски благодаря своему

составу меньше подвержены внешним условиям, воздействию работы машины, кованные упруги и более крепкие, а легкосплавная основа позволяет более эффективно отводить тепло от тормозной системы – и на выходе меньший износ и экономия горючего.

Цель настоящей работы: повышение качества изделия путем моделирования процесса литья под давлением литого диска колеса автомобиля в CAE системе.

1 АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

1.1 Описание изделия

Литые диски. Наиболее распространённый вид легкосплавных дисков, более дешёвый в производстве, а значит, и стоимость такого товара несколько ниже, чем кованных. Наиболее часто основой служит алюминий со специальными примесями, сегодня распространение получил сплав, в который также входят кремний (до 7%), марганец (0,1%), магний (0,4%), титан (0,2%), железо (0,12%), медь и цинк (по 0,05%). На выходе получается изделие, которое устойчиво к коррозии, что избавляет от необходимости диск красить и подвергать дополнительной защите – все элементы состава обеспечивают её изначально. Часто применяются и другие сплавы, но нужно учитывать тот факт, что все металлы имеют разную температуру плавления, а довести металл до жидкого состояния – неотъемлемая часть процесса. Собственно поэтому такая технология и получила название литья. Поэтому наиболее целесообразно применять металлы с низкой температурой плавления (имеются в виду металлы-основы, а не дополнительные компоненты). Причём использование двух из наиболее распространённых металлов позволяет пользоваться стандартным оборудованием для работы с легкоплавкими металлами; это алюминий с температурой плавления в 933 °К (или 660 °С) и магний с температурой в 923 °К (или 650 °С). Но вот работа с титаном потребует закупку дорогостоящих печей и литевых машин, потому что температура плавления этого элемента составляет 1993 °К (или 1720 °С). Поэтому не только более высокая цена самого металла, но и более дорогой способ его обработки ограничивают его использование, хотя, безусловно, титан является очень хорошей основой для дисков.

Для производства закупаются металла или сплавы в слитках, в настоящее время обычно закупается уже готовый сплав, на производстве их редко кто изготавливает (хотя, если проводятся работы по нахождению новых сплавов, то оборудование для сплавления наверняка имеется). Купленные слитки поступают в литейную машину, где проходят первоначальную обработку, после чего полученная заготовка быстро охлаждается в специальном растворе (но это может быть и обычная вода, и техническое масло). Эта процедура называется закалкой без полиморфного превращения, и после неё металл приобретает некоторые нужные свойства (в первую очередь – твёрдость), но бывает достаточно хрупок, слабо пластичным и вязким, чтобы использовать его в дальнейшем. Поэтому заготовку подвергают нагреву ниже критической температуры (процесс старения), а затем отправляют остывать на свежий воздух или в специально оборудованное помещение. Изделие фактически готово, и для завершения его отправляют на механическую обработку, где ему придают нужную форму и геометрические параметры. В данном виде производства не приходится отдельно заниматься дизайнерской доработкой внешнего вида диска, так как её он приобретает ещё в процессе литья.

В некоторых случаях, при использовании соответствующего сплава, заготовки не подвергают дополнительной термообработке, и изделия сразу поступают на токарный станок. Если сплав был разработан не на собственном предприятии, то специалистам-технологам следует получить всю информацию о материале от поставщика, чтобы знать какие параметры материал получает в процессе того или иного вида работ. Да и сами основы могут иметь разные характеристики в конечном счёте, и поэтому не только основной производственный процесс, но и последующая доработка могут отличаться.

Например, магниевые диски легче всех остальных, но при этом они порою подвергаются коррозии, и чтобы не допустить этого, приходится проводить оцинкование, хромирование или алитирование. Часто их

окрашивают; впрочем, покраска производится и для других видов дисков, в том числе и ради нужного внешнего вида. В связи со всем вышесказанным могут применяться различные машины для производства. В целом список выглядит так:

Литьевая машина. Для неё также придётся заказать дополнительно формы, которые почти наверняка будут изготавливаться на заказ. Может быть универсальной (работающей со всеми легкоплавкими сплавами) и специализированной (например, только для алюминия). Стоимость – от 700 тысяч рублей.

Печь. Применяется для первоначальной расплавки металла. Стоимость – от 400 тысяч рублей.

Токарный станок. Полнофункциональная машина с программируемыми задачами, способная быстро обрабатывать изделие и гарантировать ювелирную точность исполнения стоит 4 миллиона рублей. Самый простой ручной станок имеет стоимость от 50 тысяч рублей.

Оборудование для покраски изделий. Может быть и простой ручной установкой и полноценной окрасочной камерой. Стоимость – от 100 тысяч рублей.

Но готовое изделие не сразу отправляется на прилавок или к перекупщику, предварительно его нужно проверить на герметичность и контроль исполнения. Для этого существуют специальные аппараты, которые занимаются рентгеновским исследованием и техническим контролем. Нельзя забывать и про вспомогательное оборудование для транспортировки расплавленного металла из печи в литьевую машину, а впоследствии и для выноса заготовок из печи на воздух или в охлаждающую камеру. Сама камера также специально оборудуется. Точную схему работы в каждом конкретном случае планируют инженеры. Теперь же более подробно следует остановиться на производстве другого типа дисков.

Кованые диски

Если литые отличаются от классических стальных не в лучшую сторону по своим показателям прочности, то кованые лишены этого главного недостатка, и примерно равны по этому показателю стальному, при этом они легче и стальных, и даже литых. Что интересно, постоянное использование кованых дисков в долгосрочной перспективе даже выгодней, чем стальных и литых, потому что чем легче колесо, тем меньше инерция, выше сцепление с трассой и, как следствие, меньший расход топлива. Однако покупатель ориентируется на затраты здесь и сейчас, поэтому цена кованых дисков в продаже должна быть конкурентоспособной по отношению к стальным и литым. Сделать это можно, снизив себестоимость в производстве.

Высокая себестоимость кованого диска обусловлена даже не столько применением более дорогостоящего оборудования, а низким коэффициентом использованного материала, который не достигает и 50%, а в лучших производствах составляет 30-40%. Учитывая, что излишки (так называемый облой) не переплавляются, а в лучшем случае продаются, то приходится закупать большое количество материала. Для изготовления также применяют в большинстве своём легированный алюминий, в который добавляются различные компоненты: медь, марганец, кремний и магний, а также иногда и некоторые другие. Причём здесь требования к материалу несколько выше, чем при литье, потому что основа изначально должна быть не только очень прочной, но и достаточно пластичной. Иначе будет много облоя и брака в производстве.

При использовании титана также нужны специальные печи, которые могут нагревать до более высоких температур, а также штамповочные прессы с регулируемым и большим диапазоном нагревания рабочей плоскости. В данном производстве практически исключена возможность использования собственных сплавов, потому что помимо изготовления нужного материала его нужно отлить в специальные формы. Но если

обзавестись им, то можно переплавлять облой и значительно снизить отходы производства, используя вторсырьё многократно.

Поэтому для кованных дисков (которые, по сути изготавливаются способом объёмной горячей штамповки, а нековки в привычном понимании этого слова) закупаются специальные болванки – длинные цельные цилиндры небольшого диаметра, которые называются поковкой. Обычно такие заготовки уже проходят у изготовителя процесс закалки, если это необходимо, что избавляет предпринимателя от необходимости оснащать свой цех литейными машинами (но купить их всё-таки желательно по вышеназванным причинам). При помощи специального оборудования цилиндр режут на заготовки нужной толщины и отправляют на первичную обработку: нагревают, а после подвергают предварительному штампованию под секторным штампом.

После первичной штамповки они отправляются в печь, где нагреваются до не критической температуры и подаются под новый пресс (это может быть и всё то же оборудование, но с новой формой, хотя обычно применяют два разных прессы). Печь должна быть расположена неподалёку от прессы, так как заготовка не должна остыть, поэтому её обрабатывают специальным раствором и подают в штамповочную машину. Из неё выходят уже фактически готовые колёса, которые после этого нагревают и быстро охлаждают, потом вновь нагревают и дают остыть уже естественным путём.

Завершающий штрих обработка фрезеровочным станком, который и наносит на заготовку нужный рисунок. Поэтому все колёса, вышедшие из под прессы, по сути, одинаковы, и индивидуальность им придаётся именно в самом конце производственного процесса. Массовое производство предполагает использование фрезера с числовым программным управлением (ЧПУ), что полностью автоматизирует процесс изготовления дисков, позволяет загружать во фрезер любые задачи и получать продукт в самые короткие сроки.

Учитывая, что дизайн диска – это из его достоинств, получается, что экономить на такой вещи не стоит. После этого в случае необходимости диск также подвергается окраске, хотя использование многих видов сплавов позволяет обходиться без антикоррозийной обработки, поэтому покраска часто несёт только декоративную функцию. Для производства кованных дисков понадобится следующее оборудование:

Литьевая машина. Не всегда обязательна, но рекомендуема. Стоимость – от 700 тысяч рублей.

Печь, нужна менее мощная (с меньшей предельной температурой), если не используется литьё. Стоимость – от 200 тысяч рублей.

Оборудование для покраски – от 100 тысяч рублей.

Станок плазменной резки (может быть заменён лазерным), без него не разделить поковку на заготовки. Стоимость – от 300 тысяч рублей.

Штамповочное оборудование, стоимость напрямую зависит от рабочей площади, а она влияет на диаметр изготавливаемых дисков. Нужно два экземпляра. Стоимость – от 1 миллиона рублей.

Фрезерный станок с ЧПУ. Вообще такую машину можно купить и за миллион, но нормальные экземпляры стоят 7 миллионов и больше. Средняя стоимость – от 2 миллионов рублей.

Первые изделия из партии также проходят обследование на выявление недостатков (как и в случае с литыми дисками), и если результат положительный, настраивается серийный выпуск.

1.2 Характеристика материалов изделия

«Для изготовления легкосплавных дисков колес автомобилей применяют, в основном, сплавы на основе алюминия, см. раздел 1.1. Температура плавления алюминия 660С. Алюминий имеет ГЦК - решетку с

периодами $\lambda = 0,4041$ нм. Наиболее важной особенностью алюминия является плотность- 2,7 г/см³ против 7,8 г/см³ для железа и 8,94 г/см³ для меди. Алюминий обладает высокой электрической проводимостью, составляющей 65 % проводимости меди.»[9]

«Алюминий обладает высокой коррозионной стойкостью, вследствие образования тонкой прочной пленки Al₂O₃. Чем чище алюминий, тем выше коррозионная стойкость.»[9]

«Технический алюминий ввиду низкой прочности применяют для изготовления конструкций и деталей не несущих нагрузки, когда требуется высокая пластичность, хорошая свариваемость, сопротивление коррозии и высокие теплопроводность и электрическая проводимость»[9]

«Механические свойства отожженного алюминия высокой чистоты и технического алюминия приведены в таблице 1.1.»[9]

«Таблица 1.1 - Механические свойства отожженного алюминия высокой чистоты и технического алюминия»[9]

$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ ,%	δ ,%
Механические свойства отожженного алюминия высокой чистоты			
50	15	-	50
Механические свойства технического алюминия (АДМ)			
80	30	35	-

«Поскольку чистый алюминий не обладает высокими прочностными характеристиками, наибольшее распространение получили сплавы. Сплавы алюминия, обладая хорошей технологичностью во всех стадиях передела, малой плотностью, высокой коррозионной стойкостью, при достаточной прочности, пластичности и вязкости нашли широкое применение в авиации, судостроении, автостроении, строительстве и других отраслях народного хозяйства.»[10]

«Все сплавы алюминия можно разделить на деформируемые, предназначенные для получения полуфабрикатов (листов, плит, прутков,

профилей, труб и т.л.), а также поковок и штамповых заготовок путем прокатки, прессованияковки и штамповки и литейные, предназначенные для фасонного литья.»[10]

«Наиболее часто зарубежные производители используют g-AlSi7 - сплав из алюминия и кремния. Он используется при производстве колес OEM и Aftermarket. Этот сплав хорошо переносит термическую обработку и на 20% лучше выдерживает механические нагрузки, что делает его наиболее популярным и используемым при производстве. А также используют g-AlSi10/11 - сплав из алюминия и кремния, используется при производстве колес Aftermarket. Почти не используется при производстве OEM так как по сравнению с g-AlSi7 хуже поддается термической обработке.»[9]

«Российским аналогом g-AlSi7 является АК7ч. Сплав обладает хорошие коррозионная стойкость, механические и литейные технологические свойства (не склонен к трещинообразованию в процессе кристаллизации и последующего охлаждения, минимальная линейная усадка). По обрабатываемости резанием превосходит сплав АК12. Имеет хорошие механические свойства за счет образования соединения Mg₂Si, которое влияет на прочность сплава.»[9]

Химический состав сплава по ГОСТ 1583-93 приведен в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Химический состав в % материала АК7ч

Al	Fe	Si	Си	Zn	Mn	Mg
89,6-93,8	до 1,5	6-8	до 0,2	до 0,3	до 0,5	0,2-0,4

Согласно ГОСТ 1583-93 свойства сплава АК7ч должны быть следующие, таблица 1.3.

Таблица 1.3 - Механические свойства при T=20oC материала АК7ч

Отливка	σв, МПа	σТ, МПа	σ5, %	КСУ, кДж/м2	НВ, МПа
Литье в кокиль	137-225	-	1,0 – 4,0		45-70

«Области применения:

детали самолетов, приборов, корпуса насосов, карбюраторов, и работающие при температуре не выше 200° С. Применяют сплав АК7ч для наиболее ответственных отливок, сложных и крупногабаритных деталей, работающих при больших нагрузках (картер двигателя внутреннего сгорания), для литья мало и средненагруженных деталей приборов, агрегатов и двигателей, а также для бытовых изделий.»[9]

«Российским аналогом AlSi10/11 является сплав АК12М2 - литейный сплав. Область применения – получение отливок сложной конфигурации, блоков цилиндров, головок блоков цилиндров. Температура литья 680-730°С.

Химический состав сплава АК12М2 приведен в таблице 1.4.»[9]

«Таблица 1.4 - Химический состав в % материала АК12М2

Al	Fe	Si	Сu	Zn	Ti	Mg
84-85	0,7	12	2	0,1	0,2	0,05

Согласно ГОСТ 1583-93 свойства сплава АК12М2 должны быть следующие, таблица 1.5.

Таблица 1.5-Механические свойства при T=20oC материала АК12М2»[9]

Отливка	σв, МПа	σТ, МПа	σ5, %	КСУ, кДж/м2	НВ, МПа
Литье в кокиль	186	-	1,0		70
Литье под давлением	260	-	1,5		83

1.3 Основные виды штамповки металлов

Такой способ обработки применяется в мелком, среднем и большом объеме в производствах, специализирующихся на машиностроении и приборостроении. Штамповка изделий из металла применяется почти во всех отраслях, позволяя создавать любые детали (от стрелок часов до автомобильных дисков и элементов корпуса самолетов). Данная технология имеет очень долгую историю и даже сейчас активно развивается. Постоянно появляются новые методы, использующие силы разного происхождения, кроме гравитации. Деформирование происходит под действием гидравлического давления, электрического тока, магнитного поля и т. д. Далее мы рассмотрим вопросы, связанные с принципом действия штамповочных прессов, видами и методами деформации металла и использованием изделий, созданных таким способом в разных отраслях промышленности.

Деформация листового металла может осуществляться под действием высокого давления либо при комбинировании давления и температуры. Исходя из этого, все типы штамповки можно разделить на две большие группы:

- холодная;
- горячая.



Рисунок 1.1 -Деформация листового металла

Оба типа имеют свои преимущества и недостатки, которые разграничивают сферы их использования. Холодная штамповка осуществляется при температуре ниже точки плавления металла. Это позволяет избежать усадки при остывании, но накладывает ограничения на форму конечного изделия. Таким методом создают детали без большого количества рельефных элементов, например, детали корпуса автомобиля. Основные требования к используемому материалу при холодной штамповке - высокая пластичность и отсутствие хрупких деформаций. Метод подходит для низкоуглеродистых и легированных сталей, меди, латуни, сплавов алюминия и магния, титана. Поверхность изделий получается ровной, гладкой, размеры продукции с высокой точностью соответствуют заданным.

В зависимости от вида готовой продукции холодная штамповка может быть листовой и объемной. Листовая предназначена для создания таких элементов, как корпуса приборов, детали автомобильного кузова, различные пластины сложной геометрической формы. Заготовки сохраняют свою

первоначальную толщину, изменяется только их геометрическая форма. При помощи объемной штамповки производят детали, к которым выдвигаются требования особой надежности и точных геометрических размеров: коленвалы автомобилей, шаровые опоры и т. п. В процессе таких деформаций происходят вдавливание одних структурных элементов поверхности и выдавливание других.

Преимущества листовой штамповки перед обычной резкой довольно значительные. Во-первых, такая поковка имеет большую производительность до 40 тысяч деталей за смену. Во-вторых, таким способом можно создать изделие большой мощности при малой толщине материала, например, оборудовав конструкцию ребрами жесткости, что сделать практически невозможно при любом типе резки. Поверхность полученных деталей ровная, не требует шлифовки и грунтовки перед покраской. Все перечисленные преимущества позволили повсеместно внедрить методы штамповки во всех отраслях промышленности, особенно в автомобилестроении, авиации и электронном производстве.



Рисунок 1.2 - Листовая штамповка деталей

Горячая штамповка, или ковка, требует предварительного нагрева самой заготовки либо заготовки и штамповочного молота. Данным методом создаются детали сложной геометрической формы, требующие дальнейшей механической обработки, поскольку на стыке пресс-форм остается часть материала. Поверхность изделий вследствие нагревания до высокой температуры покрывается пленкой окислов, которые удаляются на последующих этапах производства.

Данный метод штамповки производится посредством действия на горячую деталь, которая находится между подвижной и неподвижной частями прессы. В зависимости от зазора между частями штампа ковку делят на два вида:

В открытых штампах. Такой способ предполагает наличие небольшого зазора между плоскостями прессы. В это пространство вытекают излишки металла - облой. Он перекрывает все свободное пространство, вследствие чего остальной материал вынужден занять свое место в пресс-форме. Такой метод дает возможность производить детали точных геометрических размеров, но требует последующих технологических операций по удалению облоя.

Штамповка в закрытых штампах. Данный вид горячей ковки происходит посредством действия пресс-форм, между которыми не остается зазор. В результате получается закрытая полость, в которой формируется изделие. Заготовки для такой штамповки должны иметь точно рассчитанные размеры, форму и толщину. Одно из преимуществ закрытых штампов - практически полное отсутствие облоя, так что такое производство является более эффективным, хотя и требует тщательной подготовки исходного материала.

Альтернативные методы штамповки металла.

Ковка и штамповка могут осуществляться не только давлением молотов и высокой температурой, но и посредством других сил.



Рисунок 1.3 - Ковка металла

Рассмотрим наиболее распространенные виды деформации металлов:

В производстве деталей для самолетов и ракет широко используется штамповка взрывом (рис. 1). Технологический процесс формирования деталей производят в бассейне с водой, расположив заготовку на пресс-форму, над которой размещается заряд взрывчатого вещества. После детонации взрывная волна в комбинации со смесью газов высокого давления действует на заготовку, придавая ей нужную форму. Таким методом формируются сложные элементы для авиации и ракетостроения, взрывом патрубка для моторов приобретают плавные изгибы, так как в водной среде не происходит их разрыв.

Магнитно-импульсная ковка и штамповка (рис. 2) осуществляются путем преобразования электрического тока и сопутствующего ему магнитного поля в механические деформации заготовки. Процесс осуществляется очень быстро - за десятые доли секунды.

Электрогидравлическая штамповка (рис. 3) основана на действии высокого напряжения в среде жидкости. В результате замыкания контактов

проводника возникают высокая температура и волна давления, что делает данный метод похожим на деформацию взрывом.

Изотермическая штамповка является одним из альтернативных подвидов горячейковки. Отличие заключается в том, что пресс-форма и заготовка разогреваются до температуры плавления металла, которая поддерживается на протяжении всего процесса. В результате такого действия пресса исключается риск возникновения трещин, связанных с перепадом температур. Внутри формы металл получает свойства пластичного материала и с высокой точностью заполняет все пустоты. Изделия получают точную форму и размеры, практически не нуждаются в дальнейшей обработке (рис.4).

Валковая штамповка осуществляется посредством прокатывания заготовки на твердосплавных пресс-валах. После такой обработки деталь получает заданную форму, повышаются механические свойства вследствие возникновения направленности микроструктур металла.

Преимущества использования методов штамповки.

Изготовление деталей при помощи высокого давления позволяет создавать детали практически любой формы, значительно уменьшая расход материала. По сравнению с резкой листовой материал под прессом не теряет механических свойств.

Штамповка довольно проста в применении, как на больших предприятиях, так и в мелкосерийном производстве.

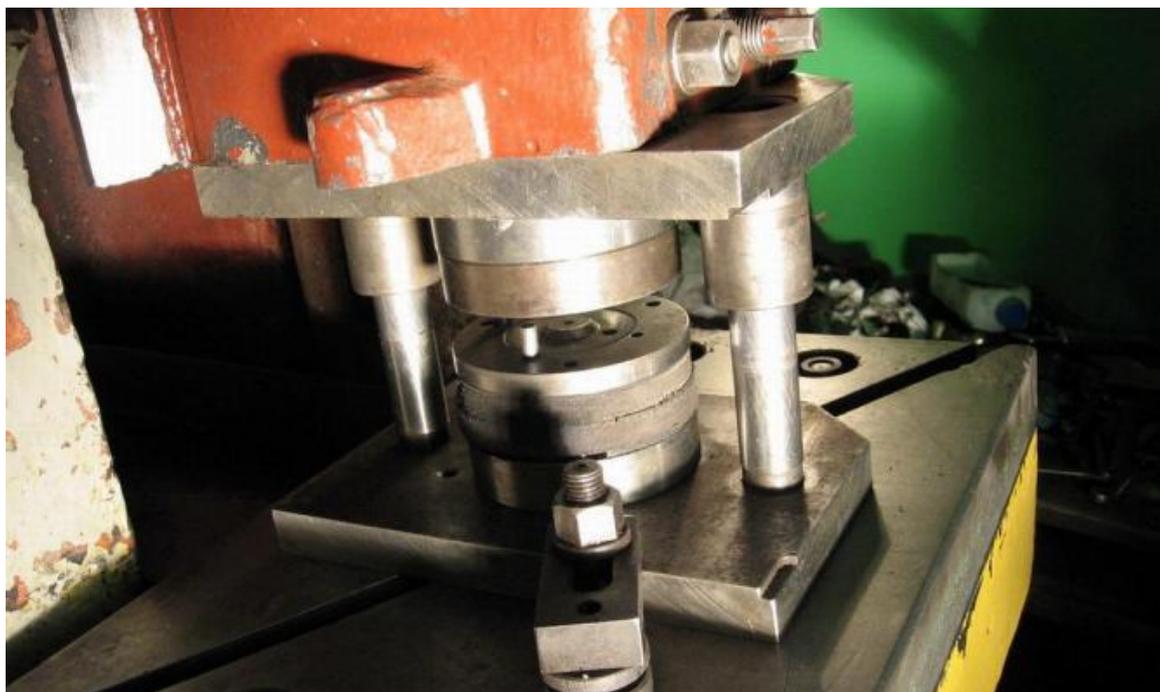


Рисунок 1.4 - Изготовление деталей при помощи высокого давления

Данная высокоскоростная технологическая операция позволяет получать от 30 до 40 тысяч деталей в сутки. После завершения штамповки изделия нуждаются только в минимальной доработке: снятии облоя, шлифовке и полировке.

Универсальность применения метода обеспечивается возможностью быстрой замены пресс-форм, расположенных на молотах. Штамповка доказывает свою высокую результативность при внедрении на производствах разного типа (от точного приборостроения до создания автомобилей, самолетов и ракет).

Такие виды механического деформирования, как магнитная, взрывная и электрогидравлическая штамповки, позволяют создавать сплошные конструкции практически любого размера без швов.

Штамповка применяется уже очень давно, так как происходит отковки металлов - процесса, развивающегося вместе с человечеством, без которого невозможно представить себе создание орудий труда, строительных инструментов и оружия.

Современные методы изготовления деталей требуют не только высокой точности, но и экономии материала. Тогда как при резке металла очень

большая его часть уходит в стружку, штамповка с максимальной рациональностью расходует материал, придавая ему форму, практически не нуждающуюся в дальнейшей обработке.

Хотя прессы, используемые для штамповки, постоянно развиваются, увеличивая мощность и производительность, их технические характеристики иногда не позволяют создать детали очень больших размеров. В таком случае на помощь приходят альтернативные методы, которые используют гидравлические, взрывные и электромагнитные силы.

Внедрение на производство данных методов позволяет сократить расход материалов, увеличить точность и надежность изделий и ускорить технологические процессы производства.

1.4 Обзор программ используемых в машиностроении для ЛИТЬЯ

«1.ProCAST: в качестве дополнительных опций предлагается внушительный список модулей, расширяющих базовые возможности программы.»[2]

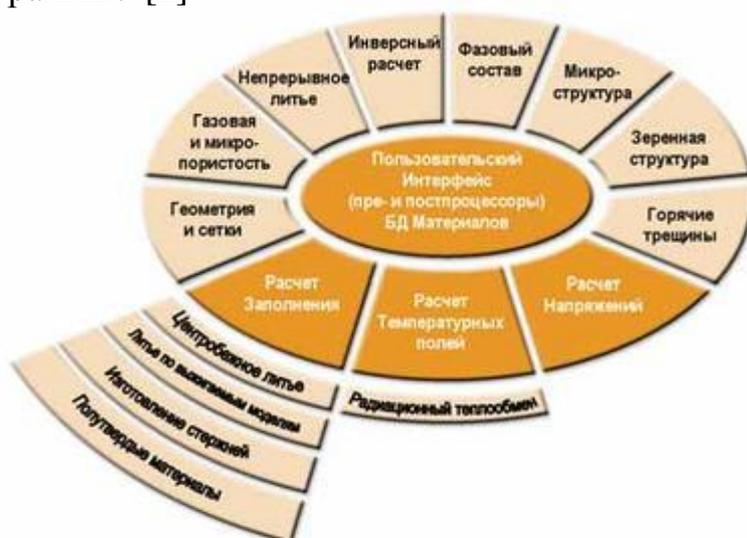


Рисунок 1.5 «Модульная структура СКМ ЛП ProCAST»[2]

«Модульная структура СКМ ЛП ProCAST Модульная структура СКМ ЛП ProCAST. Почти все модули ProCAST используют для решения соответствующих дифференциальных уравнений МКЭ. Исключение составляет модуль расчета газовой и микропористости (Advanced Porosity Module), использующий МКР и модуль расчета процесса зарождения и роста зерновой структуры (SAFE), сочетающий в себе МКЭ и клеточные автоматы. С практической точки зрения, использование МКЭ означает, что перед инженером встает дополнительная задача, связанная с подготовкой расчетной конечно-элементной модели. Поэтому мы более подробно остановимся на препроцессорном модуле — генераторе сеток Mesh CAST. MeshCAST как лучший генератор. Все, кто когда-либо создавал, конечно элементные (КЭ) модели, знают, как это непросто. Особенно когда речь идет о моделировании литейных процессов. Если расчетная область состоит больше чем из одного тела, сразу начинаются проблемы, связанные с требованием совпадения узлов сеток на сопрягающихся границах. Впрочем, сейчас почти все СКМ ЛП позволяют обходить это требование и допускают несовпадение узлов. Но для большей точности расчета лучше, чтобы сетки совпадали. Хорошие генераторы сеток существуют. Например, в модуле Advanced Simulation CAD-системы Unigraphics (теперь это продукт NX от Siemens PLM Software). Его генератор сеток позволяет с минимальными усилиями получить 3D-сетку переменного размера на системе тел. Условия сопряжения сеток можно задать в ручном и автоматическом режиме.»[2]



Рисунок 1.7 «КЭ-модель литейного блока.»[4]

«Некоторые производители СКМ ЛП рекомендуют генератор сеток от фирмы Altair Engineering — известный Hyper Mesh. Сам генератор очень неплох, но геометрия (как правило, в формате IGES) часто передается с ошибками, ее исправление занимает много времени или вовсе невозможно. Да и сам процесс получения сопряженных сеток, прямо скажем, не из легких. Часто задача получения КЭ-модели не ограничивается разбивкой двух состыкованных тел. Кроме модели блока может потребоваться получить КЭ-модель керамической формы (для ЛВМ) с утеплением одним или несколькими слоями теплоизоляции (в общем случае утепление может быть неравномерным). При моделировании литья в землю потребуется построить КЭ-модели формы, стержней, холодильников и т. п. Все эти элементы придется построить в CAD-системе, затем транслировать в генератор сеток, где предстоит нелегкое решение проблемы совпадения узлов на сопряженных поверхностях, которых может быть и 500 В Hyper Mesh такая процедура может занять два-три дня работы. Когда начинаешь готовить КЭ-модель в генераторе Mesh CAST, состояние счастья приходит очень быстро. Например, для моделирования процесса ЛВМ в CAD-системе требуется создать только модель литейного блока. Все остальные тела (форма, вата,

стержни) будут сгенерированы в Mesh CAST сразу в виде КЭ сетки. Для литья в землю сопряжение сеток на границах «отливка-форма» тоже перестает быть проблемой. Работа в Mesh CAST состоит из трех этапов: загрузка геометрических моделей и работа с ними; работа с поверхностными сетками; создание объемной сетки. На первом этапе в Mesh CAST можно транслировать геометрические модели в форматах IGES, STEP и Parasolid. Формат Parasolid читается, как правило, без ошибок, модель в формате IGES, скорее всего, придется исправлять. Для исправления геометрии прилагается внушительный набор инструментов.»[2]

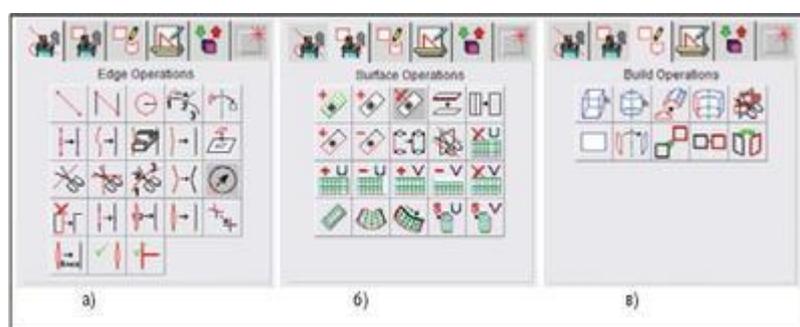


Рисунок 1.8 «Инструментарий для операций с геометрией: а) ребрами, б) поверхностями, в) телами»[2]

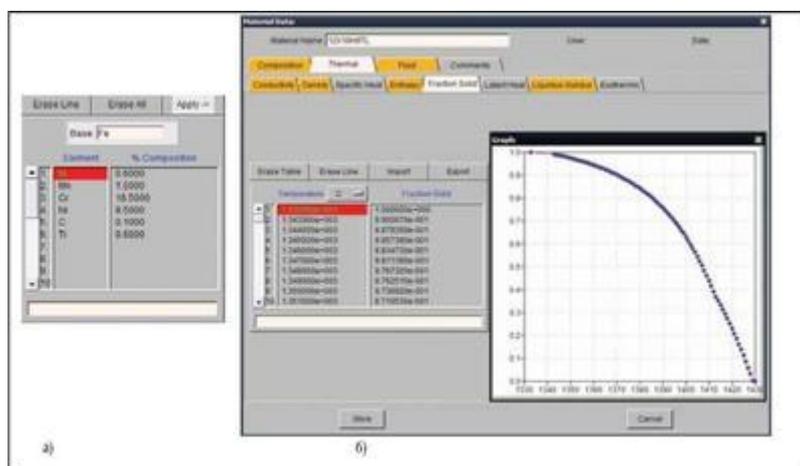


Рисунок 1.9 «Термодинамическая база данных: а) на вкладке Composition задается химический состав сплава; б) на вкладке Fraction Solid выводятся результаты расчета.»[2]

«При расчете свойств учитывается эффект микро сегрегации (диффузии в твердой фазе), который можно задать, используя три модели: «Lever» (правило рычага) — полное перемешивание, «Scheil» — полное

отсутствие диффузии и «Back Diffusion» — средний вариант между «Lever» и «Scheil». Характер протекания диффузии зависит от скорости охлаждения, что учитывается при расчете свойств.»[2]

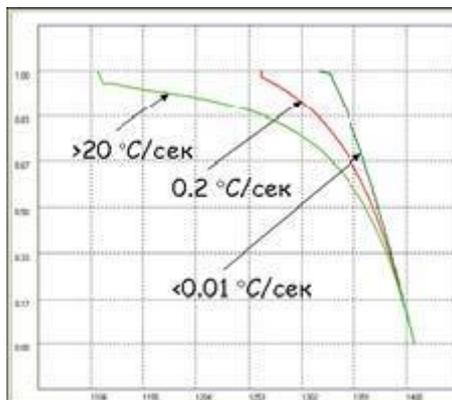


Рисунок 1.10 «Температурные зависимости доли твердой фазы, полученные при разных скоростях охлаждения»[2]

«Термодинамические базы данных в ProCAST эволюционируют, что может привести к разнице в свойствах, полученных для одного и того же химического состава в разных версиях программы. Однако поскольку все предыдущие версии баз данных доступны, у пользователя есть возможность проследить все изменения и выбрать наиболее верный вариант. Лучший способ оценки правдоподобности рассчитанных свойств — это, конечно, сравнение с экспериментальными данными.

Граничные и начальные условия.

Гибкость и прозрачность ProCAST при назначении граничных и начальных условий позволяет наиболее полно и точно описать моделируемый технологический процесс на всех его стадиях. Единственное, что требуется от пользователя это четкое понимание физической сути процесса, от чего будет зависеть результат расчета, а между тем ProCAST не дает расчета, а между тем ProCAST не дает никаких подсказок. Но можно смело утверждать, что система готова исполнить практически любые пожелания пользователя. Список ГУ, которые можно задать на поверхностях отливки и формы, позволяет тщательно смоделировать любые литейные процессы, включая самые экзотические. Кроме того, можно задать ГУ в

объеме и на поверхностях окружающих тел. Параметры любого граничного условия могут быть заданы константами, функциями температуры и времени с использованием разных систем единиц. Если же пользователя вдруг не устроит ни один из трех способов, практически любой параметр он может задать функцией, которую определяет сам. Выбранный параметр будет изменяться в зависимости от температуры, времени, координат и т. п. по закону, который определяется через функцию, написанную пользователем на языке C и подключаемую к расчету через модуль «User Functions». Эта возможность используется, например, при моделировании направленной кристаллизации с жидкометаллическим охладителем (НК с ЖМО).»[2]

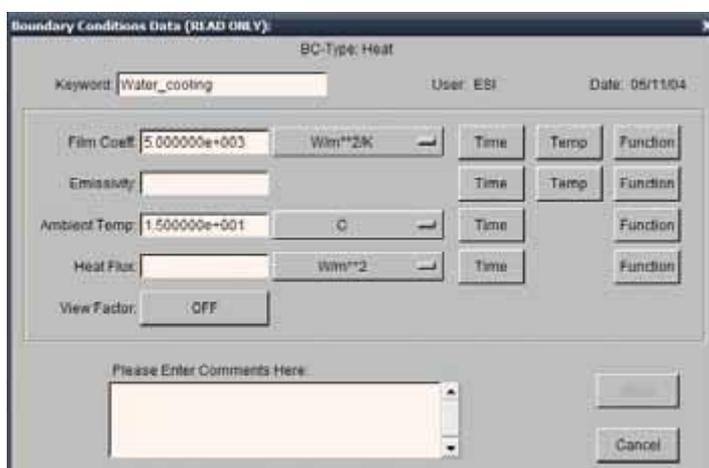


Рисунок 1.11 «Граничное условие типа Тепло»[2]

«Начальные условия (например, начальная температура отливки и формы) могут быть заданы константами или полями, загружаемыми из других расчетов.

Параметры расчета.

Последнее, что нужно сделать перед началом расчета, это задать параметры решателей, то есть определить момент остановки расчета, шаг расчета, параметры расчета усадки и т. п. Вообще, параметров много и вряд ли когда-то придется воспользоваться хотя бы половиной из них. Это все та же идеология открытости ProCAST, позволяющая пользователю залезать в самые дебри алгоритмов системы. На тот случай, если настройки системы сбиты и восстановить их нет никакой возможности, есть готовые наборы

параметров расчета, задающих общий характер вычислений (например, «литье в землю»). При желании пользователь может создать свой набор, упрощая себе в будущем работу на этом этапе.»[2]

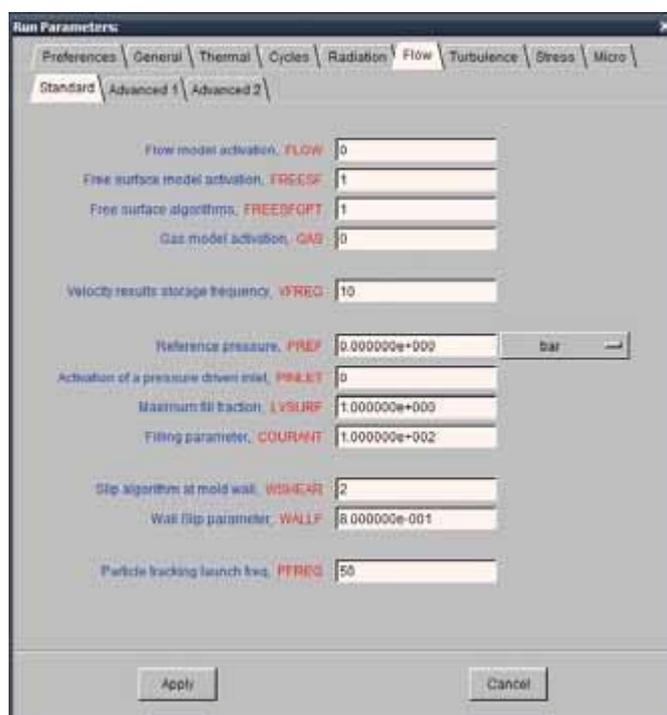


Рисунок 1.12 «Параметры расчета задачи заполнения»[4]

«Удивительно, что при таком обилии изменяемых параметров это далеко еще не все возможности воздействия на работу ProCAST. Читая руководство пользователя, то и дело натыкаешься на новые и новые параметры, которые надо вводить вручную прямо в текстовый файл. Поэтому руководство надо читать. Еще большее удивление вызывает наличие в ProCAST некоторого количества недокументированных (но очень полезных) параметров. С некоторых пор в ProCAST появились модули, для которых исходные данные вводятся не в препроцессоре Pre CAST, а либо в другом приложении (модуль SAFE), либо в текстовый файл (Advanced Porosity Module). Это неудобство связано с тем, что производители стремятся как можно быстрее предоставить пользователям новые модели для промышленного использования. К факту продажи несколько «сырых» модулей можно относиться по-разному, однако нельзя отрицать постоянные усилия разработчика ПО, направленные на их улучшение.»[2]

«Результаты расчетов.

Поскольку о самом расчете в ProCAST писать особенно нечего, сразу переходим к просмотру результатов. Модуль постпроцессора ViewCAST обладает богатым функционалом и предоставляет пользователю всю необходимую информацию в виде полей (температурные, пористость и т. д.), векторов (скорости, тепловые потоки) и графиков.»[2]

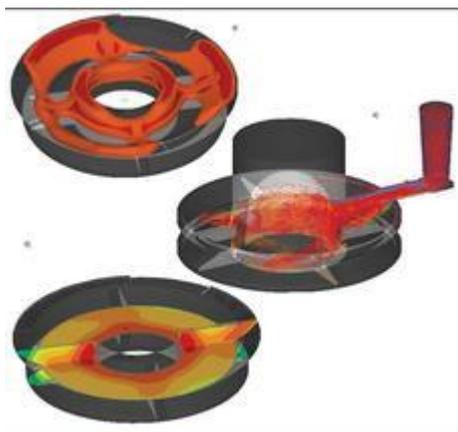


Рисунок 1.13 «Вывод результатов: а) режим изоповерхности; б) режим сечения; в) векторное поле скоростей»[2]

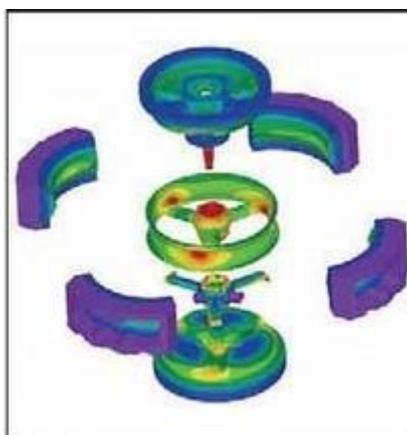


Рисунок 1.14 «Режим смещения материалов»[4]

«В модуле ViewCAST кроме просмотра можно проводить математическую обработку температурных полей и получать разную полезную информацию для повторного расчета с уточненными параметрами. Например, можно вычислить скорость охлаждения (скорость достижения заданной температуры) отливки и произвести коррекцию свойств сплава, используя модель «Back Diffusion». Повторный расчет с использованием скорректированных свойств даст более точный результат. Соответствующей

обработкой температурных полей можно получить параметр «Feeding Length» (длина питания), который играет важную роль при расчете усадочной пористости (стандартная модель). Также можно вычислить расстояние между вторичными осями дендритов — параметр, необходимый для расчета микропористости в Advanced Porosity Module. По желанию можно узнать число Ниямы и много другое. В целом можно сказать, что, создавая ProCAST, производители старались максимально снизить количество «белых пятен» — трудно определяемых параметров, необходимых для расчета.»[2]

2.Полигон Софт

«Первая версия СКМ ЛП «Полигон Софт» (старое название — САМ ЛП «Полигон») разработана в 1989 году в Центральном научно-исследовательском институте материалов (ЦНИИМ, Санкт Петербург) по тематике Министерства оборонной промышленности. До сих пор это единственная конечно-элементная СКМ ЛП в России. С помощью системы можно моделировать все традиционные способы литья металлов:»[3]

- литье в песчаную форму с любым связующим;
- литье в кокиль (в том числе охлаждаемый);
- литье по выплавляемым моделям;
- литье по процессу вакуумно-пленочной формовки;
- литье под давлением; литье под низким давлением;
- жидкая штамповка (литье с кристаллизацией под давлением);
- затвердевание с учетом подвода электрического тока;
- направленное затвердевание в вакуумных печах при лучистом теплообмене.

Разработчики утверждают, что при умелом использовании можно получить приемлемые результаты для литья по газифицируемым моделям и центробежного литья, хотя специальные модели в системе отсутствуют. Одно из несомненных преимуществ «Полигон Софт» — модель усадочной

макро- и микро пористости, которая позволяет прогнозировать образование дефектов в отливках ответственного назначения (рабочие и сопловые лопатки ГТД, моно колеса, крыльчатки насосов и т. п.). Долгое время эту модель можно было назвать самой передовой и точной в мире. И сегодня СКМ ЛП «Полигон Софт» успешно конкурирует с лучшими мировыми СКМ ЛП, проигрывая им по функциональности, но не по точности прогноза усадочных дефектов. В настоящее время разработкой системы занимается ООО «Полигон». В статье описана последняя на текущий момент версия — «Полигон Софт» 13.0 xCore.»[3]

«Подготовка к расчету

Подготовка к расчету включает в себя подготовку сеточной модели расчетной области, определение граничных (ГУ) и начальных (НУ) условий. «Полигон Софт» имеет целых четыре препроцессорных модуля: «Мастер-3D» работа с сеточной моделью; «Сплав» — управление ГУ и НУ; «Оптима» оптимизация КЭ-модели для расчета прямым методом; «Трассировка» подготовка специального файла геометрии для расчета радиационного теплообмена с учетом эффектов переизлучения и затенения. К сожалению, у СКМ ЛП «Полигон Софт» собственного генератора нет, поэтому применение системы будет неизбежно сопряжено с использованием дополнительного программного обеспечения и, следовательно, дополнительными тратами на его покупку. С другой стороны, модуль «Мастер-3D», в который загружается сетка для подготовки к расчету, понимает форматы многих известных инженерных программ, среди которых Mesh CAST. Который, в принципе, можно купить отдельно, и это на сегодняшний день, возможно, лучший вариант.»[3]



Рисунок 1.15 «Форматы файлов, доступные для загрузки в модуль Мастер-3D»[3]

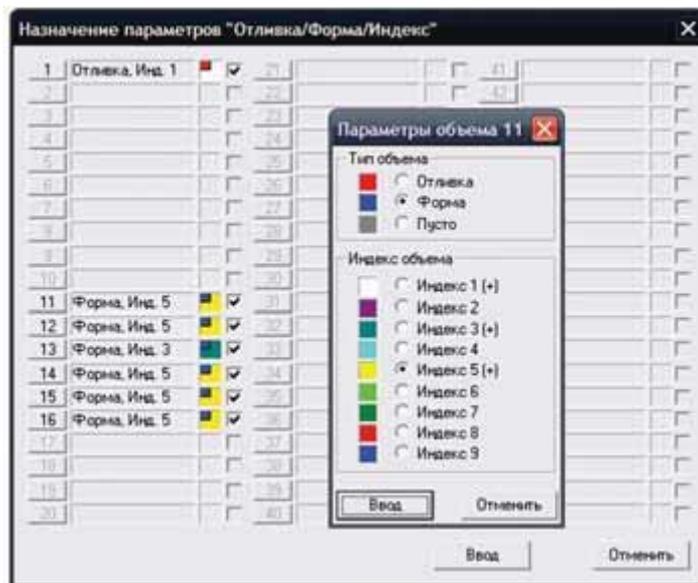


Рисунок 1.16 «Цветовая дифференциация индексов в СКМ ЛП Полигон Софт»[3]

«Цвета запоминаются гораздо лучше, чем цифры, и, таким образом, индексация объемов и границ (а фактически назначение материалов и ГУ) превращается в подобие игры «раскрась свою отливку.»»[3]

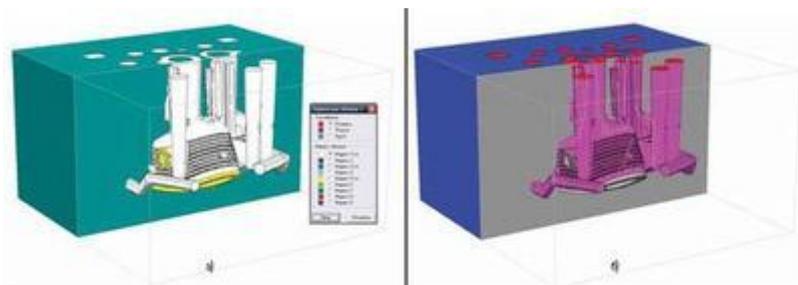


Рисунок 1.17 Индексирование объемов (а) и границ (б) отливки Корпус в модуле Мастер-3D

«Какие цвета/индексы задавать объемам и границам, пользователь узнаёт (или задает) в модуле «Сплав», в котором просматриваются и редактируются все данные по материалам, ГУ и задаются специальные параметры процесса: перемещение тел относительно друг друга, изменение характеристик окружающей среды, пропускание электрического тока и т. п.»[3]

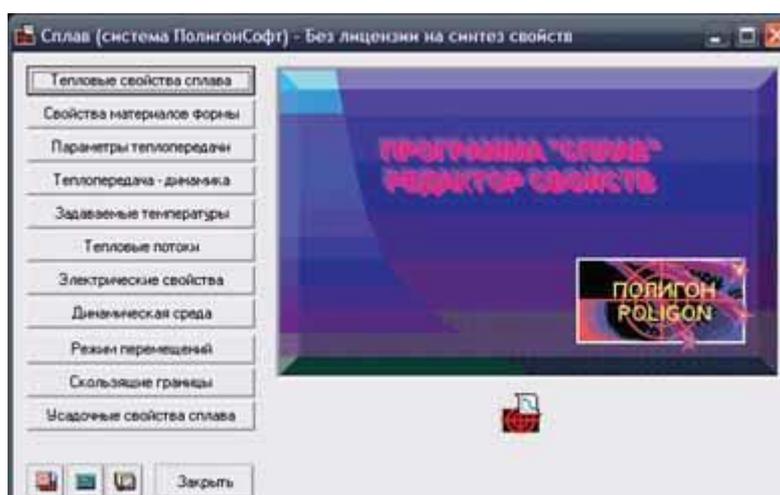


Рисунок 1.18 Модуль Сплав

«Например, нажав на кнопку Свойства материалов формы, пользователь попадает в окно редактора, где может задать свойства до девяти материалов формы в соответствии с заданными в «Мастере-3D» индексами объемов. Заданный набор материалов сохраняется в файл. Таким же образом задаются условия теплоотдачи на границах и все остальные необходимые условия.»[3]

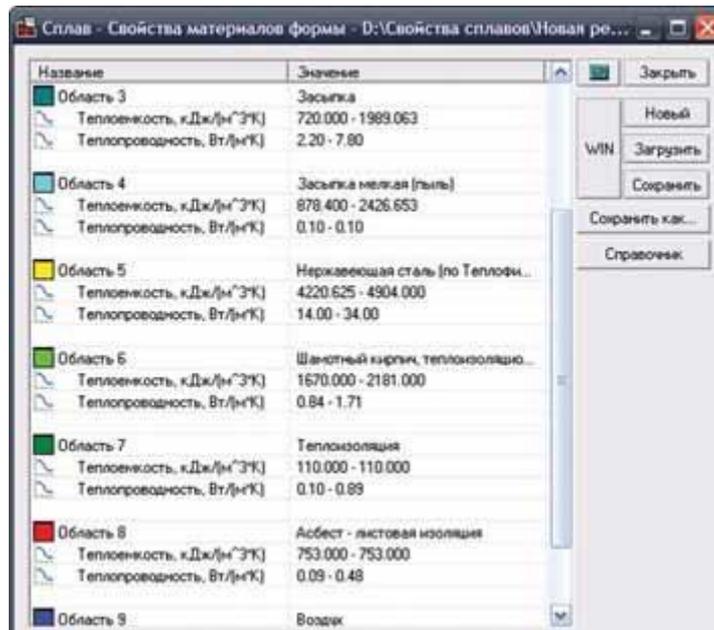


Рисунок 1.19 Редактор свойств материалов формы в модуле Сплав

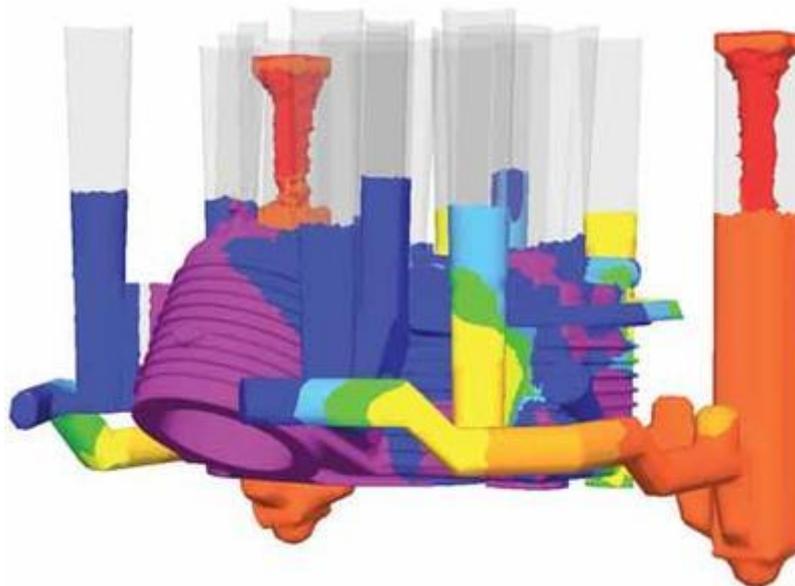


Рисунок 1.20 Температурное поле расплава, заполняющего форму

«Расчет в модуле «Фурье-3D» остается центральным моментом работы в системе «Полигон Софт». В нем рассчитывается остывание отливки и всех элементов формы до момента, который указывает пользователь, обычно это температура солидус. «Фурье-3D» продолжает начатый в модуле «Эйлер-3D» температурный расчет и прогнозирует образование усадочных раковин, макро- и микропористости.» [3]

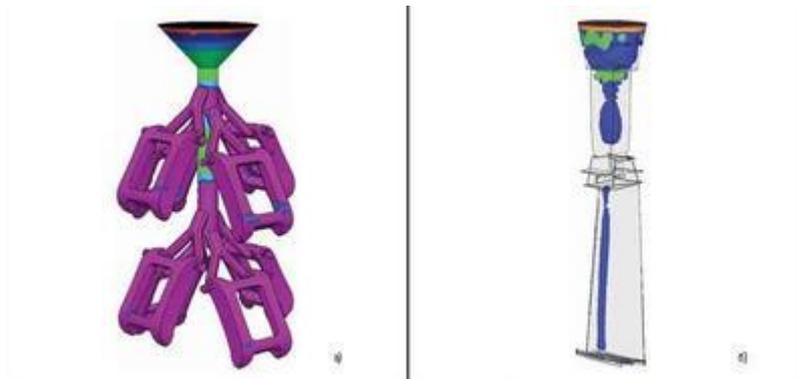


Рисунок 1.21 «Результаты расчета пористости в Фурье-3D: а) микропористость на поверхности отливок Корпус часов (ЗАО ПОЛЕТ-ЭЛИТА); б) осевая пористость в отливке Лопатка рабочая ГТД (ФГУП ММПП Салют)»[3]

«Не так давно в составе системы появился модуль расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) отливки»[3]

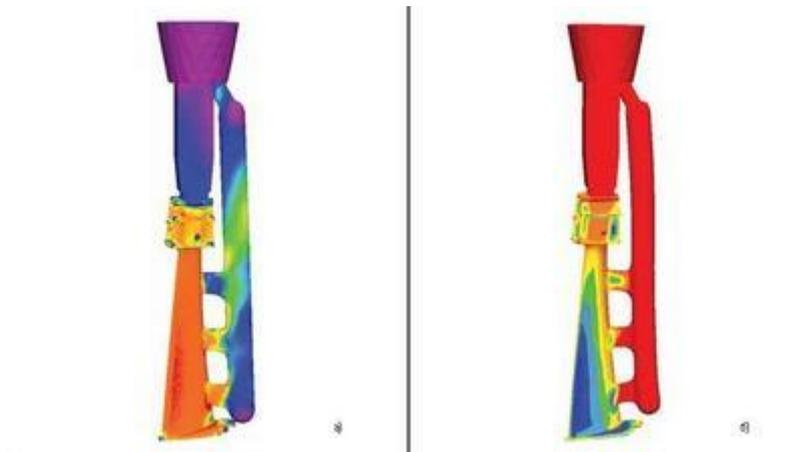


Рисунок 1.22

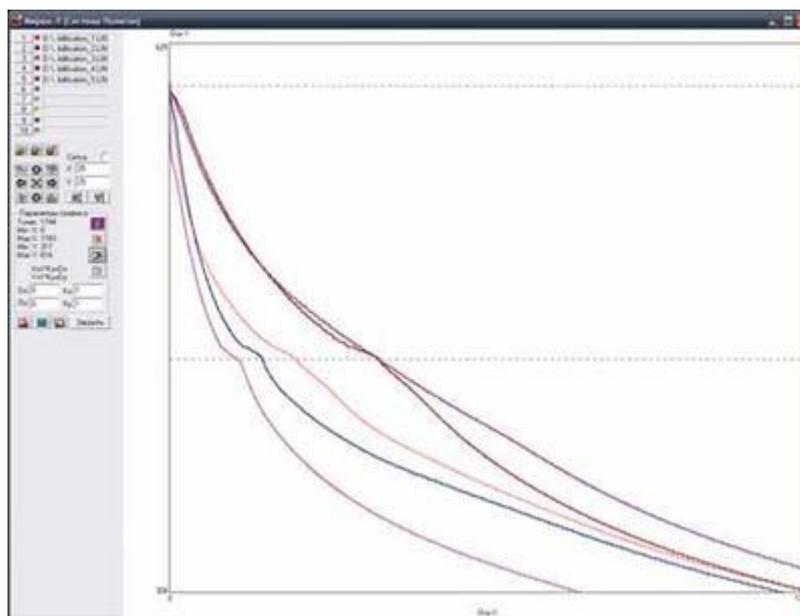


Рисунок 1.23

«Еще один пост процессорный модуль, «Критерий», заслуживает особого внимания. Это инструмент для обработки рассчитанных полей (чаще всего тепловых) с целью получения дополнительной информации о качестве отливки или ее свойствах. Что именно надо сделать с полем — решает пользователь, задавая математическую функцию. Например, можно задать критерий Ниямы 2, чтобы получить дополнительные данные для прогноза образования возможных усадочных дефектов. Кроме того модуль может быть использован для коррекции свойств материала отливки, в частности, некоторых параметров усадочных свойств 3. Для создания сложных критериев в модуль встроен специальный калькулятор, содержащий большое количество готовых функций, таких как градиент поля по осям, время затвердевания, время достижения заданной величины, скорость изменения величины и многие другие.»[3]

1.5 Задачи работы

Проанализировав, возможные способы производства легкосплавных дисков, останавливаемся на технологии изготовления формообразующих

деталей пресс-формы литья под давлением с использованием CAD - CAE - CAM систем.

Таким образом, к задачам работы относим:

- Выбрать программу для моделирования изделия;
- Разработать 3Д модель изделия;
- Задать материал изделия и формы;
- Смоделировать процесс литья;
- Произвести анализ результатов.

2 ВЫБОР СПОСОБА ЛИТЬЯ

2.1 Литье в песчано-глинистые формы

К достоинствам процесса литья в песчано-глинистые формы следует отнести:

- универсальность процесса, т.е. возможность получать отливки из любых сплавов, любых размеров и массы, любой геометрической сложности в условиях индивидуального, серийного или массового производства;
- низкая стоимость литья;
- высокая производительность – до 180-240 форм в час (на опочных автоматических линиях) и до 500 форм в час (безопочная формовка);
- возможность механизации (литейные конвейеры) и полной автоматизации процесса (автоматические литейные линии).

К недостаткам процесса относятся:

- большой объём применяемых вспомогательных материалов, что влечёт за собой необходимость в значительных производственных площадях и в специальном оборудовании для их переработки;
- большой объём отходов (нерешённость вопросов экологии);
- недостаточные точность и качество поверхности отливок, и как следствие – большие потери металла в стружку;
- пониженные механические свойства металла при производстве толстостенных отливок (из-за пониженной скорости затвердевания);
- неблагоприятные условия труда в литейном цехе.

«Специальные способы литья

Специальные способы литья по сравнению с литьём в песчаные формы обеспечивают большую точность отливок, повышают качество поверхности, снижают припуски на механическую обработку. Некоторые из них

позволяют резко сократить или ликвидировать потребность в формовочных и стержневых материалах, улучшить условия труда. Стоимость деталей, как правило, уменьшается. Однако в некоторых случаях стоимость литых заготовок может повышаться. Общий объём производства литых заготовок специальными способами литья в машиностроении не превышает 15%.»[12]

2.2 Литьё по выплавляемым моделям

При этом способе расплавленный металл заливают в многослойные неразъемные тонкостенные керамические формы, изготовленные по выплавляемым моделям. Этим способом отливают сложные, но небольшие по массе детали и заготовки из углеродистых и легированных сталей, твёрдых сплавов, сплавов на основе титана, меди и алюминия. Неразъемную литейную форму изготавливают по неразъемной модели из легкоплавкого материала (парафин, стеарин, церезин) путём многократного погружения в жидкую огнеупорную суспензию с последующей обсыпкой кварцевым песком и подсушкой на воздухе (или в атмосфере аммиака), после чего модель из формы выплавляют и в образовавшуюся полость заливают расплавленный металл.

Технологический процесс изготовления отливки по выплавляемым моделям включает:

Первый этап (выплавить жидкий металл) определяется, как правило, видом заливаемого сплава. Для черных сплавов в большинстве случаев применяют индукционную плавку в печах высокой или промышленной частоты, для легкоплавких цветных сплавов – возможно применение электропечи сопротивления. Специфическим для рассматриваемого ТП является второй этап – изготовить форму по выплавляемым моделям.

«Второй этап включает шесть основных операций: изготовить модель из легкоплавкого материала, изготовить модельный блок, образовать

огнеупорную многослойную оболочку, выплавить модельный состав из формы, прокалить форму.»[12]

«Третий этап ТП – залить металл в форму. После прокалки форму извлекают из печи и без охлаждения заливают расплавленным металлом. Заливка металла в раскаленные формы способствует получению тонкостенных отливок сложной геометрической формы. Возможна заливка форм центробежным способом.»[12]

«Четвертый этап – выдержать металл в форме для затвердевания и охлаждения. Заливка осуществляется ручными ковшами небольшой емкости.

Пятый этап – выбить блок отливок из формы. После затвердевания и охлаждения отливок в форме контейнер переворачивают, песок возвращают для повторного использования, блок отливок с керамикой окончательно охлаждают.»[12]

«Шестой этап выполнить финишную обработку. Она включает отбивку керамики, отделение литников, выщелачивание остатков керамики, промывку в горячей воде, сушку, термообработку, зачистку, контроль отливок. Керамику от отливки отделяют на виброустановках, однако на некоторых поверхностях и в отверстиях керамика остается. После этого отливки отделяют от литниковой системы и помещают в расплав щелочи для окончательного удаления остатков керамики (время выщелачивания до 3-х часов). Очищенные отливки промывают горячей водой, высушивают, зачищают заусенцы и остатки литниковой системы, подвергают окончательному контролю.»[12]

2.3 Литье в оболочковые формы

Литье в оболочковые формы целесообразно применять при серийном и крупносерийном производстве отливок ограниченных размеров с повышенной чистотой поверхности, большей размерной точностью и

меньшим объемом механической обработки, чем при литье в песчаные формы.

«Оболочковые формы изготавливают по горячей (250—300 °С) металлической (сталь, чугун) оснастке бункерным способом. Модельную оснастку выполняют по 4-5-му классам точности с формовочными уклонами от 0,5 до 1,5 %. Оболочки делают двухслойными: первый слой из смеси с 6—10 % терморезистивной смолы, второй из смеси с 2 % смолы. Для лучшего съема оболочки модельную плиту перед засыпкой формовочной смеси покрывают тонким слоем разделительной эмульсии (5 % силиконовой жидкости № 5; 3 % хозяйственного мыла; 92 % воды).»[28]

«Для изготовления оболочковых форм применяют мелкозернистые кварцевые пески, содержащие не менее 96 % кремнезема. Соединение полуформ осуществляют склеиванием на специальных штыревых прессах. Состав клея: 40 % смолы МФ17; 60 % маршалита и 1,5 % хлористого алюминия (катализатор твердения). Заливку со бранных форм производят в контейнерах. При литье в оболочковые формы применяют такие же литниковые системы и температурные режимы, как и при литье в песчаные формы.»[28]

«Малая скорость кристаллизации металла в оболочковых формах и меньшие возможности для создания направленной кристаллизации обуславливают получение отливок с более низкими свойствами, чем при литье в сырые песчаные формы.»[23]

2.4 Литье под низким давлением

«Сущность этого способа состоит в том, что расплав из раздаточной печи под давлением воздуха или газа поднимается по опущенному в расплав металлопроводу в форму, обычно металлическую, установленную на крышке печи и имеющую стержень. После затвердевания отливки давление в тигле уменьшают, выпуская газ из установки в атмосферу. Остатки расплава из

металлопровода сливают в тигель. Под низким давлением отливают детали из алюминиевых, магниевых, медных сплавов, реже из стали. При этом способе литья значительно сокращается расход металла на литники и возрастает выход годного.»[6]

«Особенности формирования отливки.»[6]

«Для получения качественной отливки необходимо заполнять форму сплошным потоком расплава при небольших скоростях, что исключает образование в отливках газовых раковин, попадание в отливку оксидных плен. Однако малые скорости расплава при литье тонкостенных отливок могут привести к не заполнению формы, поэтому важно согласовывать гидродинамические и тепловые режимы заполнения формы. При литье под низким давлением возможно создание последовательного затвердевания отливки. Через нижнее сечение полости формы, расположенное ближе к металлопроводу, проходит большее количество расплава, чем через расположенное сверху, что увеличивает разницу температур в нижних и верхних частях отливки. Поэтому массивные части отливки, требующие питания при затвердевании, располагают внизу формы, соединяя их массивными литниками с металлопроводом; сверху располагают части отливки, не требующие питания.»[6]

«Статическое давление на отливку при затвердевании способствует тому, что корочка твердого металла прижимается к форме, улучшаются условия передачи теплоты, благодаря чему скорость затвердевания возрастает, отливки получаются более плотными.»[6]

«Формы. Наиболее широко применяют металлические формы, а для изготовления отливок со сложными полостями используют песчаные и оболочковые стержни. Эти стержни должны иметь достаточную прочность, чтобы выдержать давление жидкого металла; конструкция знаковых частей стержня должна полностью исключать перемещение последнего под действием металла. Форма должна иметь хорошую вентиляционную систему для быстрого удаления воздуха и газов при заливке.»[6]

«Основными преимуществами процесса литья под низким давлением являются: автоматизация трудоемкой операции заливки формы; возможность регулирования скорости потока расплава в полости формы изменением давления в камере установки, что важно для улучшения заполнения форм тонкостенных отливок; улучшение питания отливки, что повышает ее плотность, благодаря избыточному давлению на расплава при его кристаллизации; снижение расхода металла на литниковую систему, так как незатвердевший расплав из металлопровода сливается в тигель, что повышает коэффициент выхода годного (во многих случаях до 90 %).»[6]

«Наряду с указанными преимуществами способ литья под низким давлением имеет недостатки: невысокая стойкость части металлопровода, погруженной в расплав, что затрудняет использование способа литья для сплавов с высокой температурой плавления — чугуна и стали; сложность системы регулирования скорости потока расплава в форме, вызванная динамическими процессами, происходящими в установке при заполнении ее камеры воздухом, нестабильностью утечек воздуха через уплотнения, понижением уровня расплава в установке по мере изготовления отливок; возможность ухудшения качества сплава при длительной выдержке в тигле установки; сложность эксплуатации и наладки установок.»[6]

«Преимущества и недостатки способа определяют рациональную область его применения и перспективы использования. Литье под низким давлением наиболее широко применяют для изготовления сложных фасонных и особенно -тонкостенных отливок из алюминиевых и магниевых сплавов, простых отливок из медных сплавов и стали в серийном и массовом производстве. Причем очень часто создают и эксплуатируют специализированные установки для производства одной или однотипных деталей. При этом динамические характеристики системы изменяются незначительно, и процесс литья становится устойчивым.»[6]

«Особенности формирования отливки при литье под низким давлением.»[6]

«Заполнение форм расплавом при этом способе литья может осуществляться со скоростями потока, которые можно регулировать в широком диапазоне. Для получения качественных отливок предпочтительно заполнять форму сплошным потоком, при скоростях, обеспечивающих качественное заполнение формы и исключающих захват воздуха расплавом, образование в отливках газовых раковин, попадание в них окисных плен и неметаллических включений. Однако уменьшение скорости потока, необходимое для сохранения его сплошности, может вызвать преждевременное охлаждение и затвердевание расплава, т. е. до полного заполнения формы. Поэтому, как и в других литейных процессах, важно согласовывать гидравлические и тепловые режимы заполнения формы расплавом.»[6]

«Установка литья под низким давлением, включающая тигель с расплавом, камеру, металлопровод, форму с литниковой системой и системой вентиляции, трубопроводы для подачи воздуха и приборы регулирования подачи воздуха (вентили, клапаны, дроссели, регуляторы), в процессе работы представляют собой сложную динамическую систему. Изменение каждого из параметров этой системы влияет на скорость движения расплава в форме. В течение одного рабочего цикла установки понижается уровень расплава в тигле, что вызывает увеличение объема: рабочего пространства камеры и уменьшение массы и глубины расплава в тигле. Изменяются также давление воздуха в камере установки и его температура и другие параметры системы. По мере производства отливок от цикла к циклу работы уменьшаются масса расплава в тигле и его уровень, объем рабочего пространства камеры установки, что также изменяет скорость движения расплава в форме.»[6]

«В зависимости от сочетания конструктивных и пневматических параметров установки движение расплава в металлопроводе и литейной форме при заполнении может происходить как при возрастающей скорости потока, так и при колебательном ее изменении. Колебательный характер

изменения скорости отрицательно; влияет на качество отливок, поэтому конструкция установки и режимы работы ее пневмосистемы, а также конструкция вентиляционной системы. Формы должны способствовать гашению колебаний скорости.»[6]

«Основными конструктивными параметрами установки литья под низким давлением являются: объем рабочего пространства камеры, площадь поперечного сечения отверстия меаллопровода, площадь зеркала расплава в тигле.»[6]

«Увеличение объема рабочего пространства камеры установки увеличивает скорость потока, способствует гашению колебаний, но полностью их не исключает.»[6]

3 ПОДГОТОВКА ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ

3.1 Выбор программы для литья

Моделирование литейных процессов прошло долгий путь с начала 1980-х, когда инженеры, использовавшие моделирование, были ограничены необходимостью упрощения полной модели до простых двухмерных сечений. В самом начале акцент был сделан на простом определении тепловых узлов в отливках. В процессе появления систем автоматизированного проектирования (САПР) и развития программ компьютерного моделирования, технологам-литейщикам стало доступно быстрое изменение литниково-питающих систем для устранения потенциальных дефектов с относительной лёгкостью. Сегодня «[ProCAST](#)» обеспечивает полностью связанное моделирование тепловой, гидродинамической задачи и напряженно деформированного состояния для всех литейных процессов и сплавов, включая определение дефектов, остаточных напряжений, деформаций изделия, микроструктуры и механических свойств отливки. Данное решение также позволяет решать задачи смежных производственных процессов, таких как пескострельное изготовление песчаных стержней и термообработку.

На сегодняшний день, в промышленности «ProCAST» считается наиболее мощным, комплексным и точным решением для моделирования литейных процессов. «ProCAST» до сих пор ценят не только первые пользователи, которые выбрали его в начале развития продукта (General Electric, PCC Airfoils, Rolls Royce, Amcast Automotive (сейчас General Aluminum) и Howmet (сейчас подразделение Alcoa)), но и многие другие более 1000 предприятий внедрили ProCAST за это время!

Используя преимущества более мощных и быстрых компьютеров, моделирование в ProCAST возможно распределить по нескольким ядрам,

процессорам или даже компьютерам, сократив время расчета с недель и дней до часов и минут. В 2012 году ProCAST перешел в среду Visual Environment с удобным и эффективным графическим пользовательским интерфейсом. Доктор Анттон Мелендес, пользователь ProCAST с более чем 20 летним стажем. Который в настоящее время является руководителем проекта литейного и сталеплавильного производства в Испании. Заметил, что из всех разработок за последние 20 лет переход к [Visual Environment](#) является одним из самых больших и наиболее значимых улучшений. Данная платформа дает возможность пользователям повысить производительность, работая в общей среде для всех этапов задачи: от пре и пост обработки до создания сетки и визуализации результатов.

В 2006 году ProCAST получил награду [Frost Sullivan Technology Leadership](#) в области компьютерного моделирования за его вклад в модернизацию проектирования литейных процессов. Несмотря на такое признание качества, цель ESI Group остаётся не изменой: помощь каждому пользователю в создании не превзойденной продукции. Если вы летали самолетом, водили машину, отапливали дом, мыли руки или даже проводили ленивые выходные за телевизором, тогда вы скорее всего уже почувствовали преимущества от пользования качественными изделиями, спроектированными с помощью ProCAST.

3.2 Разработка 3Д модели изделия

Был разработан чертеж изделия, как показано на рисунке 3.1

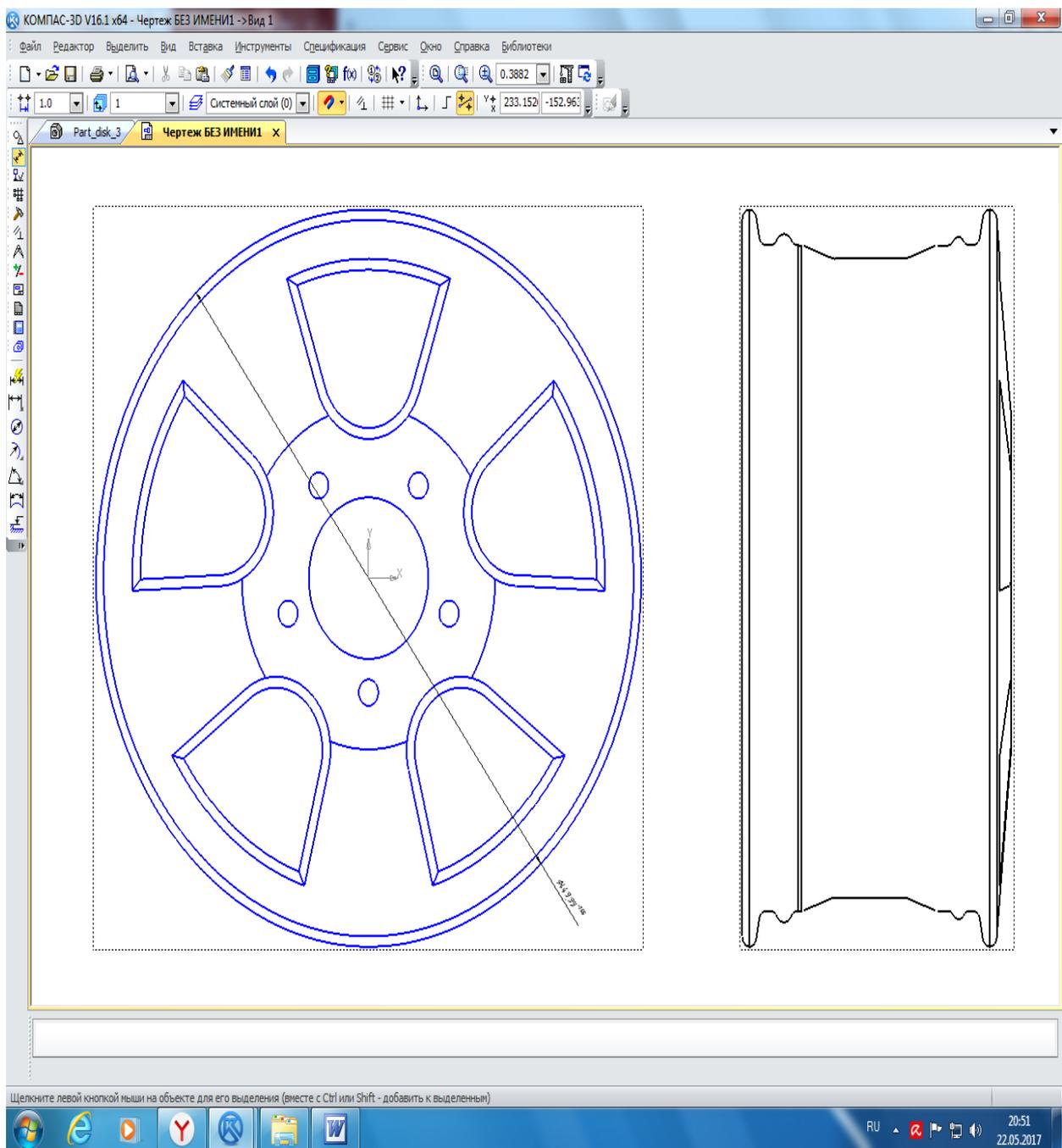


Рисунок 3.1

С помощью компас 3д создаем объемную модель.

Операцией выдавливание получаем заготовку нужного диаметра и высоты (рисунок 3.2).

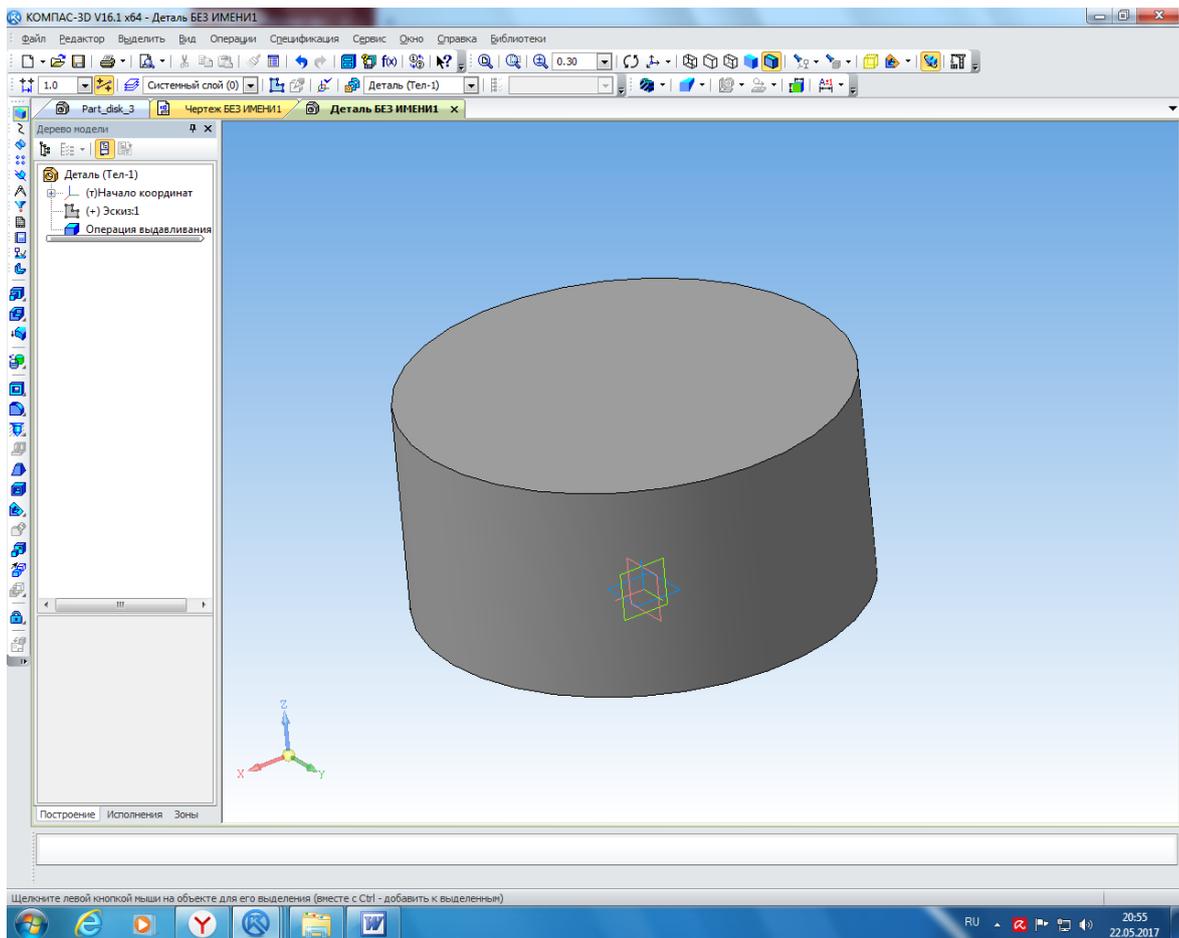


Рисунок 3.2

На эскизе добавляем внешний радиус диска и с помощью операции вырезание вращения получаем нужный (рисунки 3.3 и 3.4)

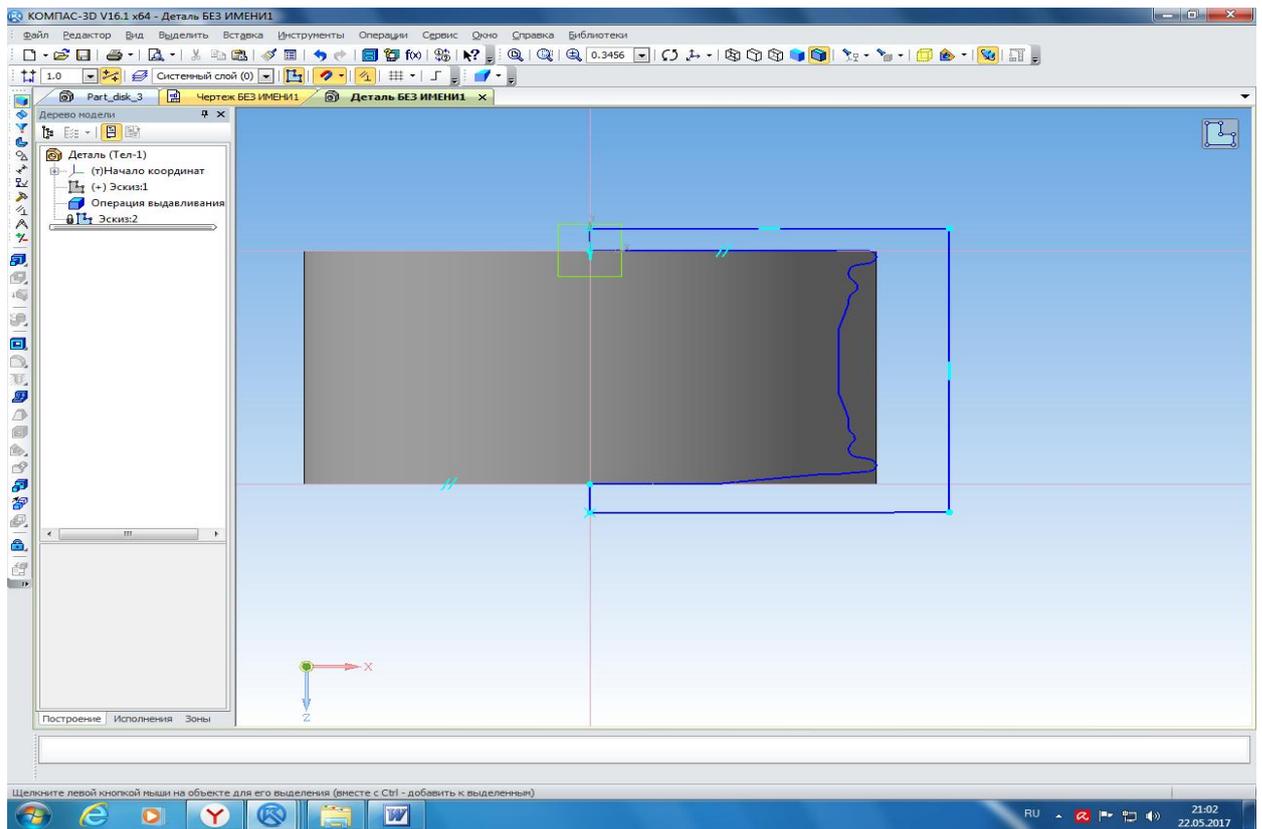


Рисунок 3.3

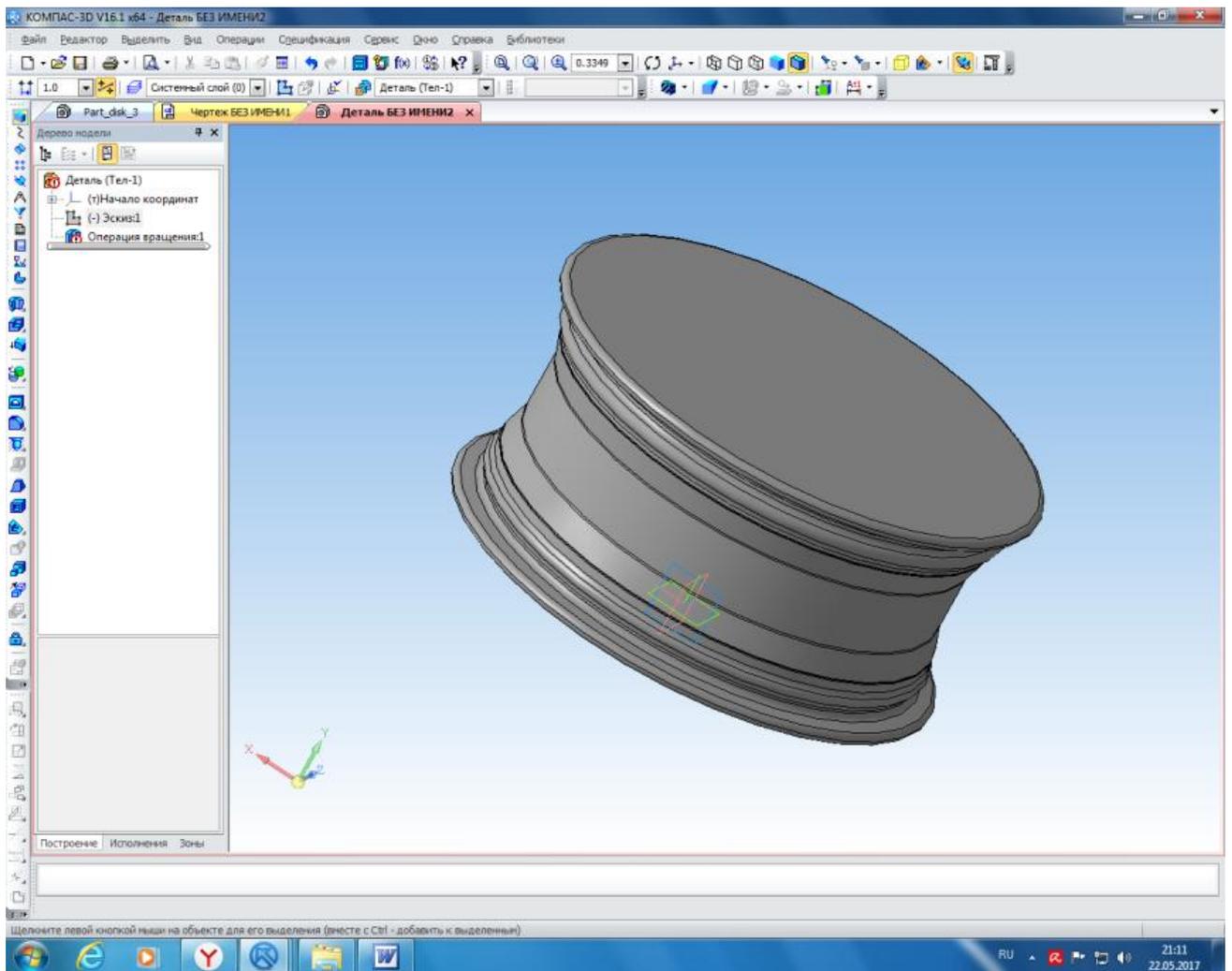


Рисунок 3.4

Следующим этапом является построение отверстий на изделии (рисунки 3.5 и 3.6).

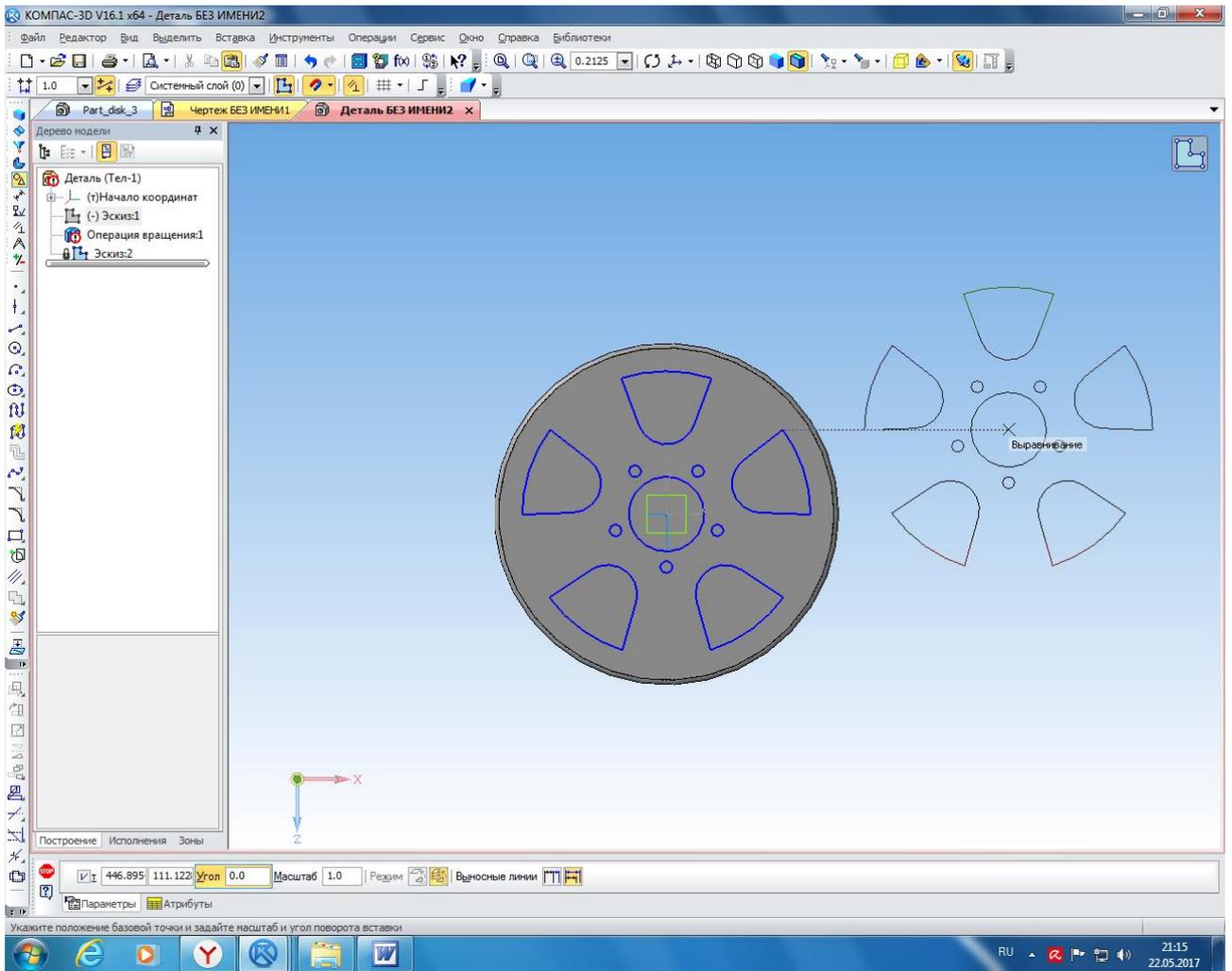


Рисунок 3.5

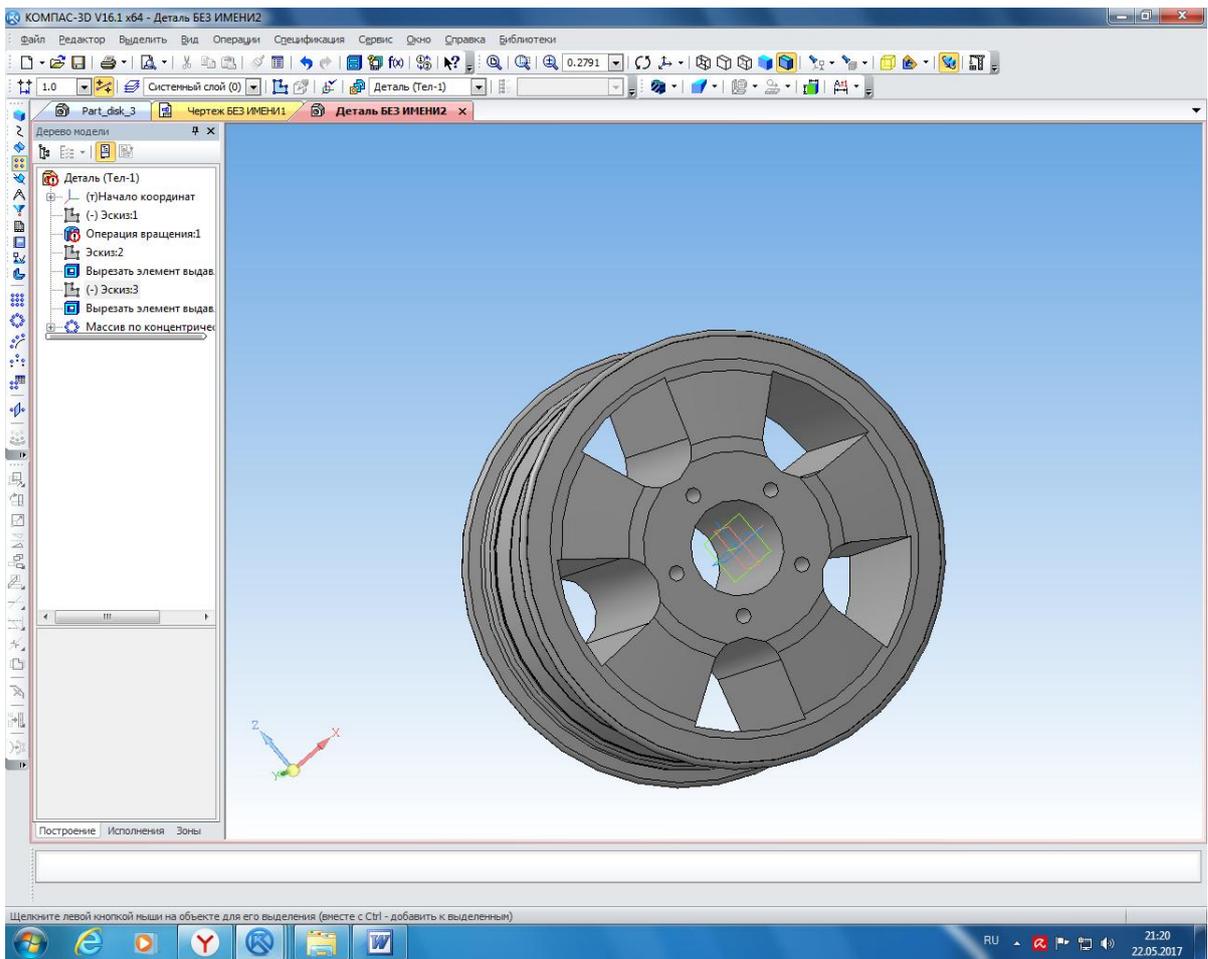


Рисунок 3.6

Заключительным этапом является построение внутреннего радиуса диска (рисунок 3.7).

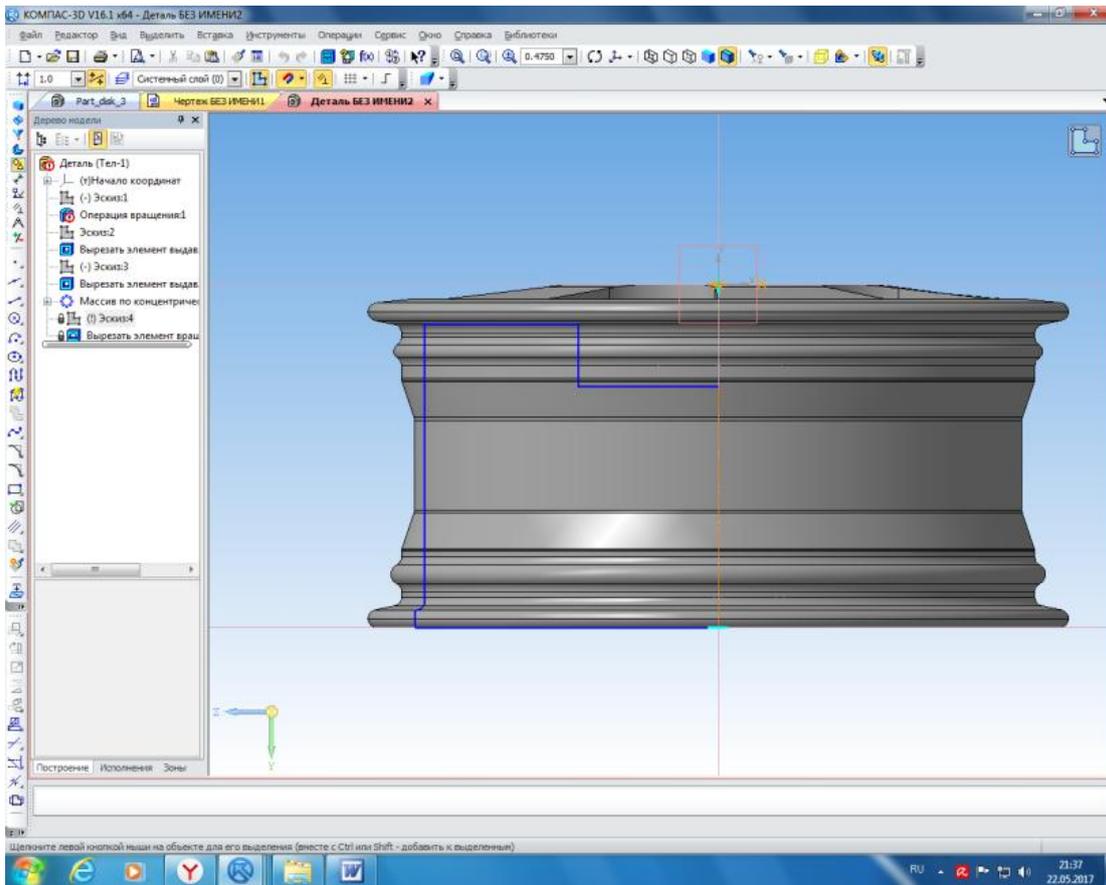


Рисунок 3.7

Операцией выдавливание вращением получаем окончательный вид изделия (рисунок 3.8).

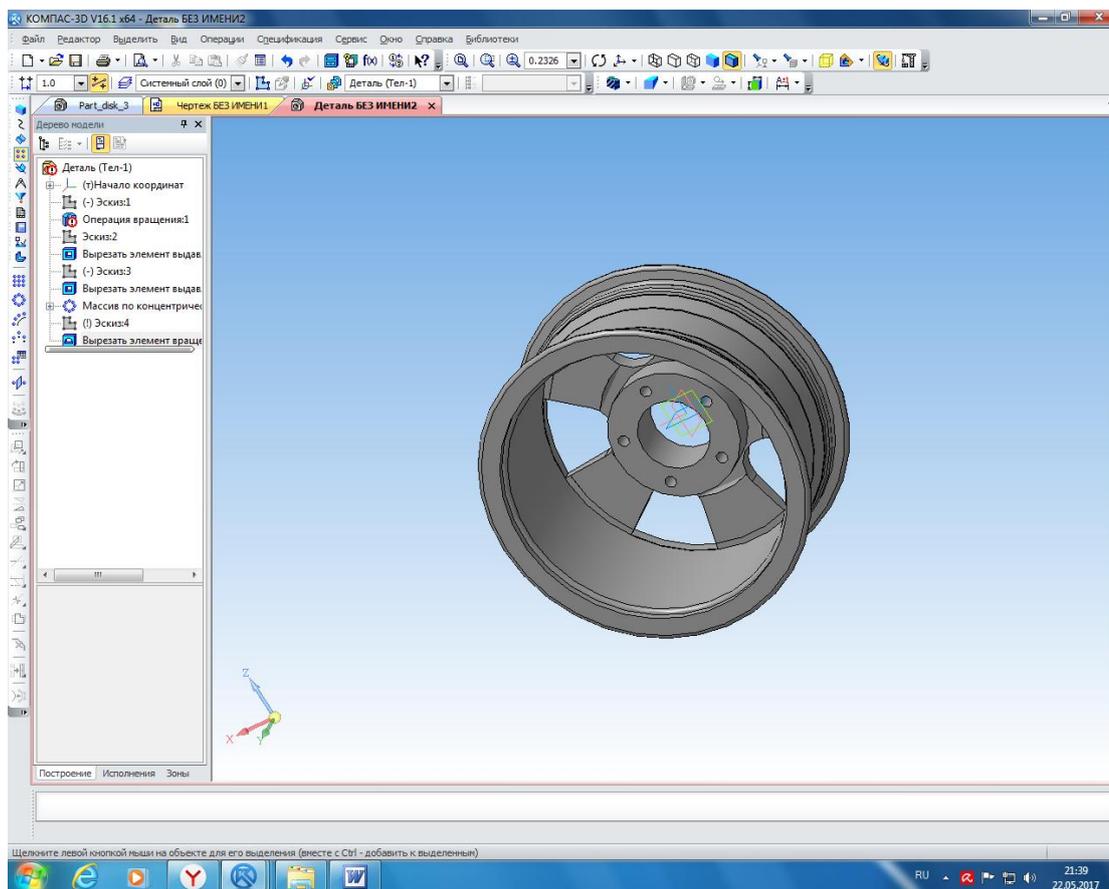


Рисунок 3.8

Создание 3д модели легкосплавного диска закончено.

Сохраните деталь в формате IGES file или Parasolid.

IGES (произносится: ай джес, Digital Representation for Communication of Product Definition Data (рус. цифровое представление для обмена данными определяющими продукт)) — двумерный/трехмерный векторный формат графики; используется многими САD-программами.

Parasolid коммерческое ядро геометрического моделирования, разрабатываемое и поддерживаемое Siemens PLM Software.

3.3 Моделирование 2д сетки

Перед тем как приступить к созданию сетки необходимо подгрузить нужные решатели для Procast.

Для этого открываем приложение и нажимаем функцию Application-Custom-select all-OK как показано на рисунке 3.9.

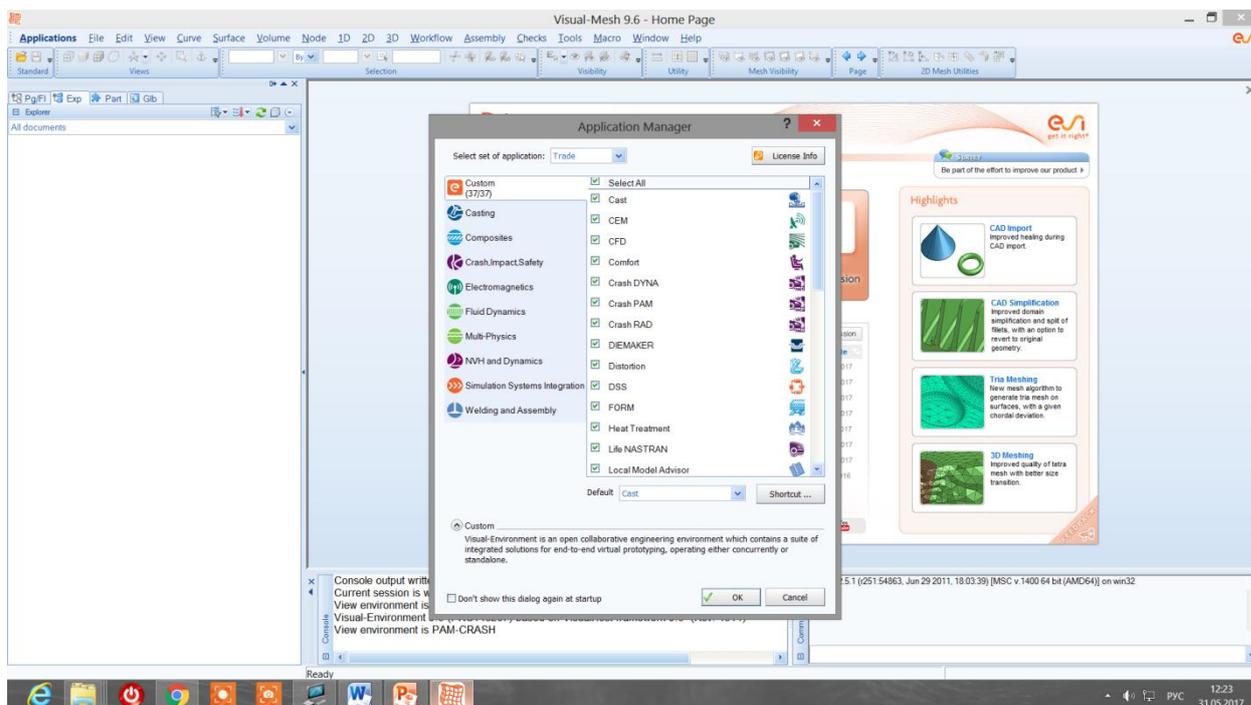


Рис. 3.9

Импорт детали в Procast (Visual-Mesh).

Visual-Mesh это полный инструмент для 2D и 3D зацеплений для Crash, NVH, термомеханических и других приложений. Это поддерживает много модельную много оконную среду с ModelExplorer и мощные элементы управления дисплеем. Он облегчает импорт данных САПР, создание 2D и 3D сетки, редактирование сетки и проверку сетки. Все операции с сеткой фиксируются в файле сеанса, который может быть повторно запущен или использован для построения процесса. Visual Mesh спроектирован с интуитивно понятным и гладким пользовательским интерфейсом с внешним видом Windows.

Формат должен быть Parasolid (*.x_t, *.x_b).

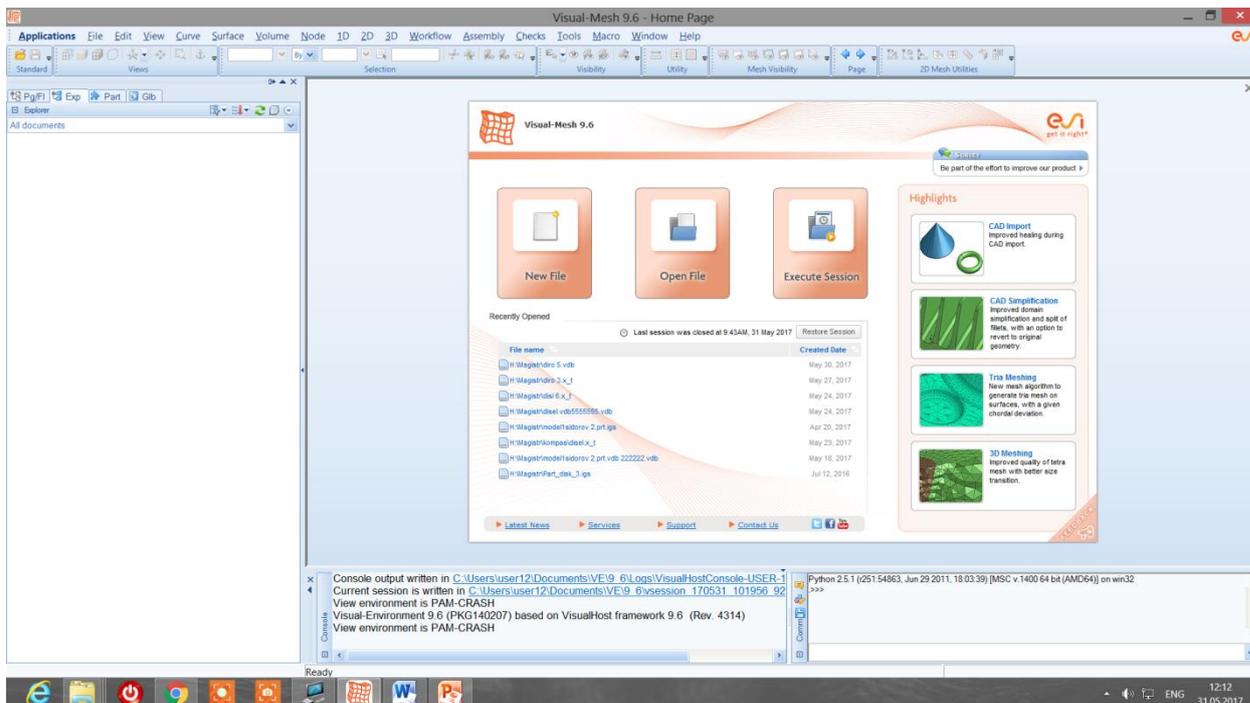


Рисунок 3.10

На рисунке 3.11 представлена модель легкосплавного алюминиевого диска.

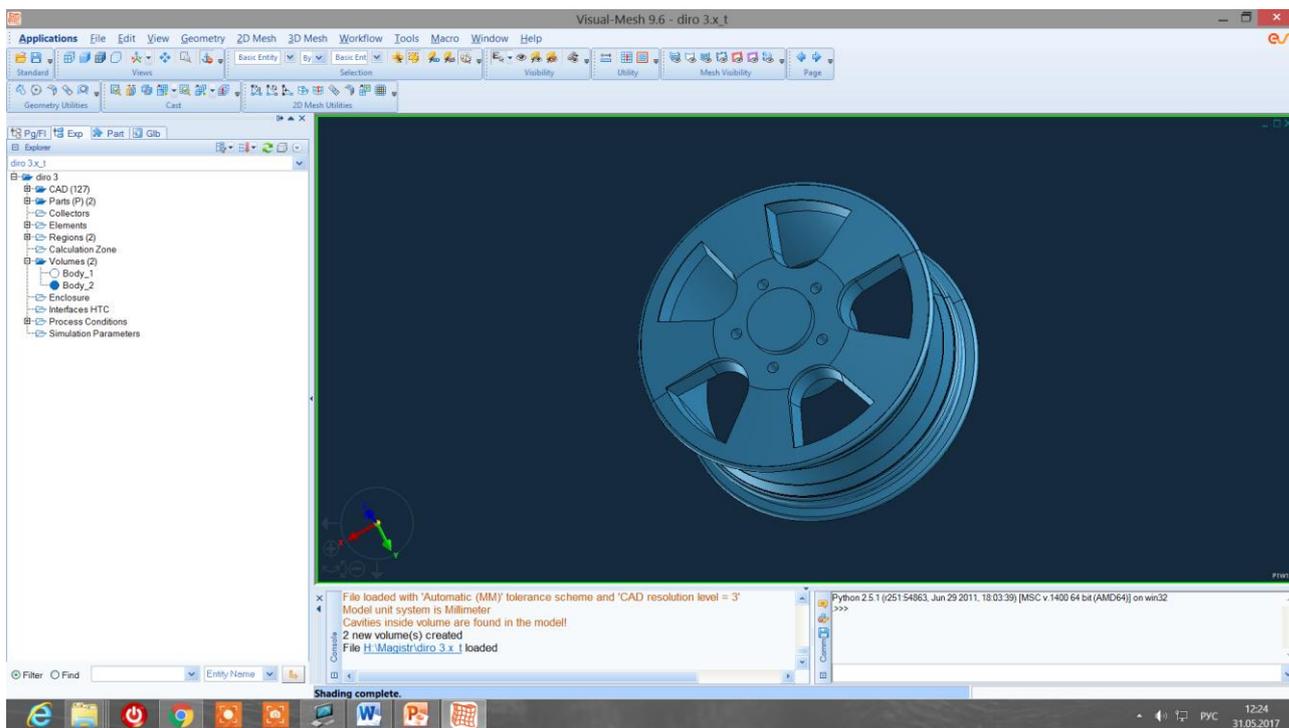


Рисунок 3.11

Для построение 2Д и 3Д сетки нужно зайти в меню Geometry Repair. Целью Repair является создание замкнутого объема или хорошо связанного листа поверхностей.

Диалоговое окно «Repair» облегчает ремонт указанных проблем автоматически, полуавтоматически и вручную. Все эти исправления выполняются на сшитой сетчатой топологии.

Идентификация и исправление проблем выполняется только в части. По всей части идентификации и коррекции пока не поддерживается. Проблемы между телами в разных частях могут быть решены путем перемещения тел на одну часть. Нажмите кнопку «Check», чтобы выявить проблемы во всех отображаемых сшитых поверхностях. На всех отображаемых поверхностях выявляются проблемы, и в консоли сообщается о количестве проблем. На данном этапе проблем не должно быть обнаружено. Далее закрываем окно Repair и открываем диалоговое окно Assembly (Stitch Volumes). Assembly (Stitch Volumes) переводится как сборка (Объемы стежков).

Цель Ассамблеи выявить перекрывающиеся зоны сшитых поверхностей / томов и объединить их, чтобы создавать подключенные тома. Диалоговое окно Assembly позволяет обнаруживать перекрывающиеся поверхности между сшитыми поверхностями / томами. Он обеспечивает интерфейс пользователя для обнаружения и удаления перекрывающихся поверхностей вручную, полуавтоматически или автоматически. Он имеет возможность удерживать или удалять перекрывающиеся поверхности между сшитыми поверхностями. На рисунке 3.12 показан пример сшивания отливки и формы.

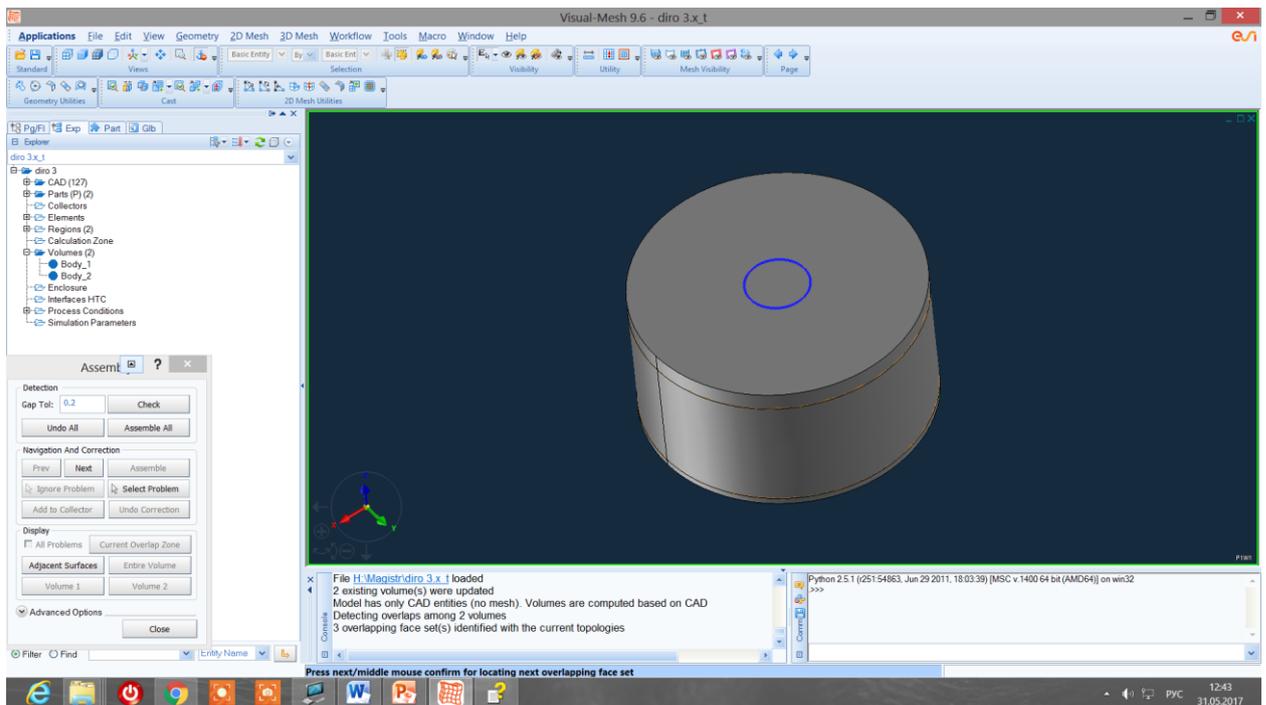


Рисунок 3.12

Для этого в открывшемся диалоговом окне нужно нажать последовательно кнопки Check и Assembly All. Это функция автоматически исправит все обнаруженные проблемы с помощью активных топологий и сошьет их в единое тело.

Далее приступаем к построению двумерной сетки.

Открываем 2D Toro Mesh в меню.

Основное требование здесь иметь очень хорошо связанный набор поверхностей. Там могут быть пробелы, могут быть неровные края (из за более высокого зазора), но подключение поверхностей должно быть таким, чтобы они не имели противоположных ориентаций.

Используя функции, доступные в диалоговом окне Toro Mesh, форма доменов может быть очень легко упрощена, чтобы получившаяся сетка была хорошей и соответствовала требуемому шаблону. Сгенерированная сетка всегда связана с гранями топологии, и всякий раз, когда редактируются некоторые грани, сетка автоматически удаляется. Состояние сетчатой топологии запоминается, даже если диалоговое окно Toro Mesh закрыто. Данные также могут быть сохранены и восстановлены на любом этапе во время упрощения.

Для построения сетки нажимаем функцию Edges groupе которая позлит нам создать несколько разных групп сеток с различными параметрами (в нашем случае это отливка и форма). Задаем значение отливка 6 и форма 16 далее нажимаем на функцию methodи выбираем Pave ждем на Mesh All Surfaces. Созданная сетка показана на рисунке 3.13.

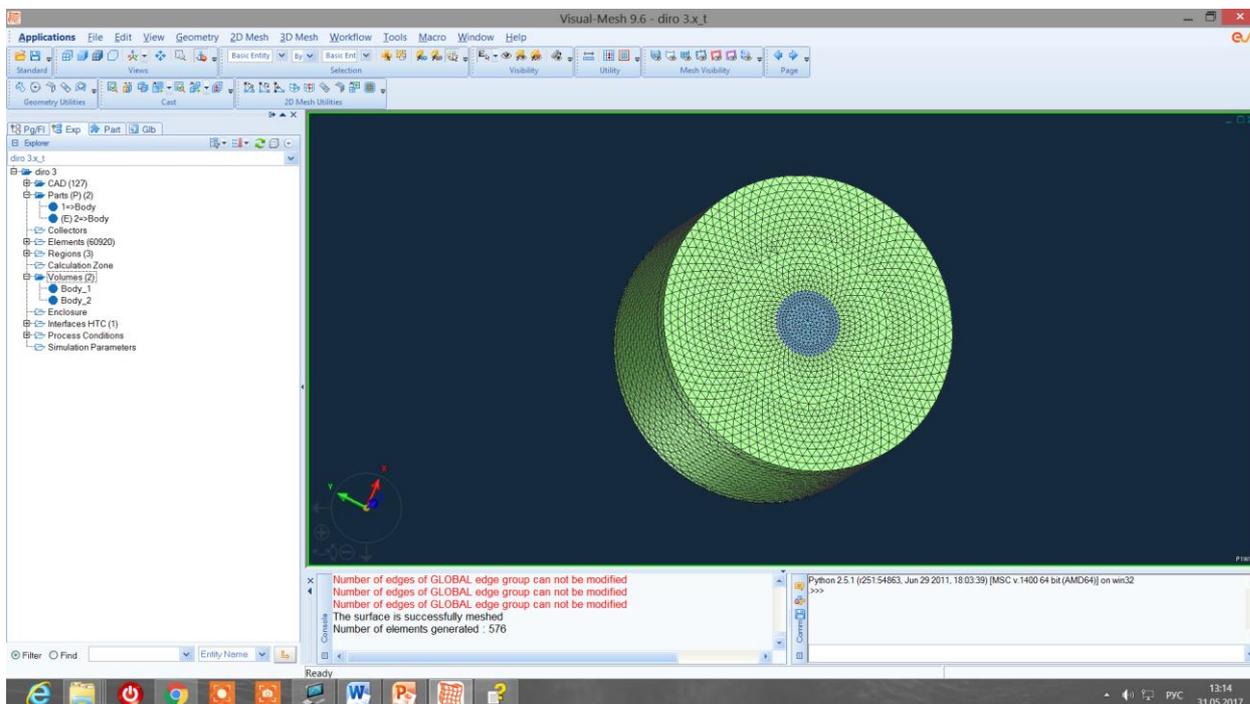


Рисунок 3.13

Следующая операция проверка сетки на ошибки для этого выбираем функцию

2D Mesh Check Surface Mesh.

В этом разделе описывается, как выявлять плохие модели моделирования в оболочковой сетке, которые необходимо исправить для тетра зацепления. Проблемами, которые можно идентифицировать, являются границы, трещины, перекрытия, пересечения, плохое качество и граничные совпадающие узлы. В нем также объясняется, как быстро исправить эти плохие конфигурации, чтобы создать чистую оболочку. Это поможет пользователю очистить поверхностную сетку, которая необходима прежде, чем создать 3D сетку. Для это нажмите кнопку «Check», чтобы определить проблемы в сетке. Все проблемные области вычисляются и подсвечиваются. По умолчанию опция «Показать сетку» отключена. Пока она выключена,

режим отображения будет изменен на режим линии линии, и когда эта опция будет включена, режим отображения будет начальным по умолчанию. На рисунке 3.14 показаны проблемные зоны детали.

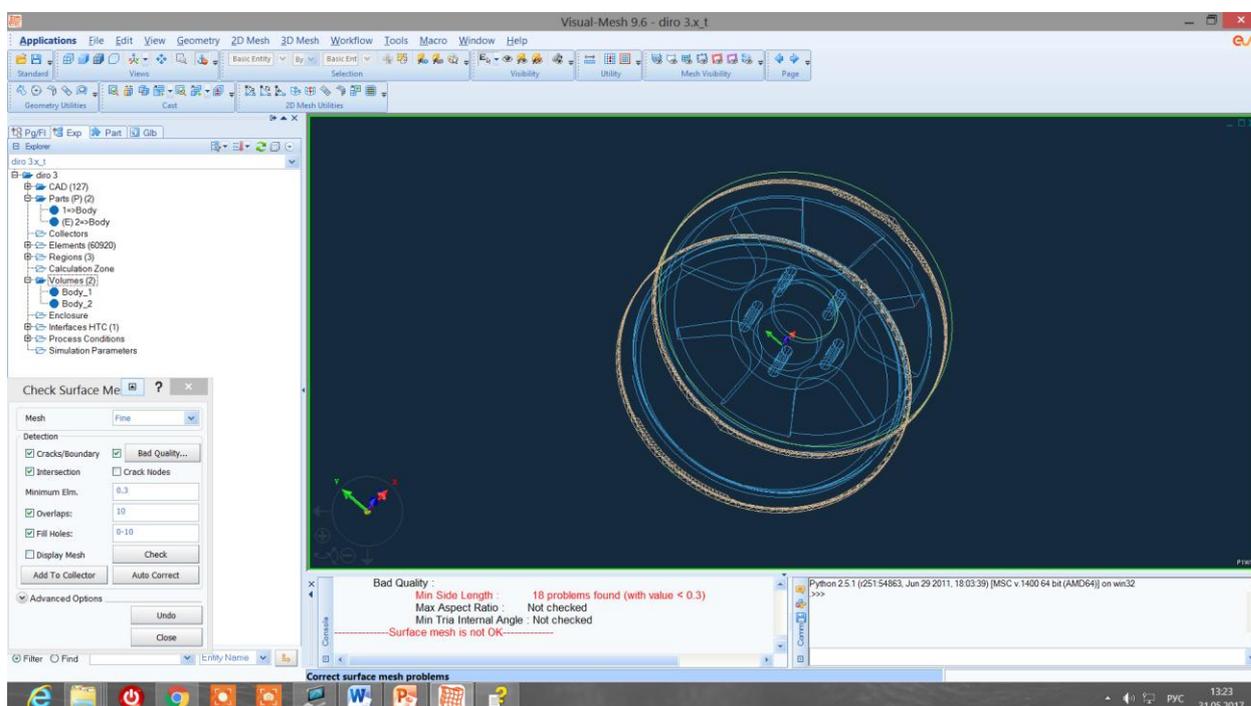


Рисунок 3.14

Для исправления используйте функцию autocorrect. После этой операции будет автоматически обновляться качество элемента и информация о границе. Автокоррекция будет выполнена по любой опции, выбранной в графическом интерфейсе. Сохраните конструкцию перед созданием 3D сетки.

3.4 Создание 3D сетки

Выберите 3D Mesh VolumeMesh.

Нажмите кнопку «Volume», чтобы выбрать 2D элементы или выбрать грани трехмерных элементов, как определение границ, для создания сплошной сетки. Если тома, определенные с использованием сетки, доступны в модели, тогда ES перечисляет объемы по умолчанию. В таком случае вы можете выбрать тома или изменить ES на ElementFaces и выбрать 2D сетку.

На рисунке 3.15 выбрана граница для создания объемной сетки.

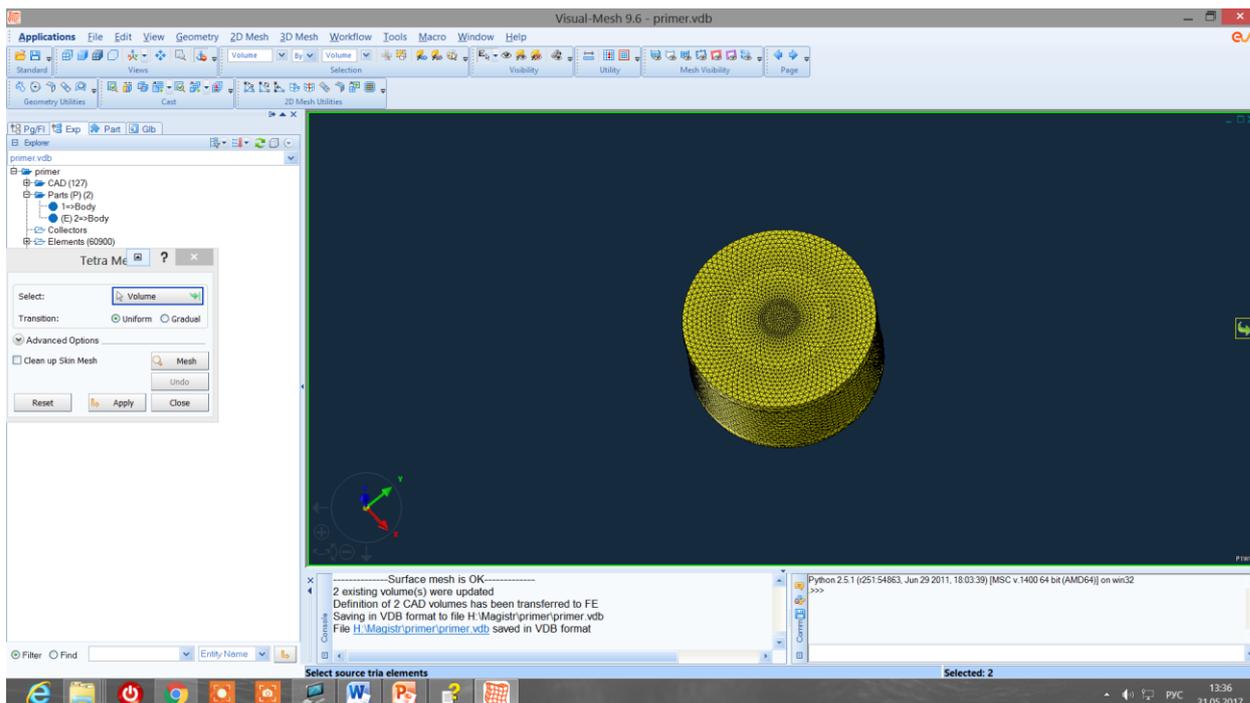


Рисунок 3.15

Нажмите кнопку Mesh, чтобы создать сетку tetra. Откроется диалоговое окно, показывающее ход сетки. В этом диалоговом окне указывается возможность остановки сетки в любое время.

На рисунке 3.16 показана готовая сетка.

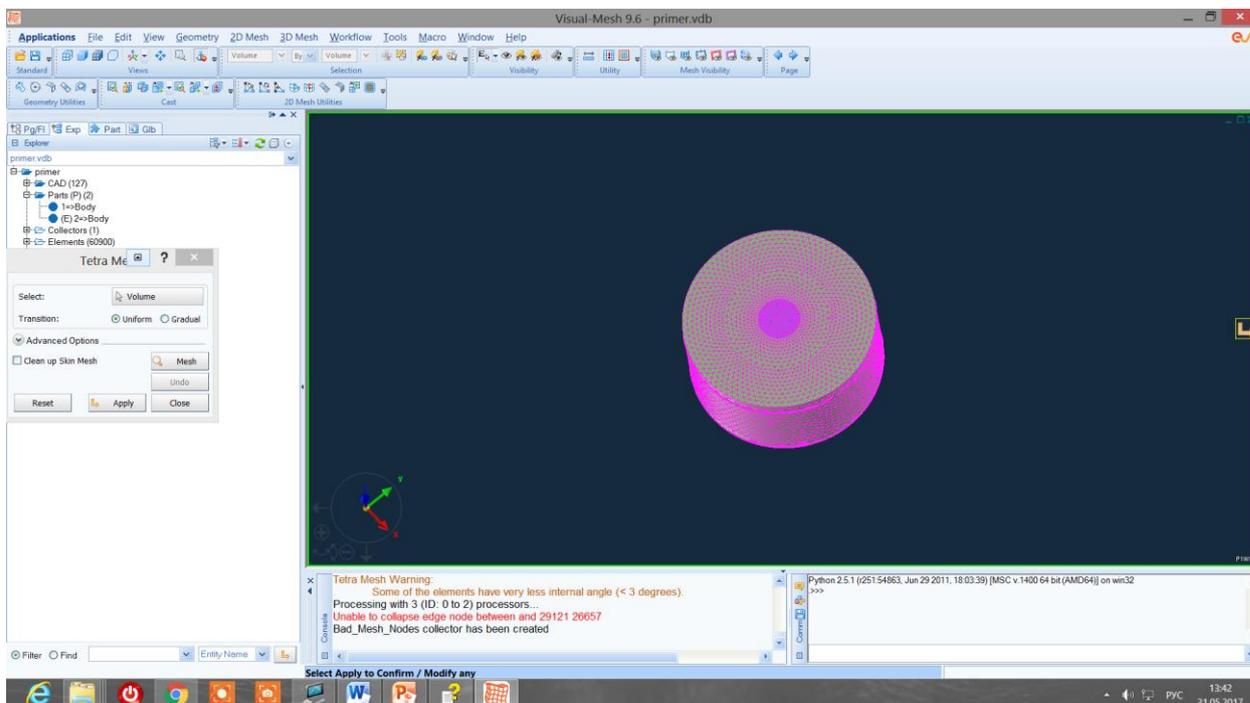


Рисунок 3.16

Экспортируйте сетку в формате ProCastVolumeMeshfiles(*.mesh) перед переходом в меню Cast.

3.5 Назначение граничных условий процесса

Visual Cast

Для этого переходим в меню Application Cast. Данный модуль нужен для создания ограничений литья.

Функция Volume Manager позволяет установить условия такие как температура, материал, уровень заполнения для детали при литье.

Задаем параметры формы:

Тип Пресс форма. Материал пресс формы должен быть установлен в «Mold». Это будет использоваться для расчета циклов (при литье под давлением), чтобы произвести расчет нагревания матрицы вовремя циклирования (то есть температура доменов формы не будет сбрасываться до начальной температуры в начале каждого цикла);

Материал Low Alloy EN 1.6587 18CrNiMo7-6 низколегированная сталь высокой прочности;

Уровень заполнения 100%;

Начальная температура 20 С (комнатная).

Параметры отливки:

Сплав: Материал литья должен быть установлен на «Alloy». Этот параметр необходим, в частности, для всех доменов, в которых происходит поток жидкости. Для расчета циклов начальные температуры доменов литья будут сброшены в начале каждого цикла;

Материал AlSi7Mg0,3 (A356);

Уровень заполнения 0%;

Начальная температура 700 С.

Не забывайте нажимать apply после назначения всех параметров.

На рисунке 3.17 показаны заданные параметры.

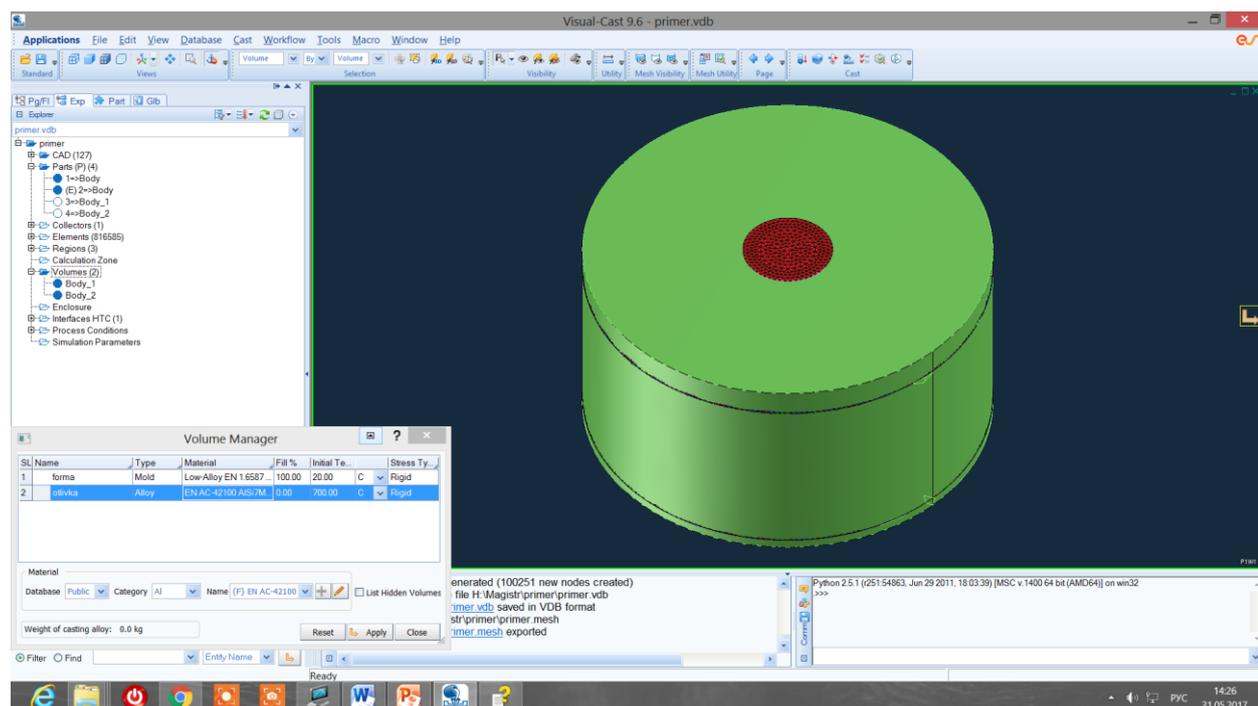


Рисунок 3.17

3.6 Назначение коэффициента теплопередачи

Interface HTC Manager. Коэффициент теплопередачи.

В интерфейсе HTC менеджера необходимо создать интерфейсы (EQUIV, NCOINC и COINC) между материальными доменами и присвоить коэффициенты теплопередачи. Интерфейсы автоматически вычисляются, если тома полностью распознаются. Интерфейс HTC менеджера можно открыть из главного меню Cast или двойным щелчком интерфейса HTC в проводнике. Интерфейс отображается только при нажатии в ячейке интерфейса диспетчера интерфейсов.

Параметр EQUIV: когда два домена являются частью одного и того же объекта (т. е. оба они принадлежат к литью с теми же свойствами материала, но по техническим причинам они разделены по отдельности), один из них устанавливает между ними «эквивалентность» (EQUIV). Это означает, что между этими двумя доменами будет непрерывный континуум, имеющий непрерывный профиль температуры по интерфейсу, а также непрерывное

поле скоростей. В этом случае узлы на интерфейсе разделяются элементами с обеих сторон. Этот вариант EQUIV можно также использовать, если в двух доменах имеются разные материалы, но материалы свариваются вместе (т. е. с общим ограничением между двумя материалами).

Опция COINC: при интерфейсе между двумя различными материалами, такими как литье и пресс-форма, обычно происходит падение температуры. В этом случае узлы на интерфейсе должны быть удвоены (для совпадающего интерфейса), чтобы иметь разную температуру на каждой стороне интерфейса. Так как во время генерации сетки на интерфейсе есть один узел, на данном этапе необходимо дублировать все интерфейсные узлы. Эта операция дублирования выполняется при выборе «COINC» (для «совпадающих узлов»). Интерфейс фактически имеет нулевую толщину.

Опция NCOINC: также возможно создать несоразмерную сетку (т. е. где элементы на обеих сторонах интерфейса не совпадают, а это означает, что они не используют одни и те же узлы), добавляя различные сетки (см. Раздел «Дополнительно» Раздел функций для более подробной информации о несоответствующих сетках). В этом случае нужно указать, что интерфейс не совпадает, с опцией «NCOINC».

Задаем опцию COINC и коэффициент теплопередачи $h=2000$ для нашей модели.

Как показано на рисунке 3.18.

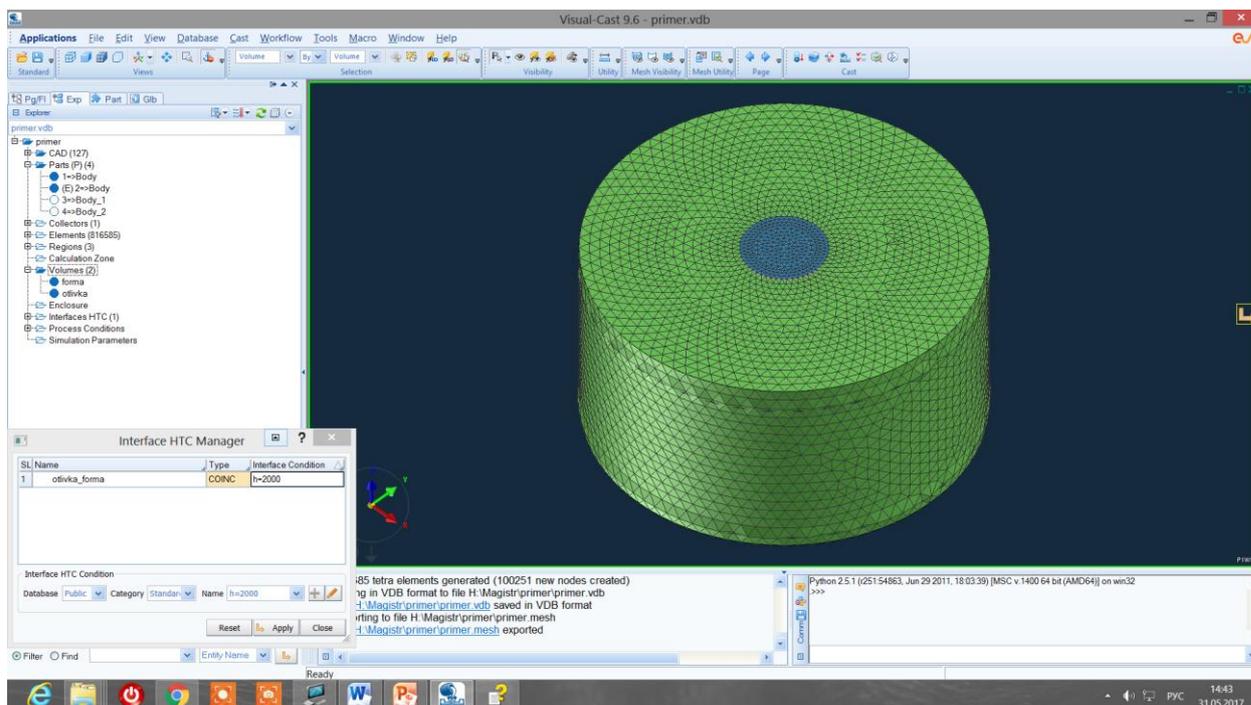


Рисунок 3.18

3.7 Диспетчер условий процесса

Process Condition Manager. Диспетчер условий процесса.

Все граничные условия могут быть созданы в менеджере условий процесса:

Process Condition Manager Состоит из 5 основных категорий, основанных на их физической значимости в использовании, и показаны на рисунке 3.19.

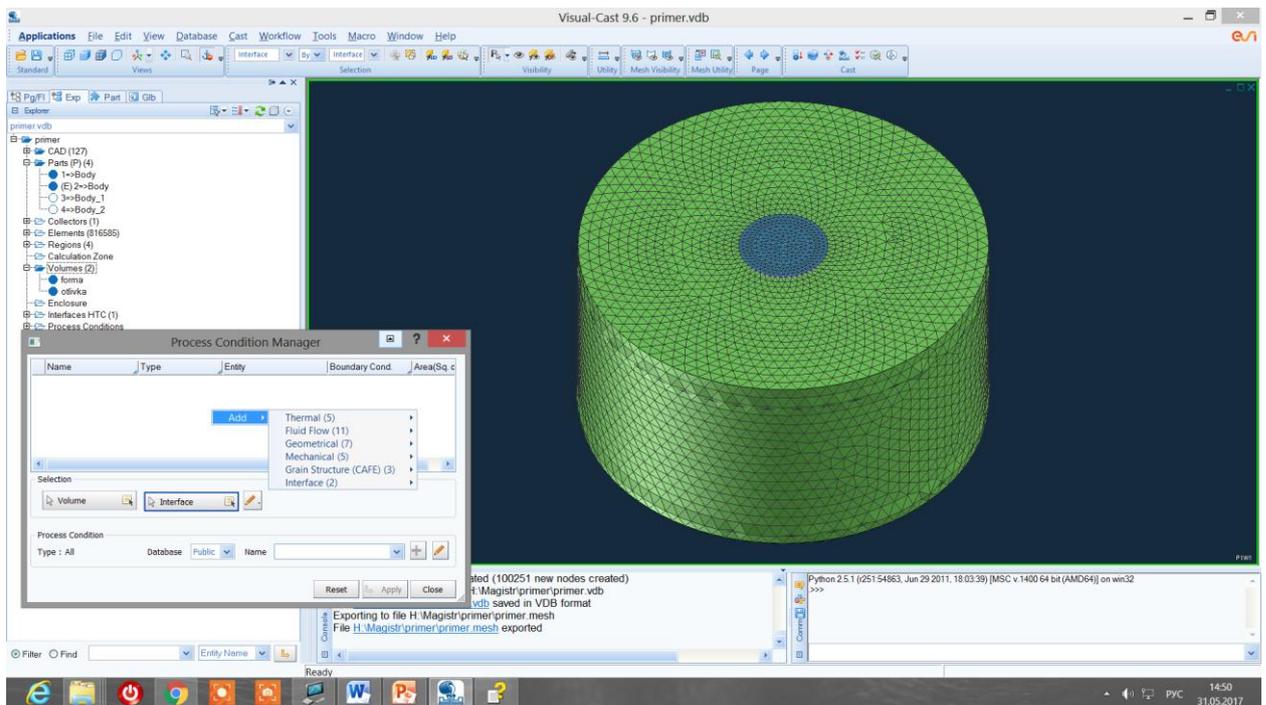


Рисунок 3.19

Thermal - тепловые параметры;
 Fluid flow - гидродинамические условия;
 Geometrical - геометрические условия;
 Mechanical - механические условия;
 Grain Structure (CAFE) - специальные условия (для расчета структуры зерна).

Задаем такие параметры как:

Heat - охлаждение внешней стенки воздухом;

Temperature - параметр заливки формы;

Velocity - параметр скорости заливки материала.

Как показано на рисунке 3.20.

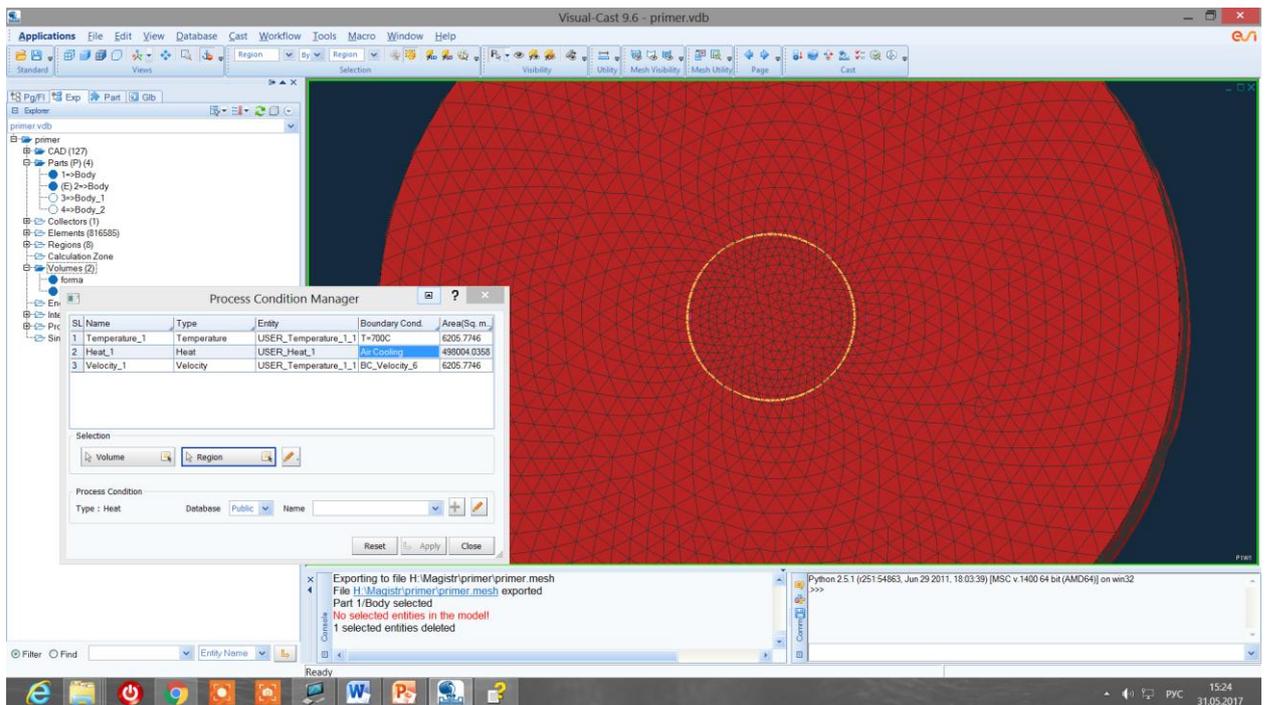


Рисунок 3.20

3.8 Рекомендации по моделированию

Simulation Parameters Recommendations. Рекомендации по моделированию.

ProCAST предоставляет доступ ко многим параметрам моделирования, чтобы обеспечить обработку всех ситуаций. Однако для повседневного использования необходимо установить или изменить только несколько параметров моделирования. В этом разделе представлены самые «популярные» параметры моделирования, которые должны быть установлены с предлагаемыми значениями для каждого основного семейства процессов. Эти рекомендации по параметрам могут несколько отличаться от предыдущих версий, поскольку алгоритмы решателя были изменены. Эти рекомендуемые параметры моделирования соответствуют тем, которые предварительно определены в окне «Предварительно определенные параметры моделирования». Таким образом, рекомендуется активировать «предварительно определенный» набор, соответствующий процессу, а затем установить соответствующие критерии остановки.

Как показано на рисунке 3.21.

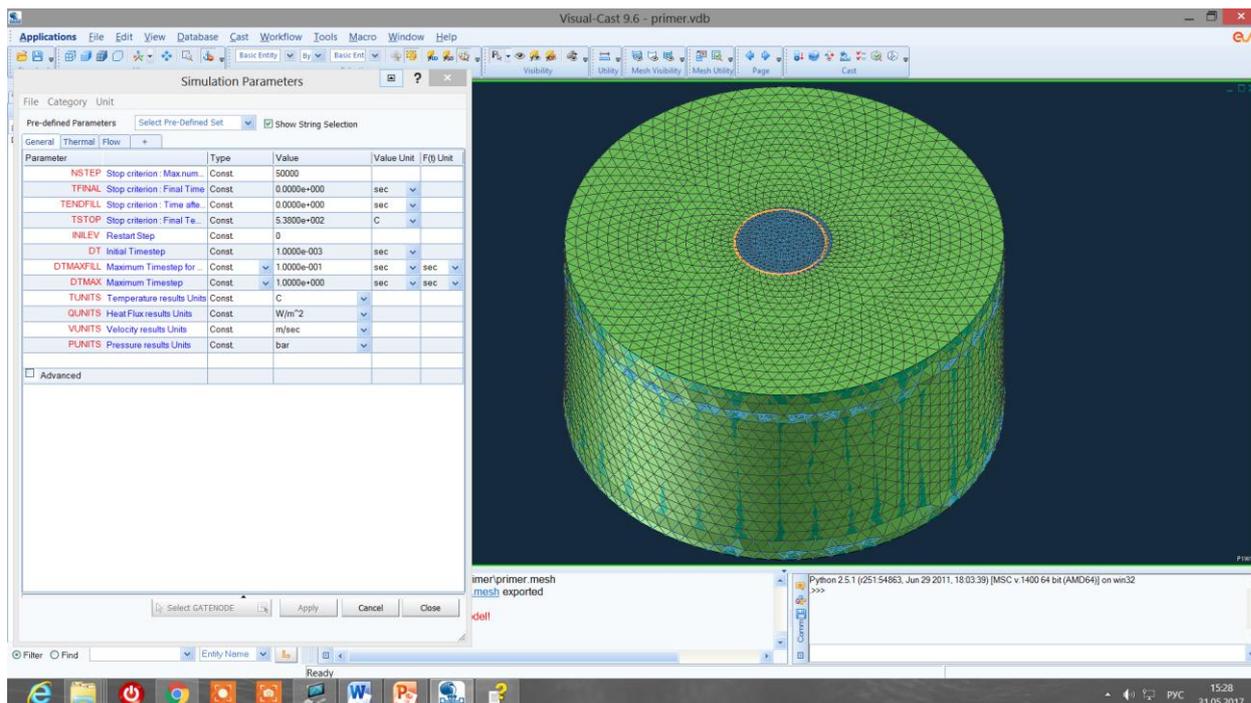


Рисунок 3.21

Мы выбираем режим литья под низким давлением.

Литье под низким давлением (LPDC)

Временная обработка

$DT = 1e-3$

$DTMAXFILL = 1e-2$ (важно ограничить временную отметку во время заполнения части LPDC). Значение $1e-2$ рекомендуется для времени заполнения около 5-20 с).

$DTMAX = 0,2 - 1$ (в зависимости от размера модели и, следовательно, времени затвердевания)

пористость

$PIPEFS = 0.0$

$GATEFEED = 1$

$GATEFS = 0, 7$

начинка

$WSHEAR = 0$ (никогда не использовать $WSHEAR = 2$ для LPDC)

$FREESFOPT = 1$

$WALLF = 0,9$

LVSURF = 1,

OPINLET = 1 для наполнения давлением или PINLET = 0 для
заполнения скорости / впуска.

3.10 Начало моделирования

Start Simulation. Начало моделирования.

Основные условия заданы, начинаем расчет литья.

Как показано на рисунке 3.22.

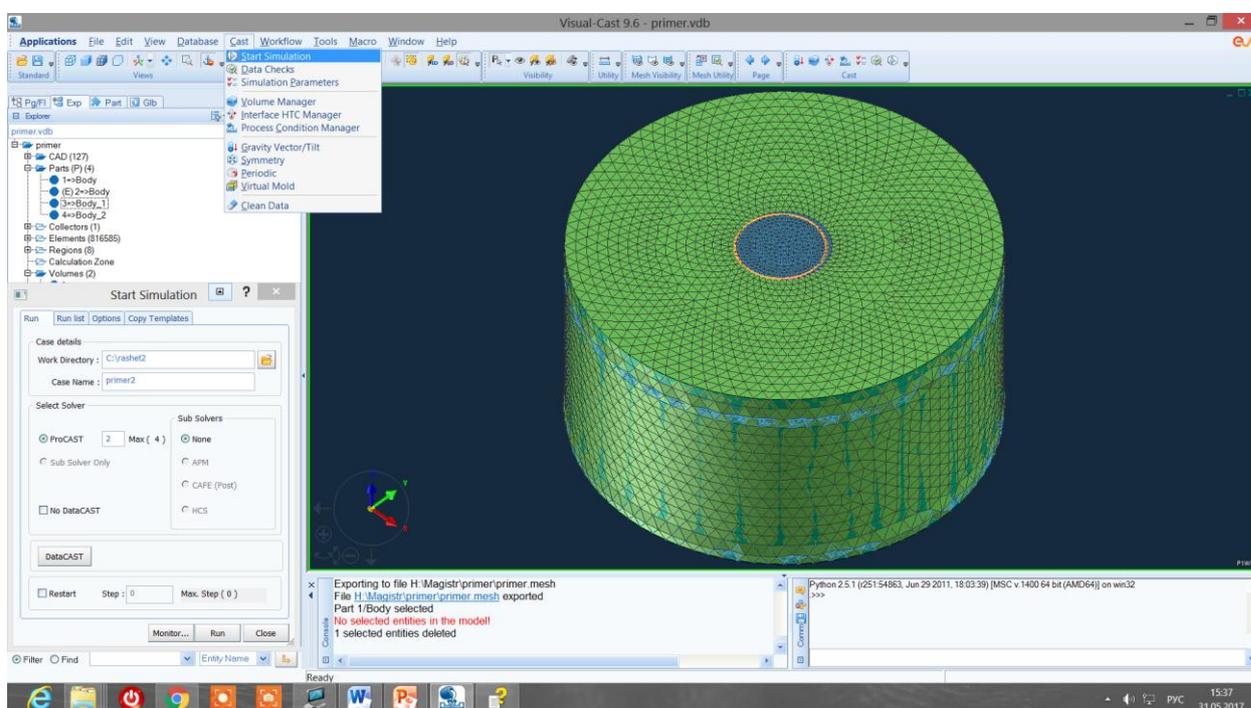


Рисунок 3.22

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ

4.1 Анализ результатов

ProCAST имеет не ограниченное количество осей в системе, количество узлов и элементов в сетке, калькулятор термодинамических свойств материалов, все результаты могут быть проанализированы и показаны, в режиме реального времени. Программный комплекс состоит из 3 модулей (Mesh CAST, ProCAST solver, ViewCAST). Все эти модули нужны для подготовки изделия к расчету процесса заливки и кристаллизации...»[38]«Поскольку о самом расчете в ProCAST писать особенно нечего, сразу переходим к просмотру результатов. Модуль постпроцессора ViewCAST обладает разнообразным функционалом и предоставляет пользователю всю необходимую информацию в виде полей (температура, пористость и т.д.), векторов (скорости, тепловые потоки) и графиков.»[38]

4.2 Распространение температуры в отливке

Большинство литейных дефектов формируется в процессе затвердевания отливки после полного заполнения. Соответственно расчет процессов образования усадочных дефектов, прогноз структурных параметров, механических свойств и т.п. связан с совмещенным решением тепловой задачи и задачи образования данного дефекта. Совмещенный расчет предполагает учет взаимного влияния процесса образования дефекта и теплового процесса друг на друга. Однако, достаточно часто, именно кинетика затвердевания и тепловые поля определяют ход совместного процесса, а не наоборот. В связи с этим важным этапом проектирования

технологии является не только анализ конечного результата, но и анализ тепловых полей в процессе затвердевания.

Процесс распределения температур металла в отливке показан на рисунках 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5.

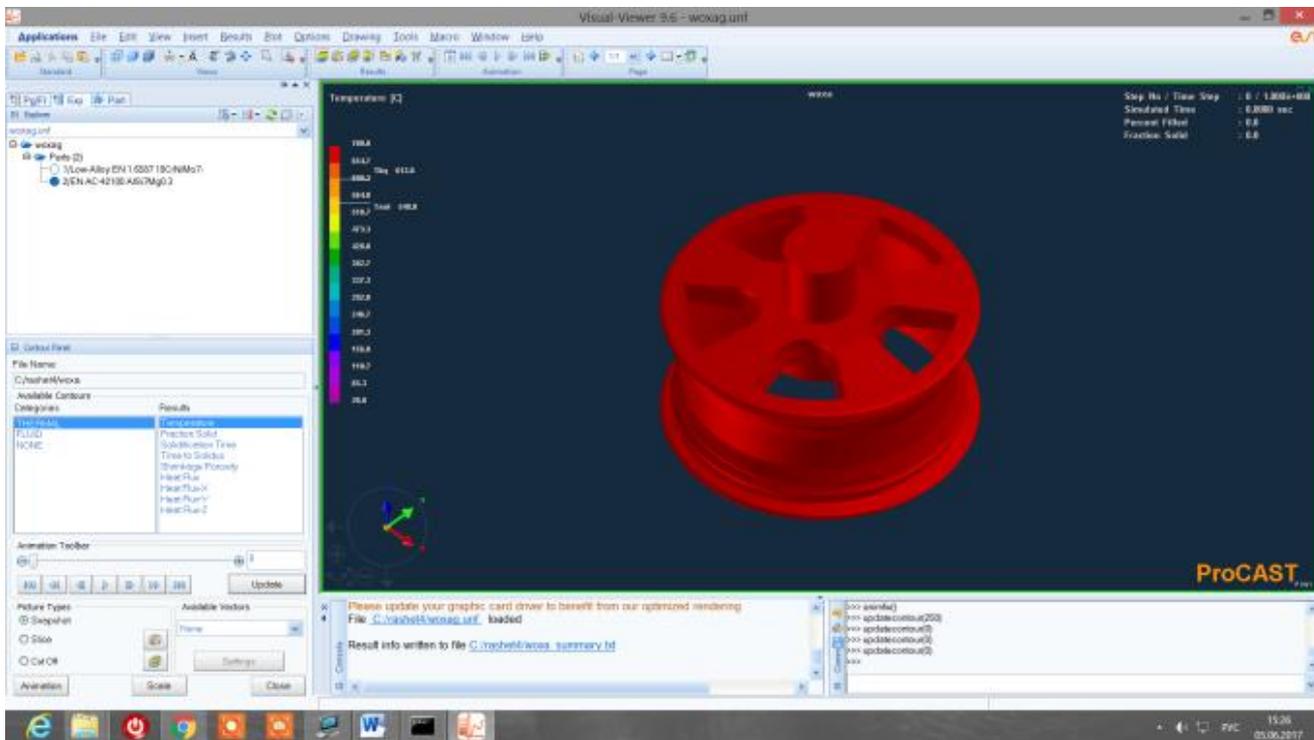


Рисунок 4.1 Отливка, заполненная сплавом.

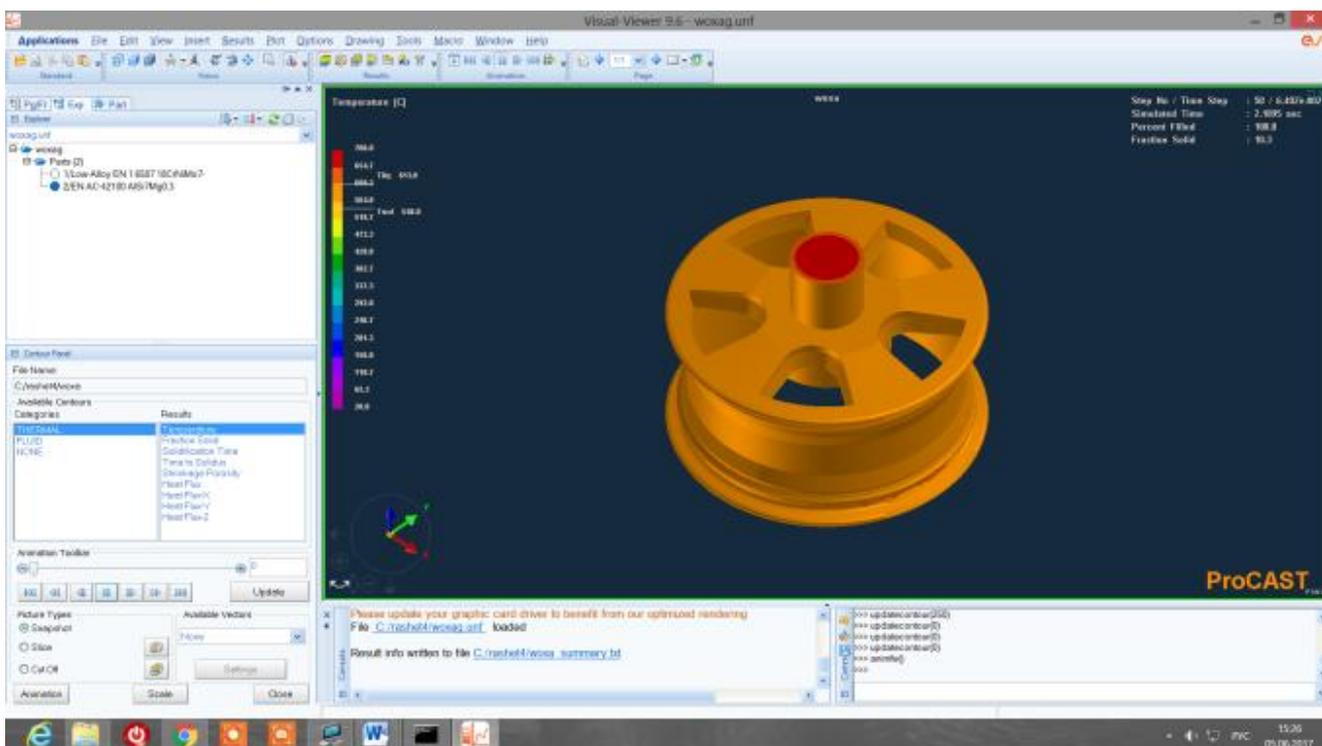


Рисунок 4.2 распределение температуры в отливке после заполнения (2 секунды)

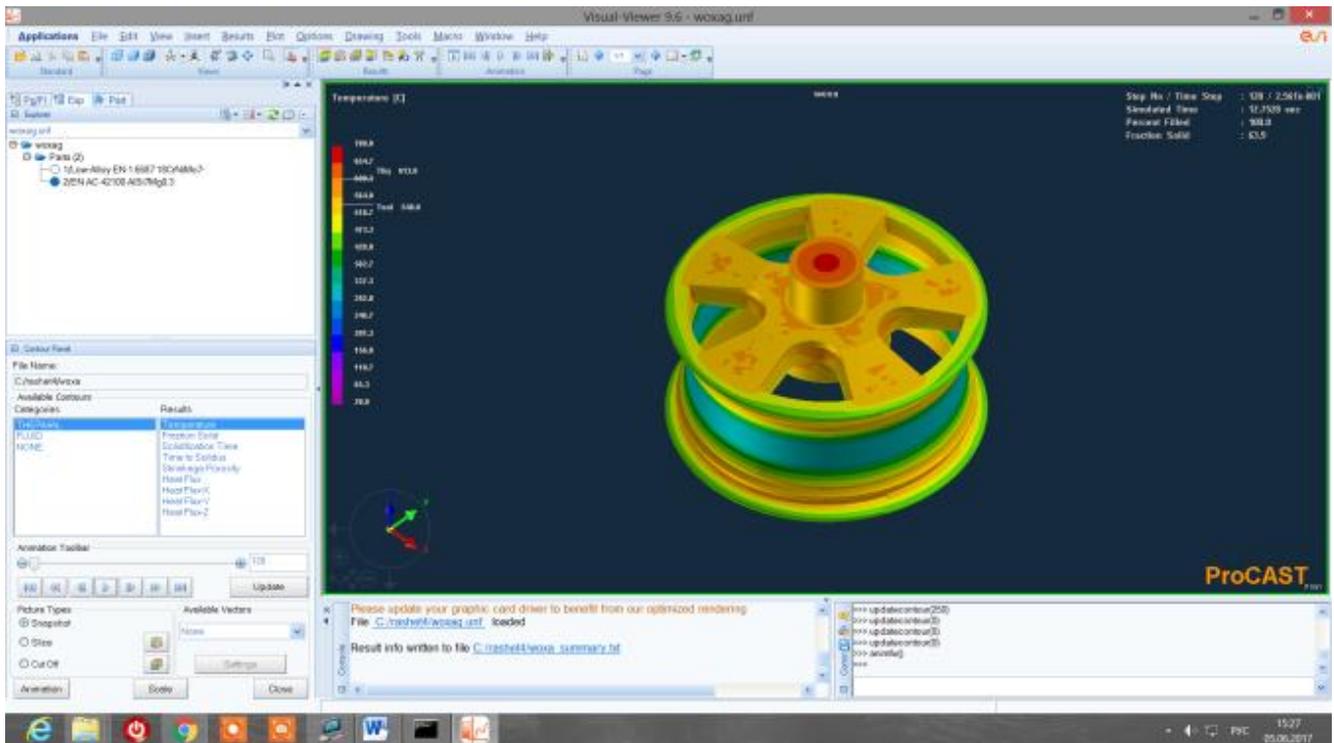


Рисунок 4.3 распределение температуры в отливке после заполнения (7 секунд)

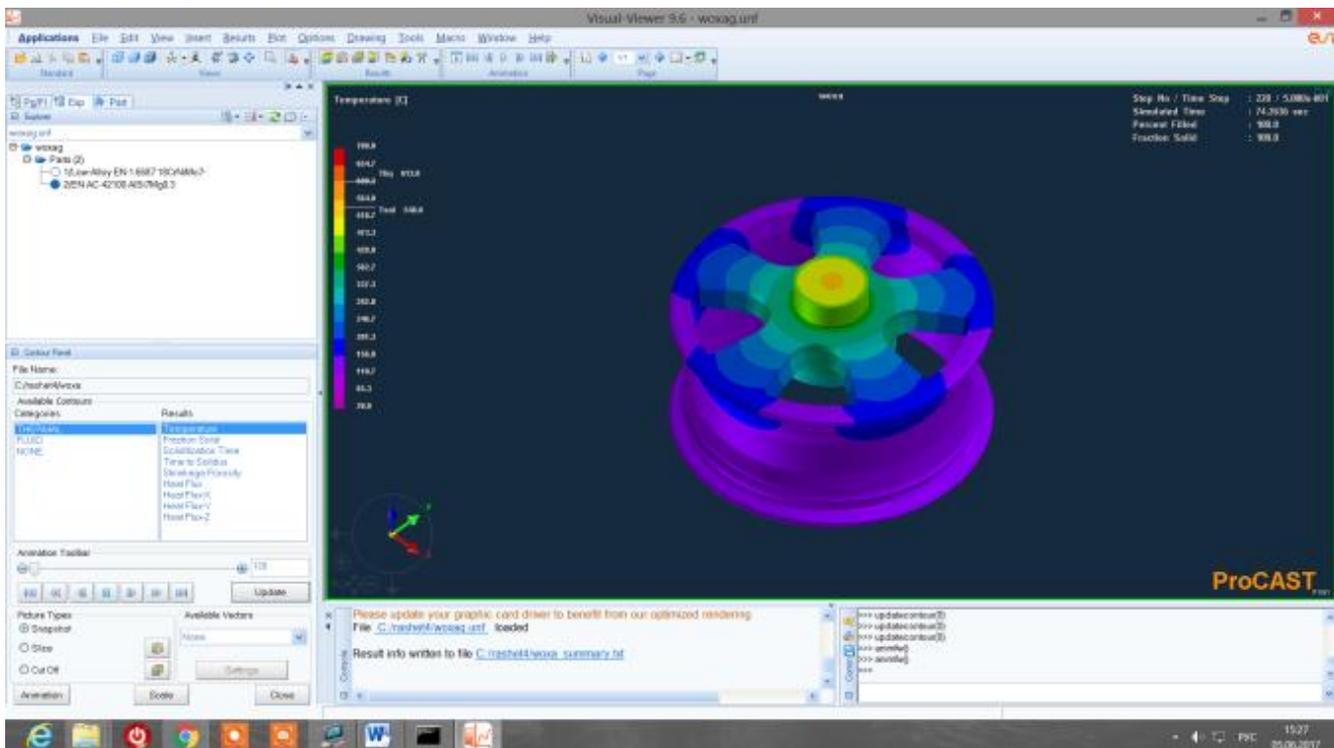


Рисунок 4.4 распределение температуры в отливке после заполнения
(20 секунд)

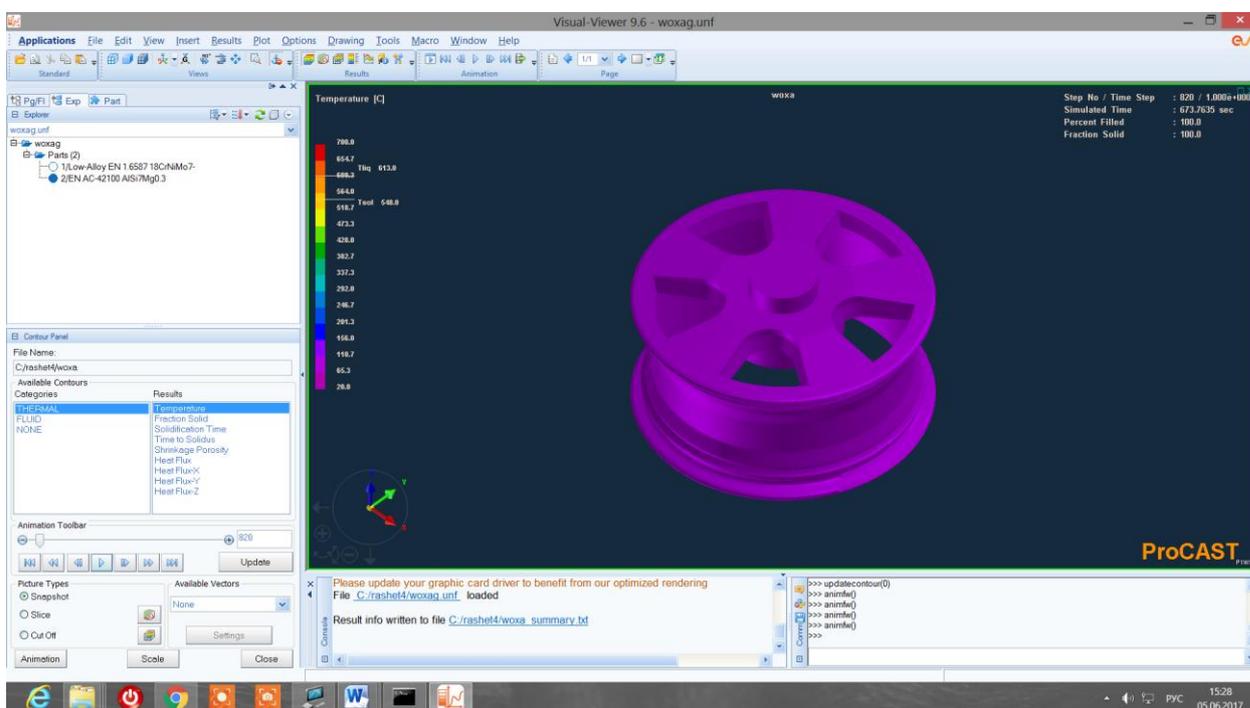


Рисунок 4.5 распределение температуры в отливке после заполнения
(40 секунд)

Процесс остывания отливки проходит, как правило, неравномерно из-за наличия в ней тонких и массивных частей, неравномерной толщины стенок формы и из-за того, что часть отливки граничит непосредственно с внешней средой. В связи с этим в отливке формируются остаточные напряжения учет которых является важной задачей. ProCAST позволяет "предсказать" эти напряжения и с помощью оптимизации литейной формы свести их к минимуму.

По результатам полученным из расчета видно, что отливка остывает полностью в течении 40 секунд.

Температурное поле распределяется от стенок к центру отливки.

Анализ удовлетворяет требованиям литья под давлением.

4.3 Распространение температуры в форме

В отливках в результате неравномерного затвердевания тонких и массивных частей и торможения усадки формой при охлаждении возникают напряжения, которые тем выше, чем меньше податливость формы и стержней. Если величина напряжений превысит предел прочности литейного сплава в данном участке отливки, то в теле ее образуются трещины. Если литейный сплав имеет достаточную прочность, пластичность и способен противостоять действию возникающих напряжений, то при превышении предела текучести искажается геометрическая форма отливки после извлечения ее из формы.

Горячие трещины в изделиях возникают в процессе кристаллизации и усадки металла при переходе из жидкого состояния в твердое при температуре близкой к температуре солидуса. Горячие трещины проходят по границам кристаллов и имеют окисленную поверхность. Склонность сплавов к образованию горячих трещин увеличивается при наличии неметаллических включений, газов (водорода, кислорода), серы и других примесей. Кроме того, образование горячих трещин в отливках вызывают резкие переходы от толстой части к тонкой, острые углы, выступающие части и т. д. Высокая температура заливки повышает вероятность образования трещин в результате увеличения кристаллов металла и перепада температур в отдельных частях отливки.

Для предупреждения возникновения горячих трещин в отливках необходимо создать условия, способствующие формированию мелкозернистой структуры; обеспечить одновременное охлаждение тонких и массивных частей отливок; увеличивать податливость литейных форм; по возможности снижать температуру заливки сплава.

Холодные трещины возникают в изделиях, когда сплав полностью затвердел. Тонкие части отливки охлаждаются и сокращаются быстрее, чем толстые. В результате в отливке образуются напряжения, которые вызывают

появления трещин. Холодные трещины чаще всего образуются в тонкостенных отливках сложной конструкции из сплавов с высокими упругими свойствами и усадкой при пониженных температурах, а также низкой теплопроводностью. Опасность образования холодных трещин в отливках усиливается наличием в сплаве вредных примесей (например, фосфора в сталях).

Для предупреждения образования холодных трещин необходимо обеспечивать равномерное охлаждение отливок во всех сечениях путем использования холодильников, применять сплавы с высокой пластичностью, проводить отжиг отливок и т. п.

Коробление - изменение формы и размеров отливки под влиянием напряжений, возникающих при охлаждении. Коробление увеличивается при малой податливости формы и стержней, усложнении конфигурации отливки и повышении скорости охлаждения, которая вызывает неравномерное охлаждение между отдельными частями отливки и различную усадку. Для предупреждения коробления необходимо создать рациональную конструкцию отливки, обеспечивающую равномерное охлаждение. Применение холодильников (внутренних, наружных) позволяет выравнивать скорость охлаждения массивных и тонких частей отливки.

Ликвация - неоднородность химического состава сплава в различных частях отливки. Она возникает в процессе затвердевания изделия из-за различной растворимости отдельных компонентов сплава в его твердой и жидкой фазах. Чем больше это различие, тем неоднороднее распределяется примесь по сечению отливки. Для уменьшения ликвации увеличивают скорость охлаждения заготовки.

Склонность к газопоглощению - это способность литейных сплавов в жидком состоянии растворять кислород, азот и водород. Их растворимость растет с перегревом расплава (температуры заливки). Движение металла в форме мелкими струйками или турбулентными потоками также способствует повышению растворимости газов. При избыточном содержании газов они

выделяются из расплава в виде газовых пузырей, которые могут всплывать на поверхность или оставаться в отливке, образуя газовые раковины, пористость или неметаллические включения, снижающие механические свойства и герметичность отливок.

Для уменьшения газовых раковин и пористости в отливках плавку металла следует вести под слоем флюса или в среде защитных газов с использованием хорошо просушенных шихтовых материалов. Кроме того, необходимо увеличивать газопроницаемость формы и стержней, снижать влажность формовочной смеси, подсушивать формы и т. д.

В отливках также могут возникать такие дефекты как недолив, перекосяк, шлаковые раковины, пригар и др.

Недолив возникает при неправильной конструкции литниковой системы, недостаточной жидкотекучести сплава или утечки металла в разъем формы.

Перекосяк может быть вызван неточной сборкой стержней или формы, случайным сдвигом полуформ, вызванным внешним воздействием.

Для предотвращения искаженной формы отливок следует проработать более рациональную конструкцию отливки и технологию литья.

Шлаковые раковины образуются при пониженной вязкости шлака, не достаточной эффективности литниковой системы, неправильной или небрежной заливке.

Пригар - поверхностный дефект, возникающий из-за слишком высокой температуры заливки, излишней длительности затвердевания, слабого уплотнения или низкого качества формовочной смеси.

Наружные дефекты отливок обнаруживаются внешним осмотром непосредственно после извлечения заготовок из формы или после их очистки, а внутренние - выявляются радиографическими и ультразвуковыми методами.

При использовании радиографических методов (рентгенографии, гаммаграфии) на отливки воздействуют рентгеновским или гамма-излучением. С помощью этих методов выявляют наличие дефекта, величину

и глубину его залегания.

При ультразвуковом контроле волна, проходящая через стенку отливки, при встрече с границей дефекта (трещиной, раковиной и др.) частично отражается. По интенсивности отражения судят о наличии, размерах и глубине залегания дефектов.

Трещины в отливках выявляют люминесцентным контролем, магнитной или цветной дефектоскопией.

Обнаруженные дефекты могут быть исправимы и неисправимы. Так, коробление стальных отливок может быть исправлено правкой. Наружные дефекты заваривают дуговой или газовой сваркой. При недоливе крупных отливок иногда допускается исправление дефектов заливкой жидкого металла. Раковины и пористость устраняют пропиткой или заделывают различными замазками, шпаклевкой или клеями. Неисправимый брак требует пересмотра конструкции отливки или технологии ее получения.

Процесс распределения температур в форме показан на рисунках 4.6-4.11.

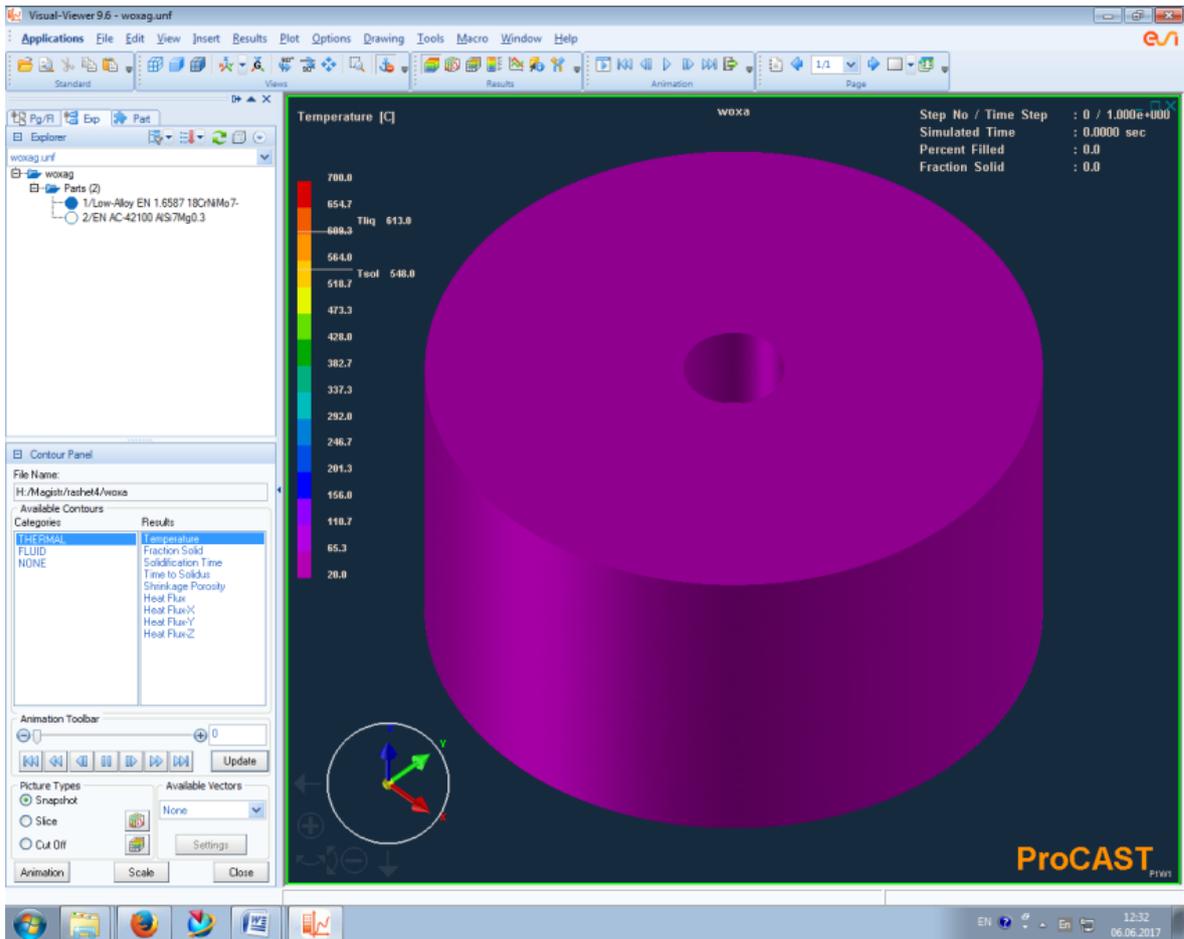


Рисунок 4.6 форма при комнатной температуре.

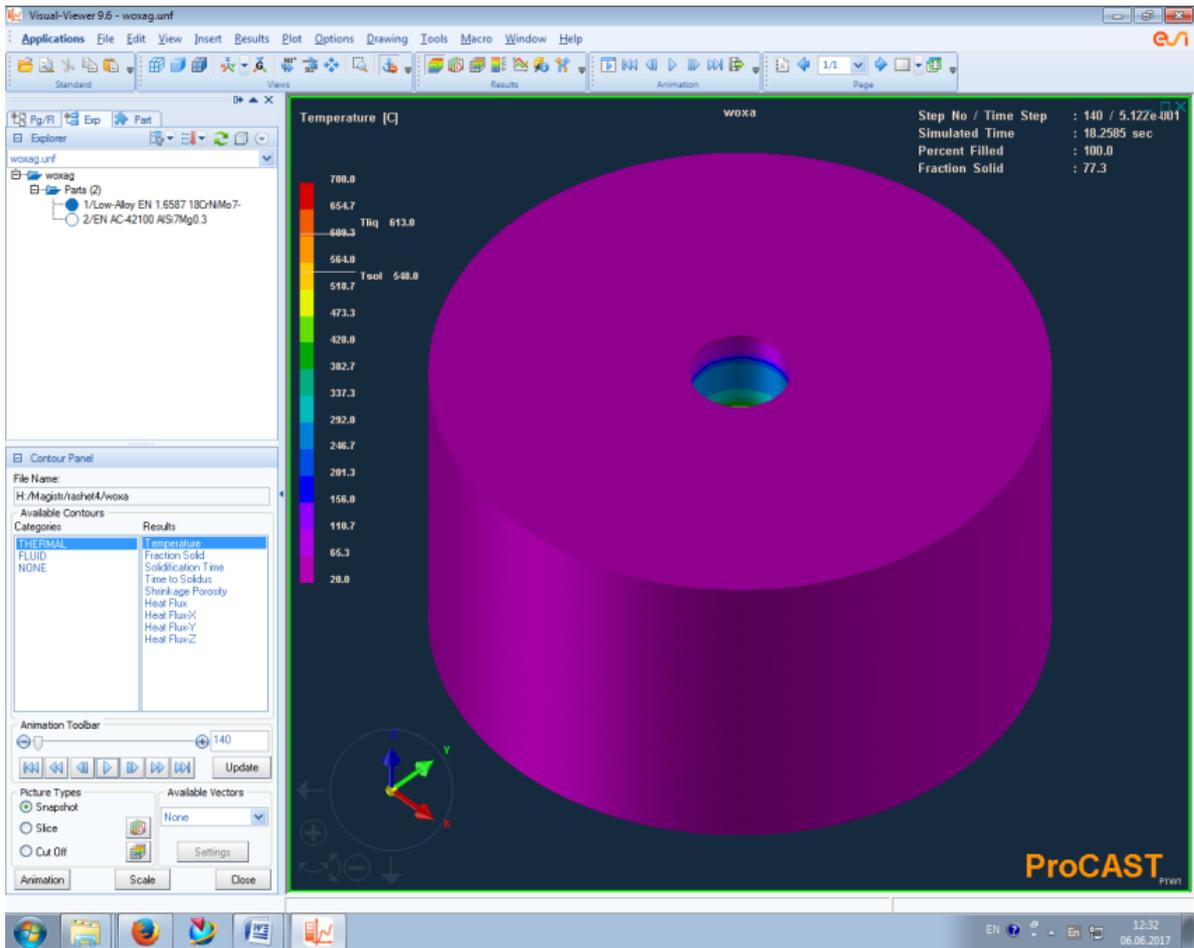


Рисунок 4.7 форма в процессе заливки металла

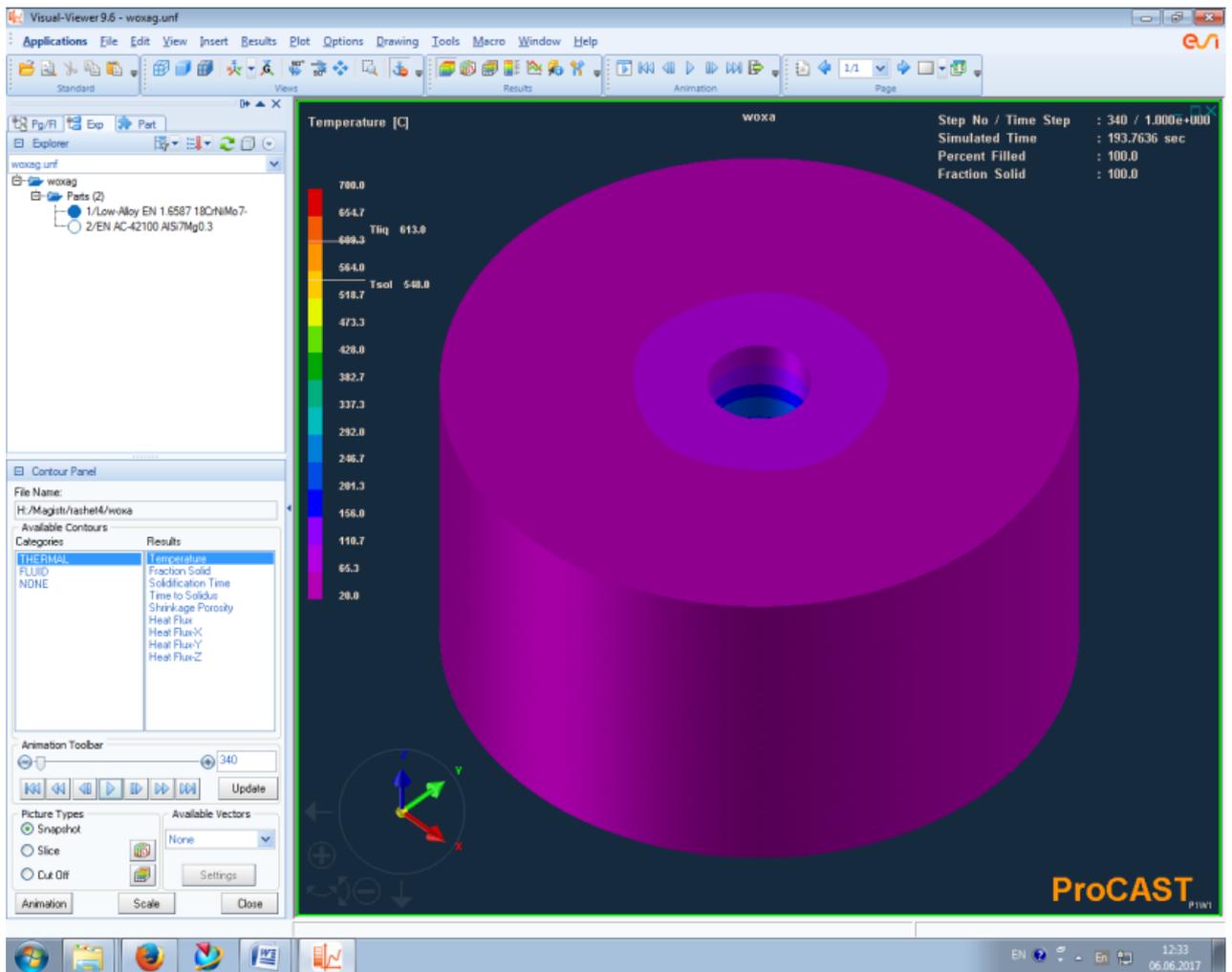


Рисунок 4.8 изменение температуры формы в момент заполнения материалом

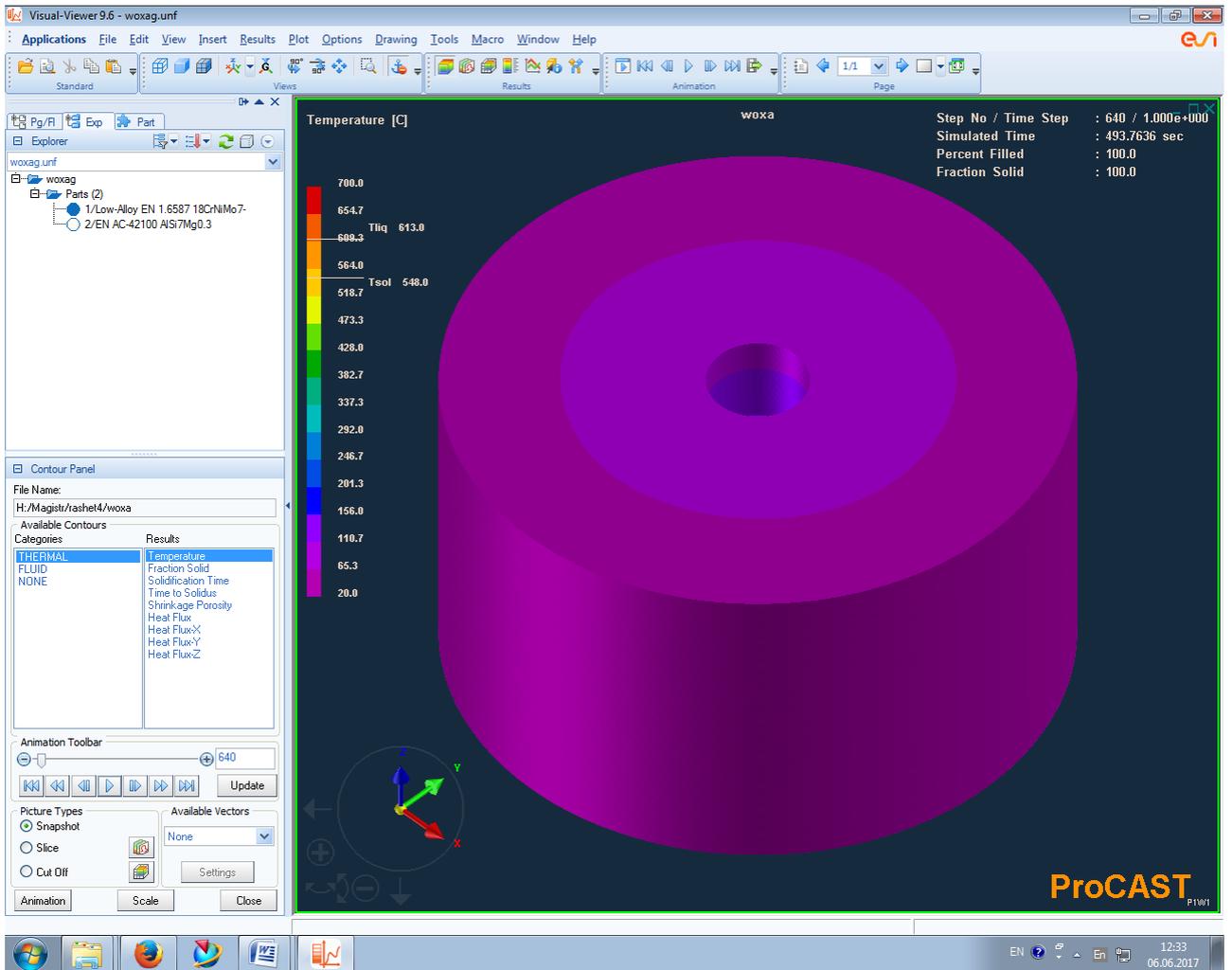


Рисунок 4.9 нагрев формы за счет заполнения материалом

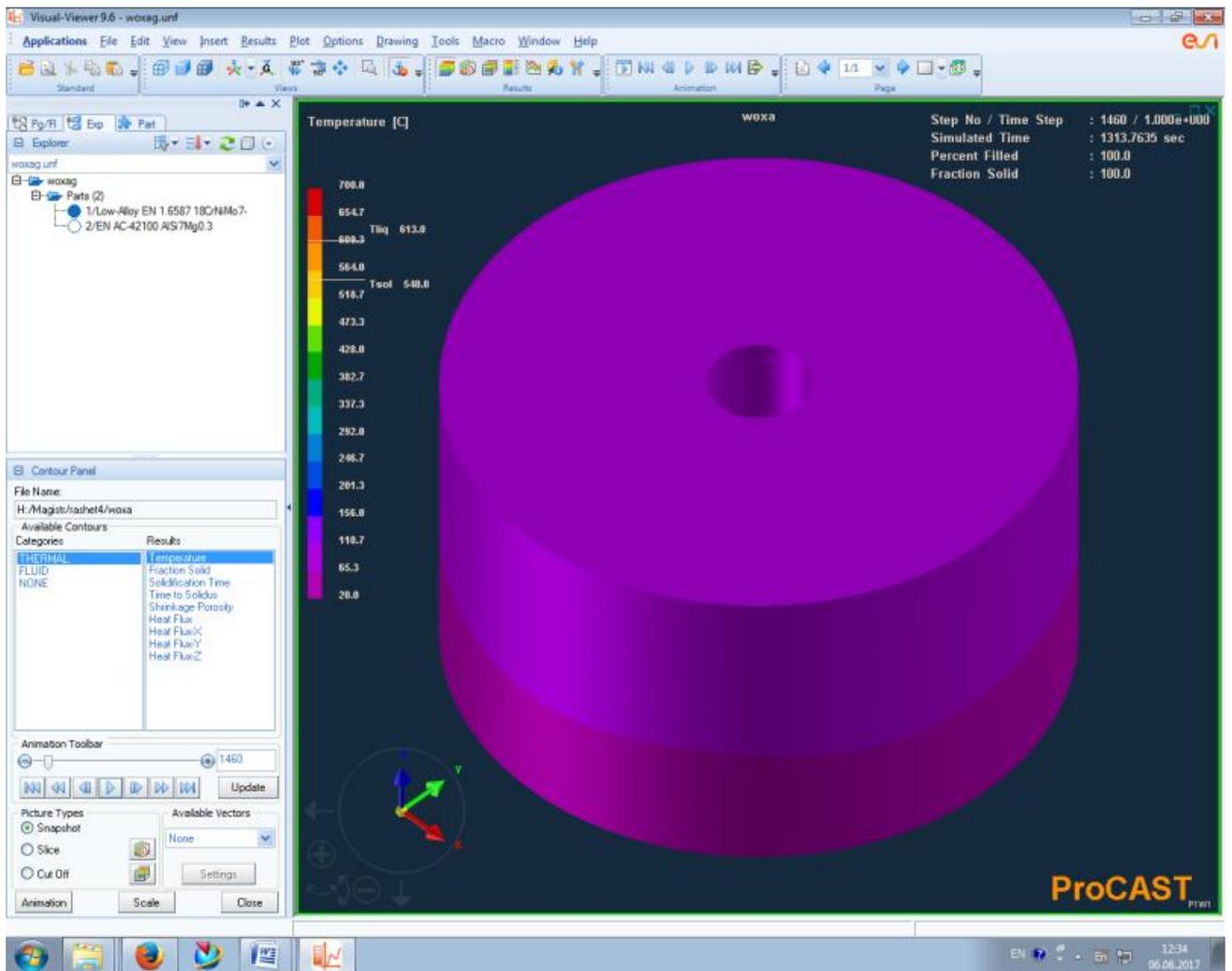


Рисунок 4.10 остывание формы со сплавом

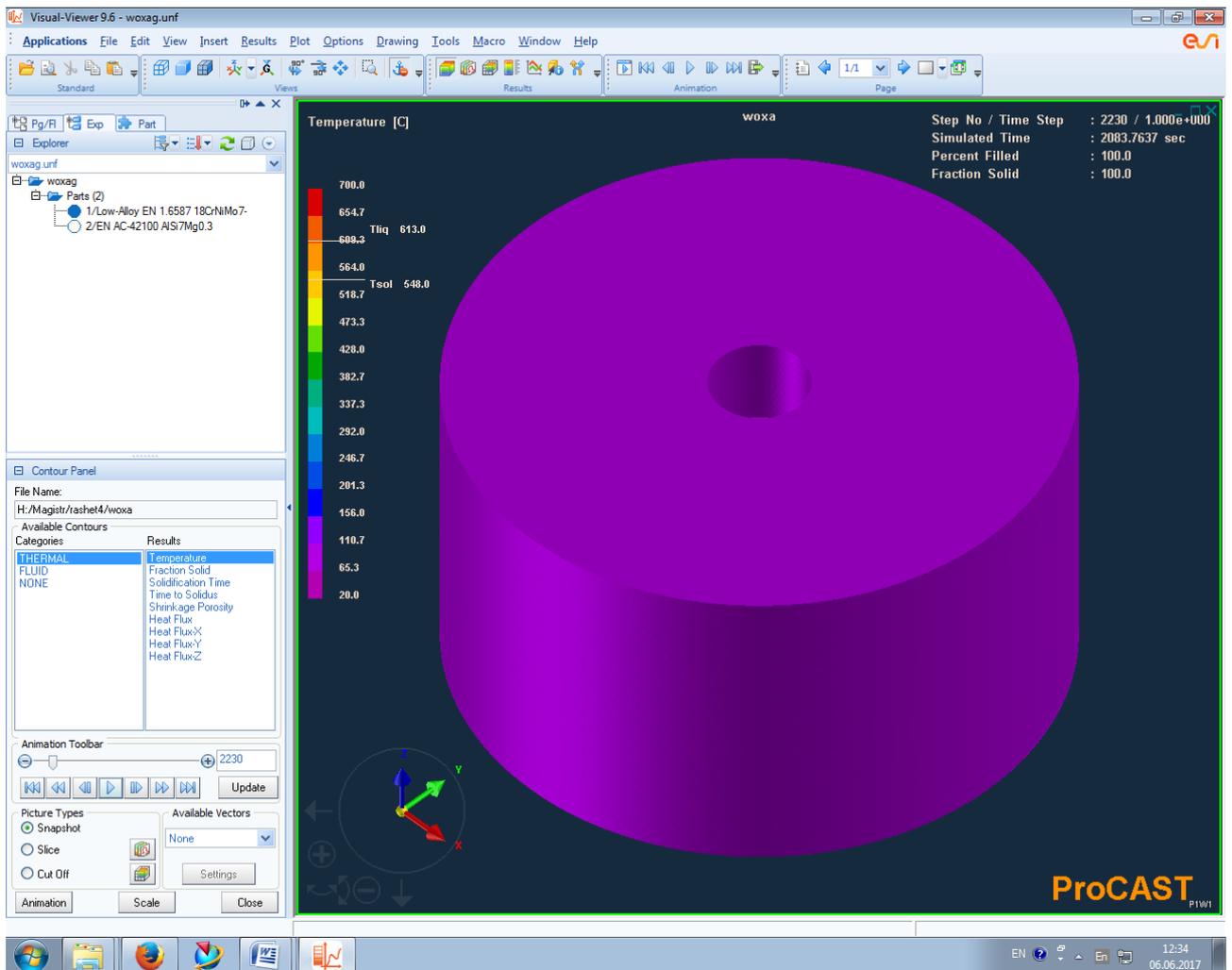


Рисунок 4.11 остывание до комнатной температуры

Анализ температуры формы показал отсутствие деформации формы при литье под низким давлением, а так же отсутствие налипания сплава на стенки.

Что полностью удовлетворяет требования литья под низким давлением.

На рисунке 4.12 показан график распределения охлаждения металла со временем.

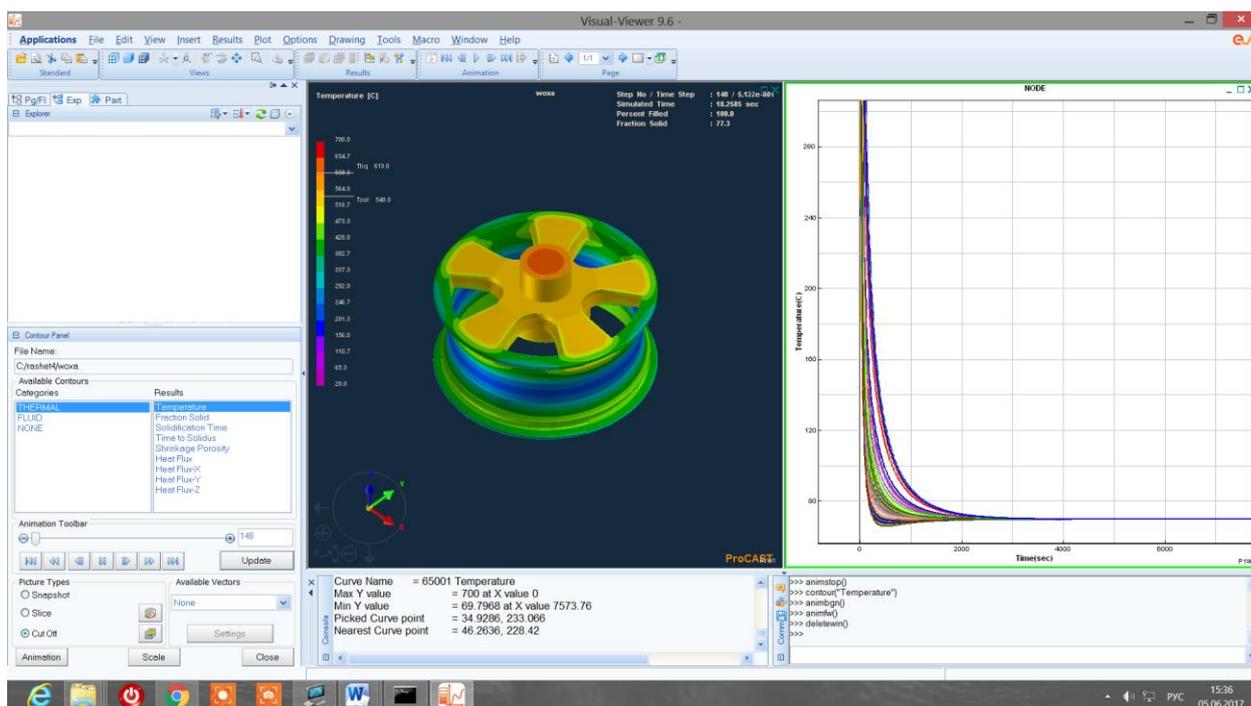


Рисунок 4.12 график распределения охлаждения металла со временем.

График, показывает зависимость между временем и температурой во время охлаждения металла. Используется для определения температур, при которых происходят фазовые превращения.

Позволяет наблюдать изменение температуры любой точки в отливке с течением времени.

4.4 Процесс затвердевания металла

Жидкотекучесть это способность металлов и сплавов течь по каналам формы и заполнять ее.

Заполнение литейных форм является сложным гидродинамическим и физико-химическим процессом. Главным фактором, определяющим уровень жидкотекучести, являются свойства сплава в жидком состоянии:

теплофизические свойства, особенности кристаллизации, вязкость, окисляемость.

Влияние литейной формы связано главным образом с ее теплофизическими свойствами, со смачиваемостью жидким металлом, с условиями физико-химического воздействия "металл - форма".

На жидкотекучесть влияют также условия плавки и заливки, перегрев металла, насыщение металла посторонними включениями, условия подвода металла к форме.

При поступлении металла в канал литейной формы на стенках канала и образуется твердая корочка из-за высокой интенсивности охлаждения металла в начальные моменты. С течением времени, по мере прогревания формы, интенсивность теплоотвода уменьшается. Но перенос теплоты к корочке за счет поступления новых порций металла остается постоянным, и она начинает оплавляться. Уменьшению размеров корочки способствует также смывание части кристаллов движущимися потоками. Накопление обломков кристаллов на конце потока приводит к постоянному нарастанию сил внутреннего трения. Условия течения металла заметно ухудшаются. Наконец в определенный момент количество накопившихся обломков становится несколько большим, а сопротивление внутреннему трению настолько значительным, что поток останавливается.

ViewCAST позволяет нам наблюдать процесс затвердевания отливки в форме как показана на рисунках: 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17.

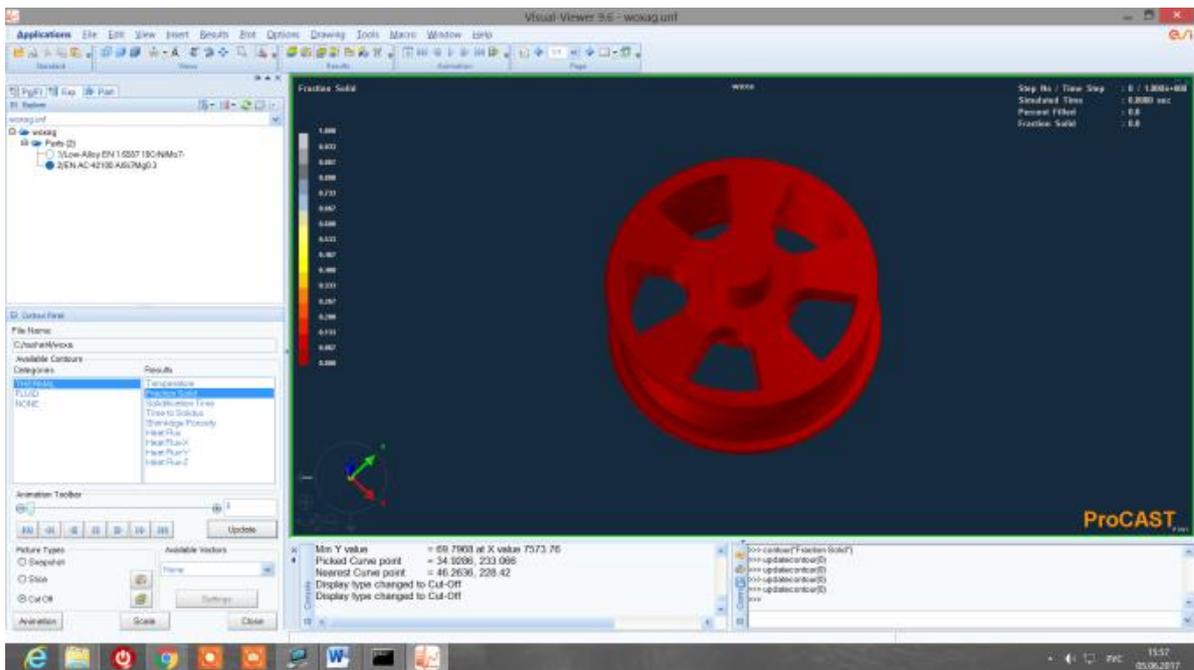


Рисунок 4.13 жидкое состояние сплава в отливке

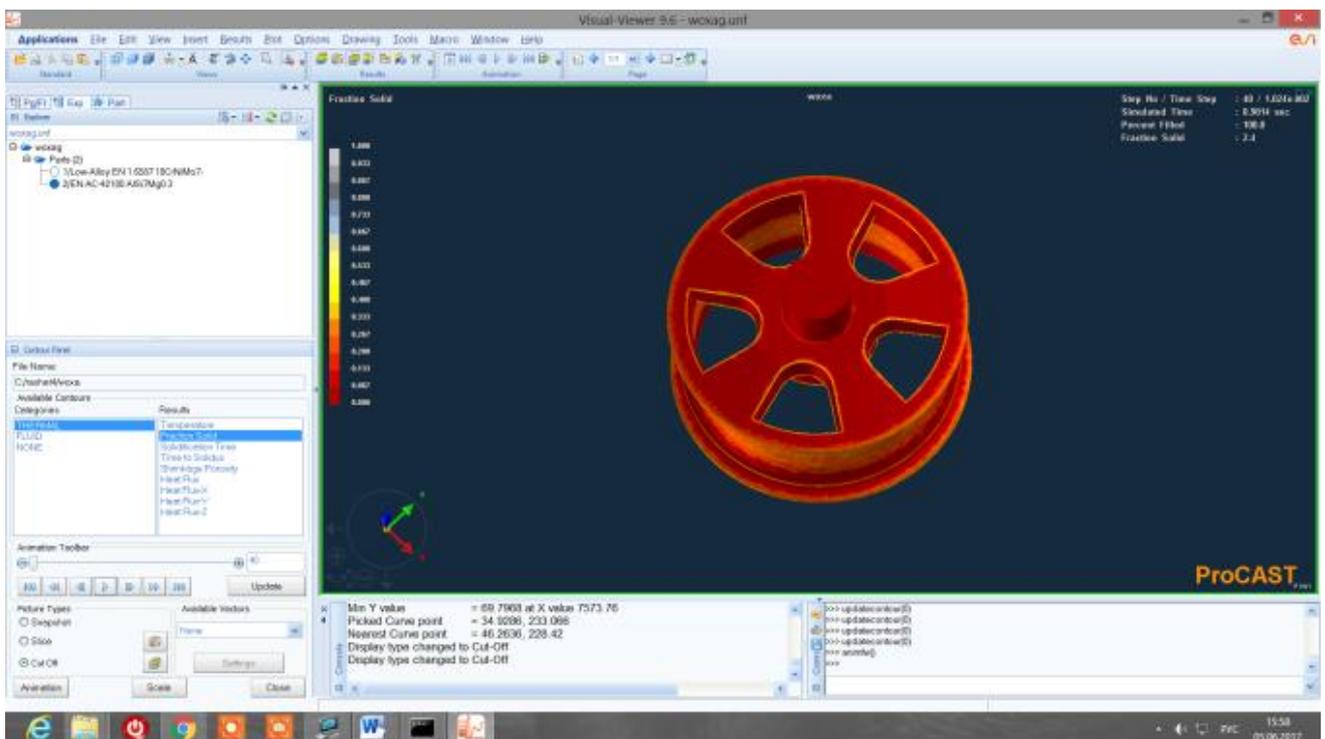


Рисунок 4.14 Начало кристаллизации отливки

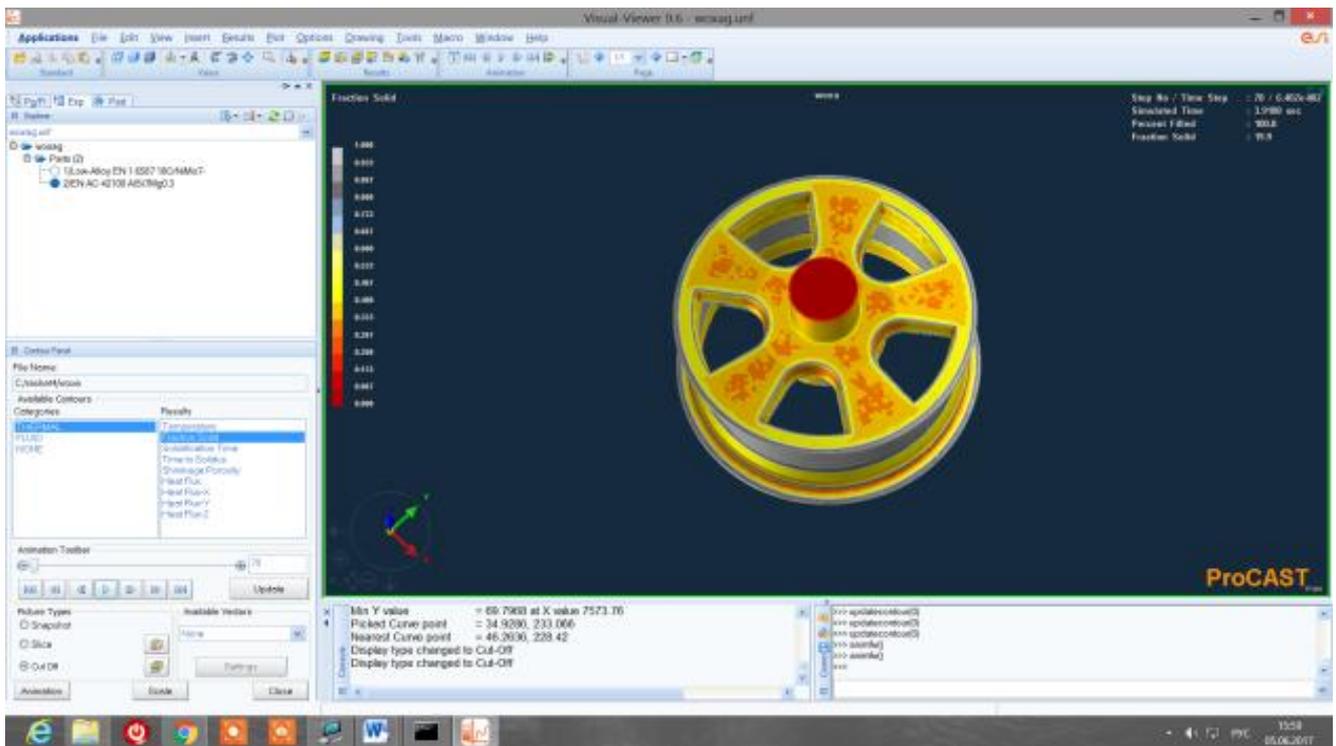


Рисунок 4.15 переход из жидкого состояния в твердое за 30 секунд

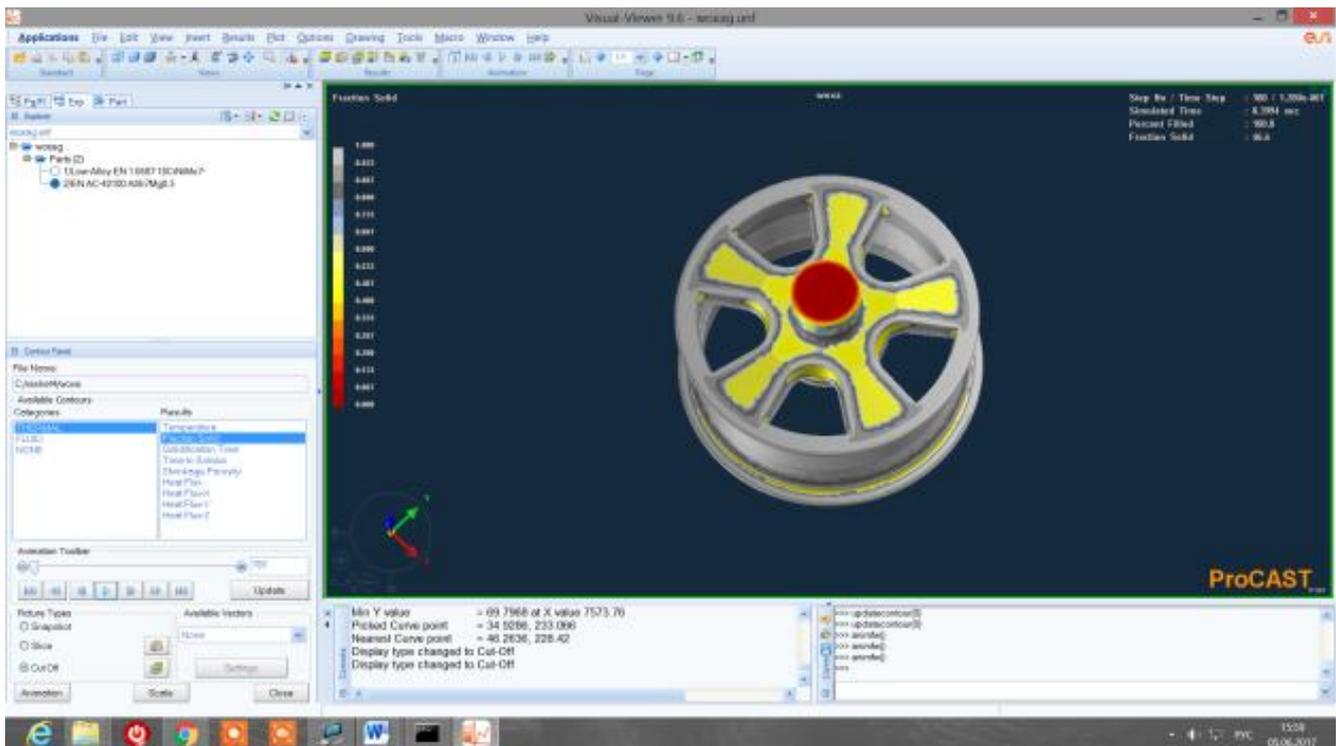


Рисунок 4.16 переход из жидкого состояния в твердое за 60 секунд

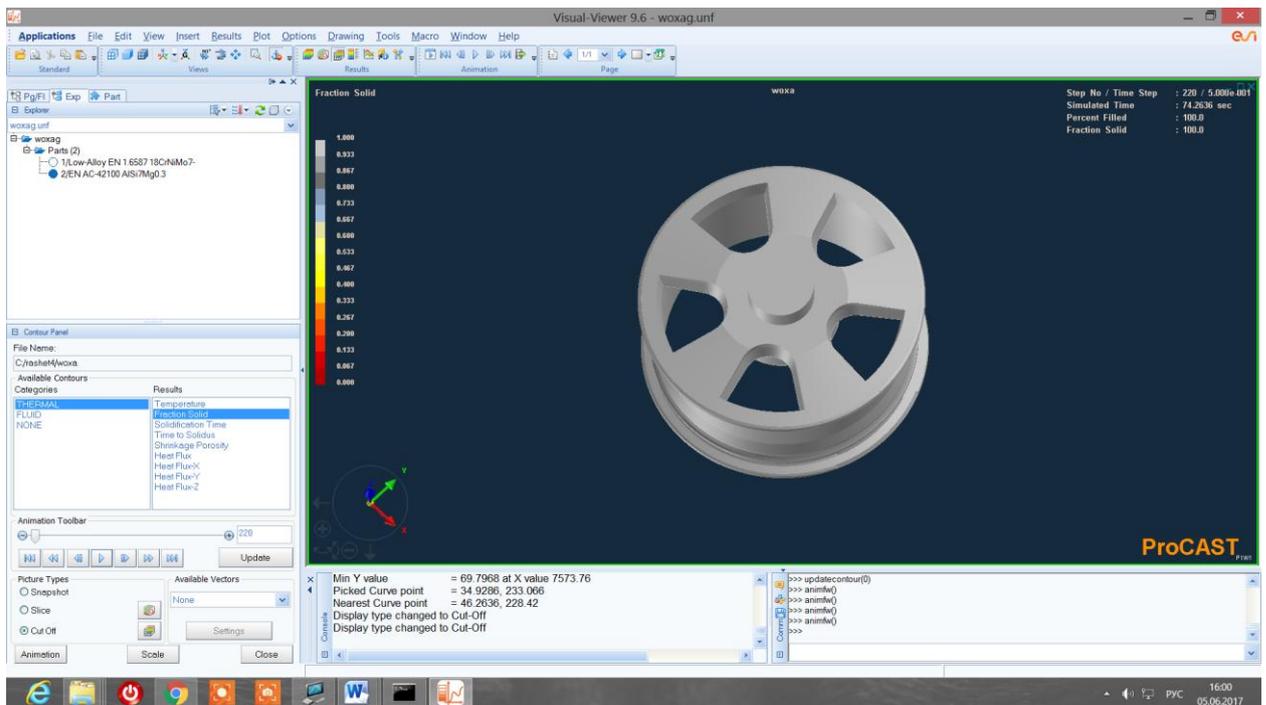


Рисунок 4.17 Абсолютно твердое тело

Визуализация процесса кристаллизации отливки указала на минимальную склонность к растеканию и усадке. Не обнаружены дефекты в отливке. Отсутствуют микротрещины, значение пористости не превышает 0.1.

График перехода металла из жидкого состояния в твердое тело рисунок

4.18

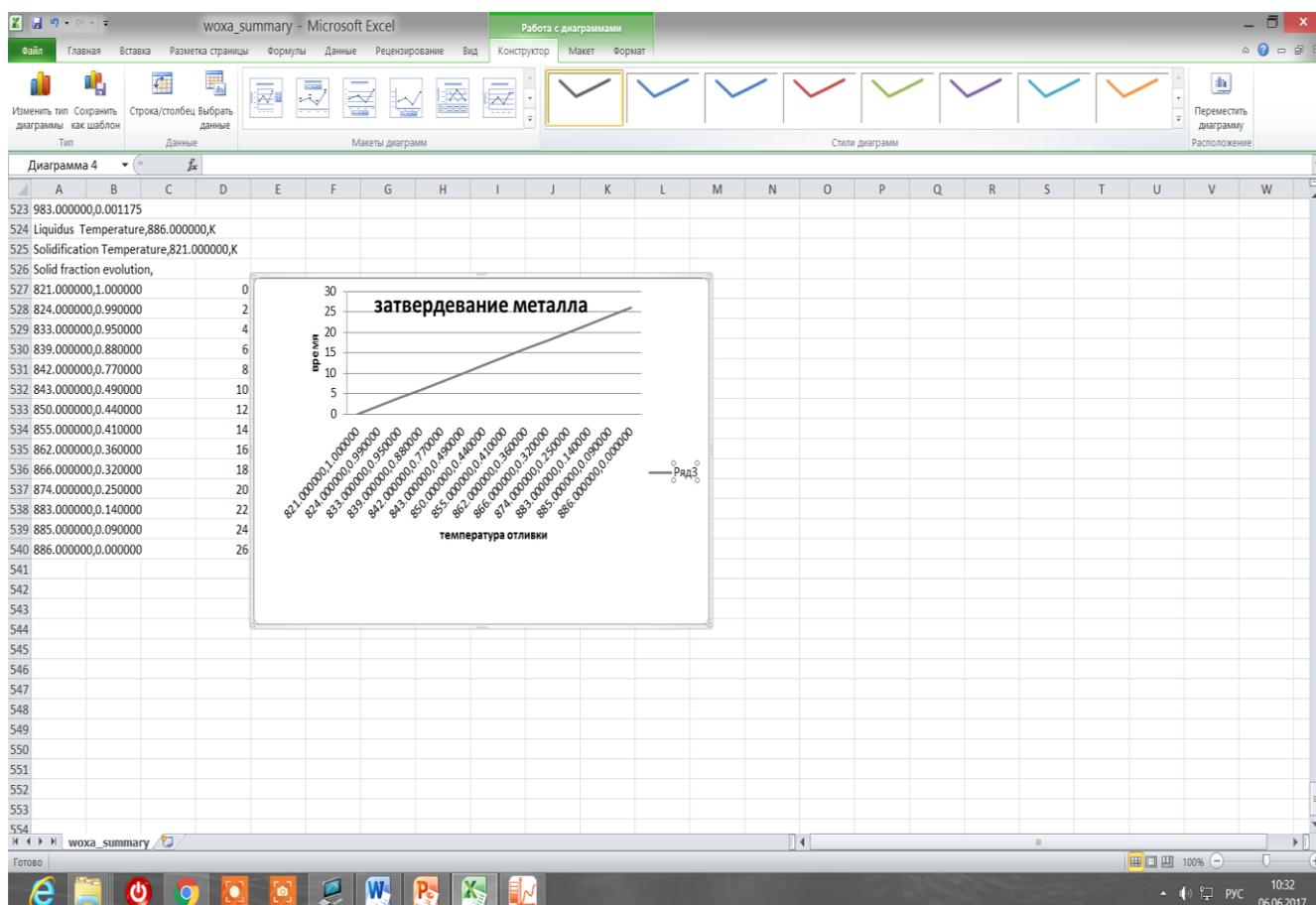


Рисунок 4.18 зависимость застывания сплава от времени.

Анализ результатов показал, что данный метод удовлетворяет требованиям литья и может применяться в производстве.

А именно:

Имеется безупречное заполнение формы;

Отсутствие налипания металла к форме;

Минимальная склонность к горячему растеканию и усадке.

Компьютерное моделирование позволило оценить литейную форму и разработанную технологию на компьютере, не прибегая к дорогому и длительному методу проб и ошибок. Что значительно повысило экономическую эффективность.

5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1) Проведен анализ литературы о процессе изготовления литого автомобильного диска под низким давлением.
- 2) Установлено, что наибольшая эффективность литья применена в литье под низким давлением.
- 3) Разработана модель литого алюминиевого диска в компас 3д.
- 4) Создана методика САЕ анализа процесса литья под низким давлением в кокиль.
- 5) Создана сетка конечных элементов для литья под низким давлением в кокиль.
- 6) Проведена симуляция литья под низким давлением в кокиль литого автомобильного диска.
- 7) Установлены параметры температуры, времени заполнения и кристаллизации литого алюминиевого диска автомобиля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Записка пояснительная к курсовому и дипломному проекту. Правила оформления. – Тольятти: ТолПИ, 1987 – 27 с.
2. А.В. Монастырский. Моделирование литейных процессов. Эпизод 1-й. Работаем в ProCAST. — CADmaster, 2009, № 1, с. 10–16. ↑
3. Niyama E., Uchida T., Morikawa M., Saito S.: Am. Foundrymen's Soc. Int. Cast Met. J., 1982, vol. 7(3), pp. 52–63. ↑
4. В.П. Монастырский, А.В. Монастырский, Е.М. Левитан. Разработка технологии литья крупногабаритных турбинных лопаток с применением систем «Полигон» и ProCAST. — Литейное производство, 2007, № 9, с. 29–34. ↑
5. Справочник металлиста в 5-ти тт.— М.: Машгиз, 1960. – 326 с.
6. «Литьё под давлением» М.Г. Беккер, М.Л. Заславский, Ю.Ф. Игнатенко, М.: МАШИНОСТРОЕНИЕ, 1998.
7. «Экономические основы технологического развития» И.Н. Васильева, М.: МАШИНОСТРОЕНИЕ, 1995.
8. «Технологии металлов и конструкционные материалы» под ред. Б.А. Кузьмина, М.: МАШИНОСТРОЕНИЕ, 1989.
9. ГОСТ 1583-93 Межгосударственный стандарт СПЛАВЫ АЛЮМИНИЕВЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ГОСТ 1583-93 Издание официальное МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ Минск УДК 669.71:621.84.04:006.354 МКС 77.140.90 В 51 ОКП 17 1221; 17 1321 ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия. Aluminium casting alloys. Specifications ГОСТ 1583-93 Дата введения 1997-01-01
10. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники.

11. Технология конструкционных материалов. Под ред. А.М. Дальского. 2004г
12. Титов Н.Д., Степанов Ю.А. Технология литейного производства. М., 1974. 472 с.
13. Формовочные материалы и технология литейной формы. Справочник / С.С. Жуковский, Г.А. Анисович, Н.И. Давыдов и др. М., 1993. 432 с.
14. Жуковский С.С., Лясс А.М. Формы и стержни из холоднотвердеющих смесей М., 1978. 478 с.
15. Материаловедение и технология конструкционных материалов / Ю.П. Солнцев, В.А. Веселов, В.П. Демянцевич, А.В. Кузин М., 1996. 575 с.
16. Литейное производство / под ред. И.Б. Куманина – М., «Машиностроение», 1971г.
17. Литье повышенной точности по разовым моделям / Озеров В. А., Гаранин В. О. – М., «Высшая школа», 1988г.
18. Стальное литье / под ред. Н. П. Дубинина – М., «МАШГИЗ», 1961г.
19. Стальные отливки / Арсов Я. Б. – М., «Машиностроение», 1974г.
20. Технические и экономические основы литейного производства / под ред. В.М. Шестопада – М., «Машиностроение», 1974г.
21. Технология конструкционных материалов / под ред. А. М. Дальский, Н.П. Дубинин – М., «Машиностроение», 1977г.
22. Технология литейного производства / Титов Н.Д., Степанов Ю.А. – М., «Машиностроение», 1985г.
23. Производство литых алюминиевых деталей. М.: Металлургия. 1979.
24. Черепяхин А.А. Технология обработки материалов: учебник для студ. Учреждений средн. Проф. Образования / А.А Черепяхин. - 2-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2007. - 272 с.

25. Монастырский В.П. Моделирование микропористости в отливках, затвердевающих в условиях направленного теплоотвода // Тепловые процессы в технике. 2011. № 1. С. 2027.
26. Монастырский А.В. Использование многоядерных компьютеров для инженерных расчетов в САЕ-системах // CADmaster. — 2008. — № 4. ↑
27. Титов Н. Д., Степанов Ю. А. Технология литейного производства. М., «Машиностроение», 1974.
28. Литейные сплавы и технологии их плавки в машиностроении. М.: Машиностроение. 1984.
29. Akihiro M., Kasuyosi N, and Hiroshi O., “Measurement and analysis of bulge deformation in the continuous cast slabs,” R & D Kobe Steel Engineering Reports, vol. 29, no. 3, pp. 55–59, 1979.
30. Yoon U.-S., Bang I.-W., Rhee J. H., Kim S.-Y., Lee J.-D., and Oh K. H., “Analysis of mold level hunching by unsteady bulging during thin slab casting,” ISIJ International, vol. 42, no. 10, pp. 1103–1111, 2002.
31. Yoshii A. and Kihara S., “Analysis of bulging in continuously cast slabs by bending theory of continuous beam,” Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan, vol. 26, no. 10, pp. 891–894, 1986.
32. Sheng Y. P., Sun J. Q., and Zhang M., “Calculation for bulging deformation of continuous casting slab,” Iron and Steel, vol. 28, no. 3, pp. 20–25, 1993.
33. Sun J., Sheng Y., and Zhang X., “Analysis of bulging deformation and stress in continuous cast slabs,” Journal of Iron and Steel Research International, vol. 8, no. 1, pp. 11–15, 1996.
34. Xu R. J., “Behavior analysis of bulging deformation in slab casting process, Heavy Machinery, no. 1, pp. 17–21, 2012.
35. Xu R. J., “Model for resistance calculation of bulging deformation generated in slab casting,” Heavy Machinery, no. 4, pp. 68–72, 2012.
36. Grill A. and Schwerdtfeger K., “Finite-element analysis of bulging produced by creep in continuously cast steel slabs,” Ironmaking and Steelmaking, vol. 6, no. 3, pp. 131–135, 1979.

37. Barber B., Lewis B. A., and Leckenby B. M., "Finite-element analysis of strand deformation and strain distribution in solidifying shell during continuous slab casting," *Ironmaking and Steelmaking*, vol. 12, no. 4, pp. 171–175, 1985.
38. Lee J. D. and Yim C. H., "Mechanism of unsteady bulging and its analysis with the finite element method for continuously cast steel," *ISIJ International*, vol. 40, no. 8, pp. 765–770, 2000.
39. Ha J. S., Cho J. R., Lee B. Y., and Ha M. Y., "Numerical analysis of secondary cooling and bulging in the continuous casting of slabs," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 113, no. 1–3, pp. 257–261, 2001.
40. Wu D. P., Li J., Qin Q., and Ma T., "Research on creep material models and bulging of cast slab," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering (MACE '10)*, pp. 5536–5539, June 2010.