



# PoligonSoft

**ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ  
ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛИТЕЙНЫХ  
ПРОЦЕССОВ**



**CS**Soft  
development

## ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Система компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) «ПолигонСофт» – это профессиональный инструмент технолога-литейщика, предназначенный для прогноза и анализа причин возникновения дефектов на стадии проектирования литейной формы и литниково-питающей системы. «ПолигонСофт» – это виртуальный литейный цех, где можно в короткие сроки и без дополнительных затрат разработать, проанализировать и отладить основные этапы литейной технологии. Выполняя всю работу на компьютере еще до начала изготовления оснастки, технолог получает больше информации о процессе, чем может получить в литейном цехе.



## Универсальный инструмент

Вычислительное ядро «ПолигонСофт» состоит из трех решателей: гидродинамического, теплового и напряжений. Вместе с набором дополнительных опций они моделируют все традиционные литейные технологии и многие специальные процессы:

- литье в песчаную форму с любым связующим;
- литье в кокиль (в том числе охлаждаемый или подогреваемый);
- литье по выплавляемым моделям;
- литье в вакууме (в том числе все виды направленной кристаллизации);
- литье по процессу вакуумно-пленочной формовки;
- литье под высоким и низким давлением;
- центробежное литье;
- непрерывное литье и др.



## Сквозное моделирование

Качество и достоверность расчета напрямую связаны с возможностью сквозного моделирования технологии. В «ПолигонСофт» могут быть последовательно смоделированы все этапы технологического процесса получения отливки: нагрев формы, заполнение формы расплавом, затвердевание на плацу или в термостате, извлечение отливки из формы, обрубка литниковой системы и прибылей и т.д.

## Быстрый запуск расчетов на основе шаблонов

В процессе создания технологии часто приходится просчитывать много вариантов литниково-питающей системы или технологических режимов. При этом обычно меняется только геометрия литейного блока или температура заливки, а все материалы и условия теплообмена остаются неизменными. Чтобы избежать рутинных операций при запуске расчета, «ПолигонСофт» использует шаблоны технологических процессов, предоставляющие пользователю готовые отлаженные наборы данных, характерные для каждой технологии. Разумеется, все шаблоны и данные могут быть отредактированы в соответствии с требованиями конкретного производства.

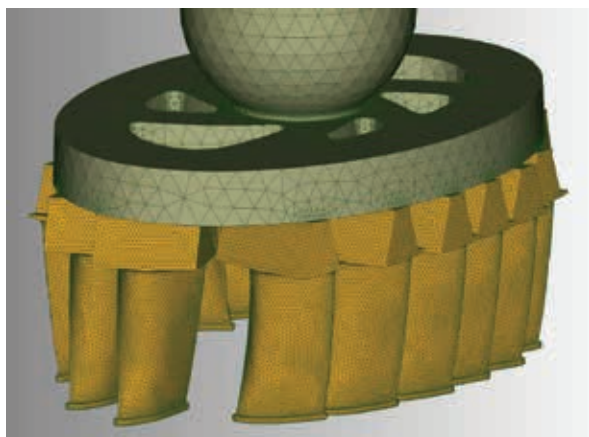
Кроме того, в «ПолигонСофт» встроен механизм наследования всех параметров от любого предыдущего расчета на текущую задачу. Все это позволяет технологу запустить расчет всего несколькими щелчками мыши и сосредоточиться на творческом процессе.

## Работа с геометрией любой сложности

«ПолигонСофт» работает с моделью литейного блока и формы любой сложности, состоящей из множества элементов произвольной формы. Холодильники, стержни, песчаная или керамическая форма, теплоизолирующие и экзотермические материалы и металлургическое оборудование в той или иной степени могут влиять на качество отливки и должны участвовать в расчете.



*Модель отливки «Корпус» с холодильниками и кокилем, подготовленная к расчету (ОАО «ААК «Прогресс» им. Н.И. Сазыкина)*



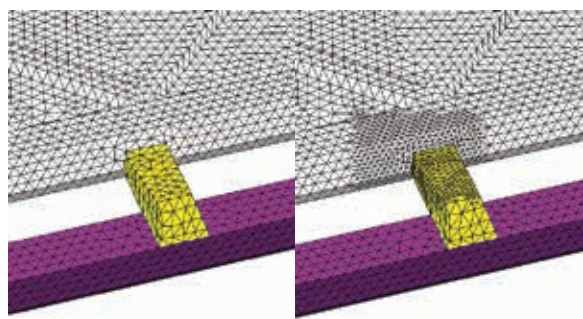
*Сеточная модель литейного блока лопаток турбокомпрессора, построенная в SALOME (ООО «СКБТ»)*

«ПолигонСофт» использует современный и точный метод конечных элементов, чтобы площадь поверхности и объем модели фасонной отливки максимально соответствовали оригиналу. Генератор конечно-элементных сеток на платформе SALOME поставляется в комплекте и позволяет гибко и просто управлять процессом создания сеточной модели для расчета. Пользователь сам решает, где необходима лучшая детализация, а где для оптимального использования ресурсов компьютера можно применять более грубую сетку.

При литье по выплавляемым моделям керамическая форма имеет геометрию, которая зависит от толщины и формы поверхности восковой мастер-модели. Собственный генератор оболочек позволит без предварительных построений в CAD-системе создать сеточную модель керамической формы с заданной толщиной. Подобным способом могут быть сформированы несложные элементы: крышки, футеровка, теплоизоляционные и экзотермические смеси и т.д.



*Керамическая форма, автоматически созданная в препроцессоре «ПолигонСофт» (ООО «СКБТ»)*



а)

б)

*Локальное измельчение сетки в препроцессоре «Мастер»:*

*а) исходная сетка;*

*б) после локального измельчения*

Встроенные средства контроля качества и редактирования конечно-элементной модели позволяют оперативно работать с сеткой, не прибегая к ее перестроению в сеточном генераторе.

Проверка качества сетки по заданным параметрам выявит элементы с критическими углами или неправильной формой и исправит либо удалит их.

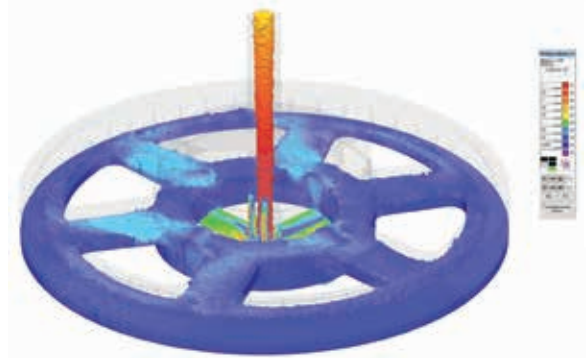
Специальные инструменты анализируют геометрию на наличие тонких стенок и локально измельчают сетку, чтобы повысить точность расчета.

## Заполнение формы расплавом

Современный и мощный решатель течения «Эйлер» моделирует заполнение формы расплавом так, как это происходит в литейном цехе:

- из поворотного или стопорного ковша;
- в один или несколько стояков;
- с доливом в стояк или прибыли;
- с постоянной или переменной скоростью течения (падение напора).

Рассчитывается падение температуры расплава при контакте со стенками формы и теплоотдаче в среду, а также выделение твердой фазы, которое может привести к остановке течения и непроливу. Специальный алгоритм позволяет исследовать работу литниковой системы, выявить ее узкие места и найти оптимальные размеры, расположение и число питателей.



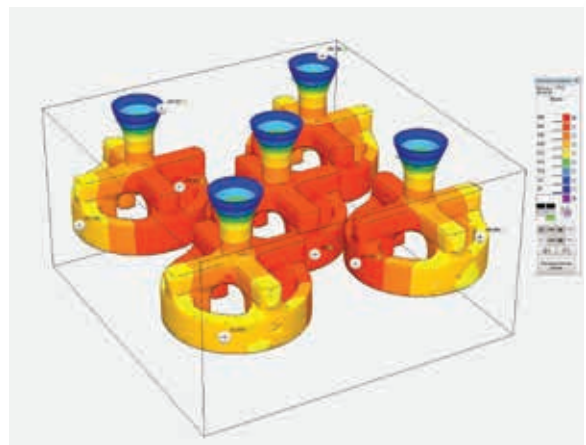
*Литье в песчаную форму  
(ООО «КЗЭ "ДимАл"»)*

## Затвердевание отливки

Тепловой решатель «Фурье» выполняет расчет температурных и фазовых полей с учетом переноса тепла (теплопроводностью, конвекцией, излучением) и выделения тепла при затвердевании.

На этом этапе технолог узнаёт:

- как меняется температура в отливке и форме;
- как происходит затвердевание отливки;
- где и почему формируются тепловые узлы;
- какова эффективность прибылей, холодильников, экзотермических вставок и т.д.

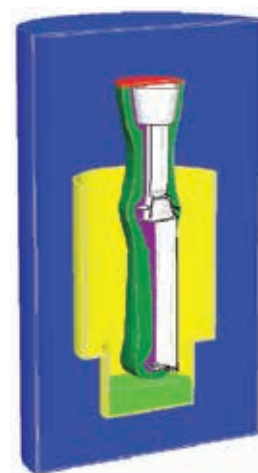


*Температура форм в опоке перед заливкой  
(Уссурийский ЛРЗ АО «Желдорремаш»)*

## Теплообмен излучением

Благодаря использованию метода конечных элементов «ПолигонСофт» может решать задачи сложного радиационного теплообмена с учетом переизлучения и затенения. Это необходимо при литье в вакууме и при заливке литейных блоков-«кустов» по технологии литья по выплавляемым моделям (ЛВМ) без применения опорного наполнителя.

В этих случаях расположение отливок на кусте или литейных блоков относительно друг друга может существенно влиять на картину пористости.



Моделирование ЛВМ в вакууме  
(АО «ОДК» – «Салют»)

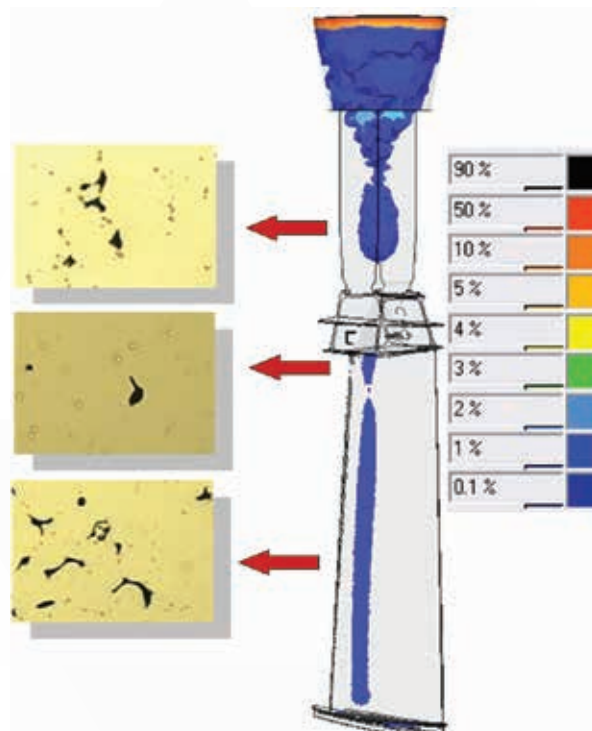
## Раковины и пористость

Одно из несомненных преимуществ СКМ ЛП «ПолигонСофт» – модель усадочной макро- и микропористости, которая позволяет точно прогнозировать образование дефектов, что особенно важно при изготовлении ответственных отливок (рабочие и сопловые лопатки ГТД, моноколеса, крыльчатки насосов и т.п.).

Специальные алгоритмы, учитывающие капиллярный эффект и падение давления при затвердевании замкнутых тепловых узлов, позволяют более точно рассчитать картину дефектов при использовании закрытых прибылей.

На этом этапе технолог узнаёт:

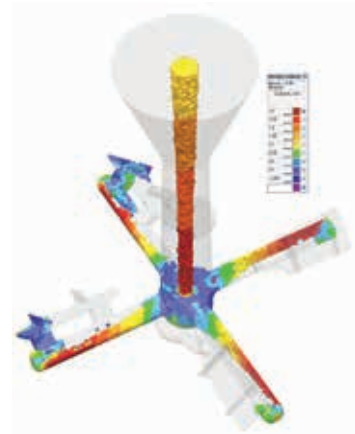
- форму, размеры и расположение усадочных раковин;
- размеры и расположение зон макропористости;
- размеры и расположение зон микропористости.



## Центробежное литье

«ПолигонСофт» имеет специальные модели для анализа заполнения формы и усадочной пористости при получении отливок методом центробежного литья. Пользователь задает ось, направление и частоту вращения литейной формы.

В сочетании с возможностями моделирования литья по выплавляемым моделям в вакууме «ПолигонСофт» становится незаменимым инструментом при производстве отливок из титановых сплавов.



Центробежное литье титановых отливок в керамическую форму в вакууме

## Коробление и трещины

Решатель «Гук» предназначен для расчета остаточных напряжений и деформаций, возникающих в отливке в процессе остывания и взаимодействия с формой. Встроенный критерий образования трещин показывает области возможного разрушения.

Специальные алгоритмы рассчитывают окончательное состояние отливки после извлечения из формы и удаления литниковой системы.

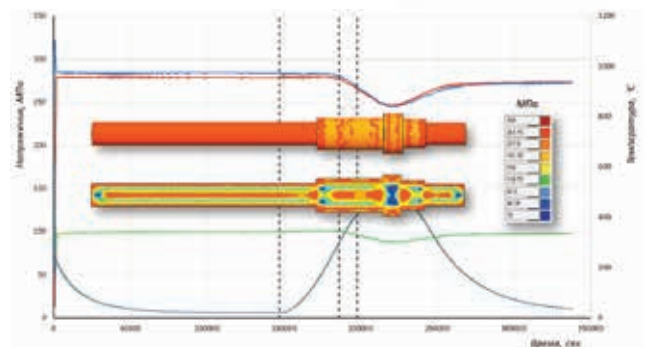
Надежность и устойчивость алгоритмов позволяют использовать решатель даже для моделирования процессов термообработки (заковки в различные среды, отжиг, отпуск и т.п.) с целью определения остаточных напряжений, деформаций, коробления и возможного разрушения.

На этом этапе технолог узнаёт:

- величину и распределение остаточных напряжений в отливке;
- величину и распределение деформаций напряжений в отливке;
- коробление отливки в целом и по осям;
- зоны вероятных горячих и холодных трещин.



Трещины в отливке (АО «ОДК» – «Салют»)

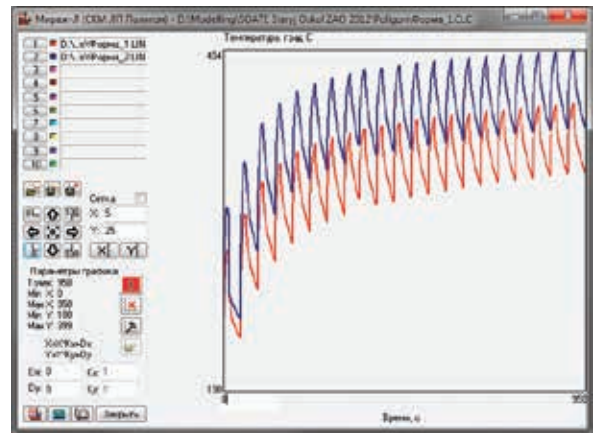


Остаточные напряжения в вале после термообработки (заковка и отпуск) (ПАО «Русполимет»)



## Циклические процессы

При некоторых способах литья (например, при литье под давлением) важно установить момент, когда форма выходит на тот температурный режим, который будет определять качество продукции. «ПолигонСофт» позволяет производить циклические расчеты и учитывать разогрев формы на предыдущих циклах, охлаждение формы при ее разьеме, установку стержней и т.д.

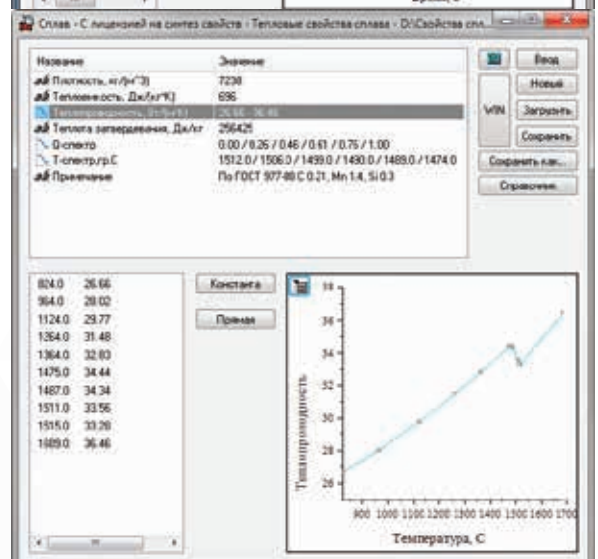
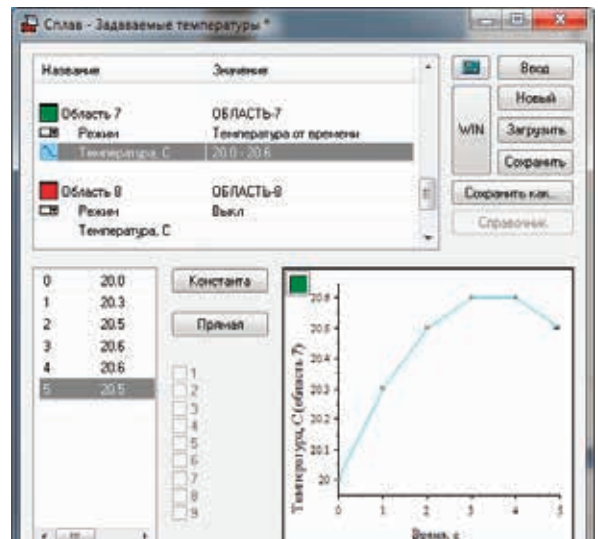


Контроль изменения температуры формы по циклам при ЛПД

## База материалов

«ПолигонСофт» поставляется с собственной базой отечественных материалов и сплавов, в которую входят свойства многих сталей, чугунов, алюминиевых, никелевых, титановых, медных, цинковых и драгоценных сплавов. Кроме того, она содержит данные по материалам формы (песчано-глинистые, жидкостекольные и холоднотвердеющие смеси, керамики, шамоты, асбест, дробь, теплоизоляционные и многие другие материалы, применяемые в литейном производстве).

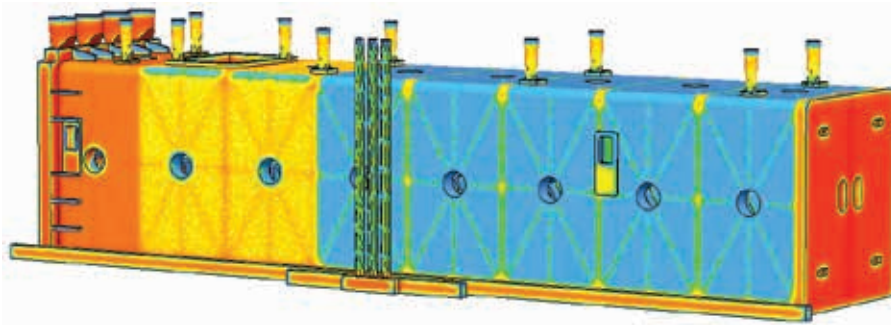
База данных может быть отредактирована и пополнена пользователем.



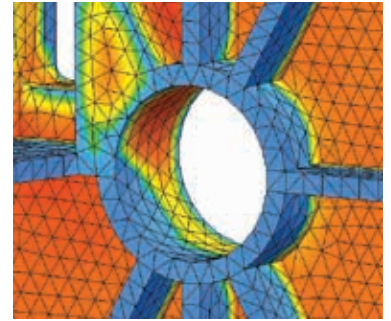
Редакторы свойств материалов и граничных условий

## Крупногабаритное литье

Благодаря использованию метода конечных элементов «ПолигонСофт» с успехом применяется для моделирования очень больших и при этом сравнительно тонкостенных отливок. В сочетании с возможностью использовать симметрию и многопоточные вычисления процесс моделирования занимает вполне приемлемое время. При этом задействуются вычислительные ресурсы (в первую очередь объем оперативной памяти), которые не выходят за рамки обычных офисных ПК.



- Габариты: 8700x2000x2080 мм
- Средняя толщина стенки: 30 мм
- Расчетная модель содержит 677 700 узлов и 3 170 621 элемент

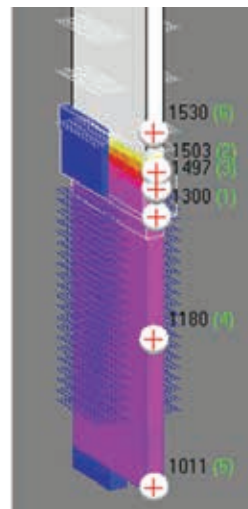


Отливка «Рама»  
(ООО Литейный завод  
«Петрозаводскмаш»)

## Непрерывное литье

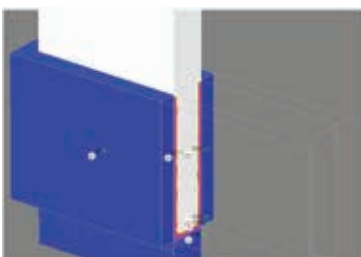
Физические процессы, протекающие внутри установки непрерывного литья заготовки и внутри сляба, плохо поддаются изучению с помощью эксперимента из-за габаритов оборудования и сложности технологии. В таком случае наиболее выгодным подходом с точки зрения затрачиваемых средств и времени выглядит применение вычислительного эксперимента, позволяющего исследовать процесс не на реальном оборудовании, а на его математической модели.

СКМ ЛП «ПолигонСофт» позволяет исследовать влияние различных параметров технологии на качество заготовки, выявить связи между колебаниями этих параметров и возникновением брака.

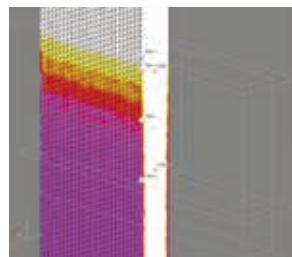


Промежуточный момент технологического процесса. Визуализация зон динамической среды, характеризующих тепловой режим разных частей системы:

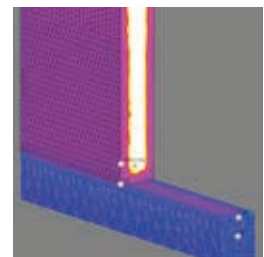
- белые слои сверху – содержание металла в условной ванне;
- синие слои снизу – зоны вторичного охлаждения



Температура в системе на момент завершения предпусковой выдержки



Детализация тепловой картины в зоне кристаллизатора



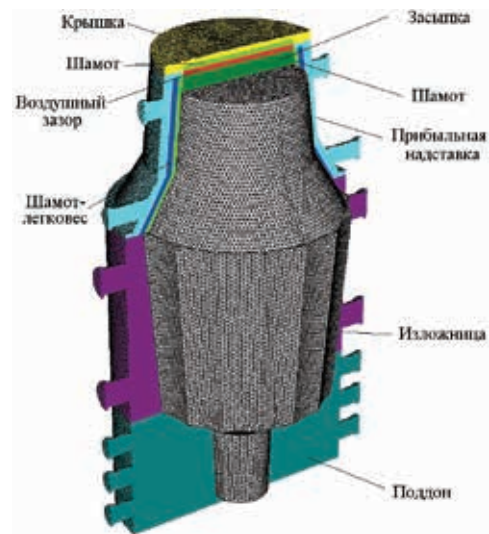
Детализация тепловой картины в сформированной части литой заготовки

## Изготовление крупных слитков

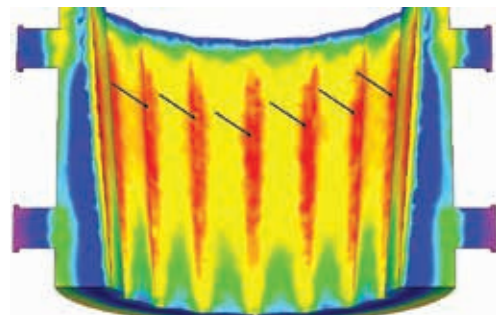
«ПолигонСофт» применяется при моделировании процессов формирования крупных стальных кузнечных слитков. Такие слитки массой от 100 до 500 тонн используются в качестве заготовок для изготовления роторов турбин, прокатных валков, валов для установки судовых гребных винтов. Поскольку продолжительность их заливки может достигать одного часа, а продолжительность кристаллизации – десятков часов, становится принципиально точное моделирование теплопередачи между отливкой и формой. Метод конечных элементов позволяет располагать узлы сетки непосредственно на границе раздела тел, что в сочетании с использованием совпадающих сеток отливки и формы минимизирует погрешность и позволяет с высокой точностью рассчитать процесс остывания слитка.

Компания CSofT Development приняла участие в научно-исследовательской работе, организованной компанией Siemens совместно с АО «НПО «ЦНИИТМАШ». В ходе этой работы было проведено моделирование технологии производства двух слитков и сравнение полученных результатов с экспериментальными данными. Сравнение кривых охлаждения, полученных в СКМ ЛП «ПолигонСофт», с замерами, сделанными с помощью термопар, установленных на глубине нескольких миллиметров под поверхностью различных частей оснастки, показало хорошее согласование результатов расчета с данными эксперимента.

Изложница должна выдерживать как можно большее количество наливов, однако длительные термические напряжения способны вызвать ее растрескивание. Поэтому исследование ее стойкости представляется весьма актуальной задачей. Анализ напряженно-деформированного состояния изложницы по критерию склонности к образованию трещин позволяет выявить расположение опасных зон и по возможности принять меры для снижения температурных напряжений в ее теле.

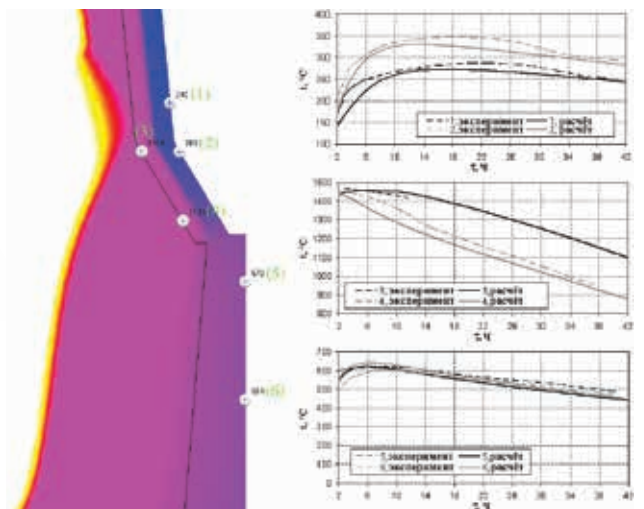


Конечно-элементная модель слитка массой 142 т, представленная в препроцессоре «Мастер-3D»



Моделирование в модуле «Гук-3D» склонности к возникновению трещин (опасные зоны выделены красным цветом)

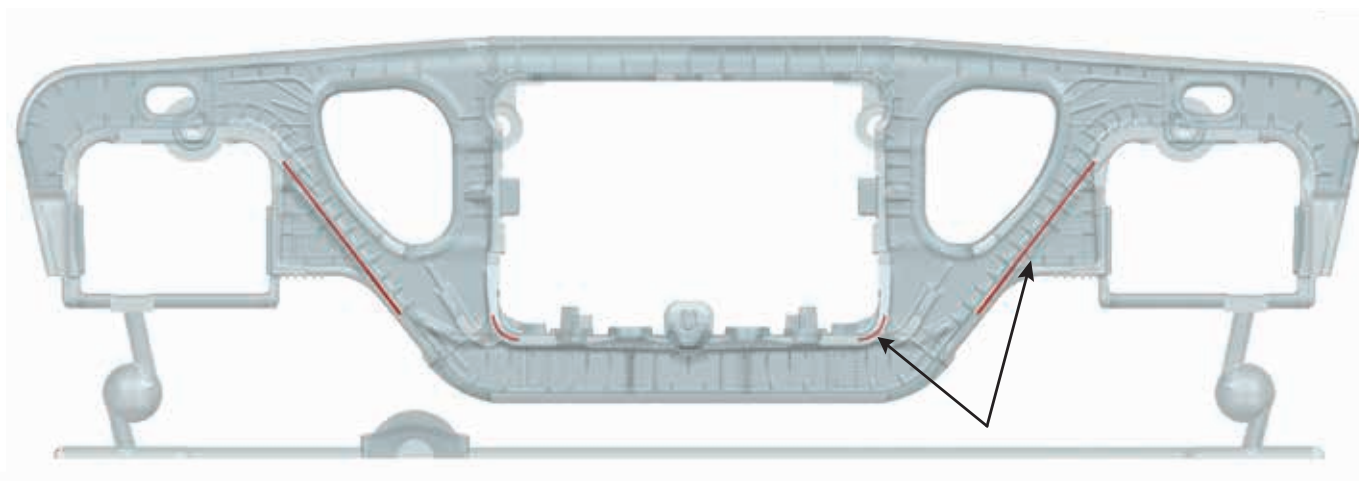
Изменение во времени температур в различных точках на поверхностях оснастки слитка массой 142 т в соответствии с результатами моделирования в СКМ ЛП «ПолигонСофт» (сплошные линии) и экспериментальными данными (пунктир)



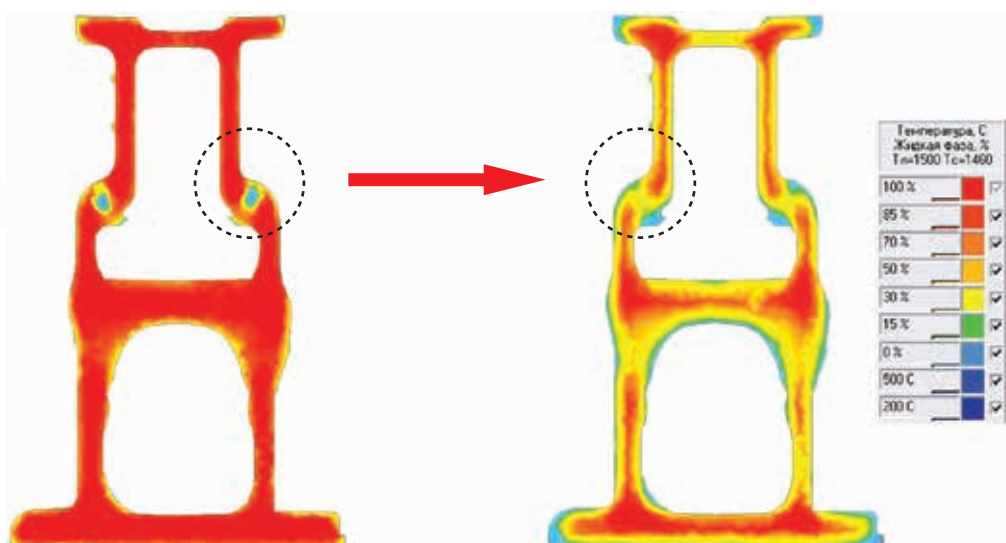
## Внутренние холодильники

Внутренние холодильники обычно изготавливают из того же сплава, что и отливку, и устанавливают внутрь полости формы, образующей тело отливки. При заполнении формы расплавом внутренние холодильники частично или полностью расплавляются и свариваются с основным металлом. Технологию интересует, как спроектированный холодильник влияет на тепловую картину отливки, ее кристаллизацию и насколько эффективно предотвращает возникновение усадочной пористости.

Возможность моделирования этого процесса – особенность, отличающая СКМ ЛП «ПолигонСофт» от многих подобных систем. Моделирование плавления холодильника с учетом поглощения тепла при фазовом переходе позволяет корректно спрогнозировать возникновение пористости и температурных напряжений в местах их установки.



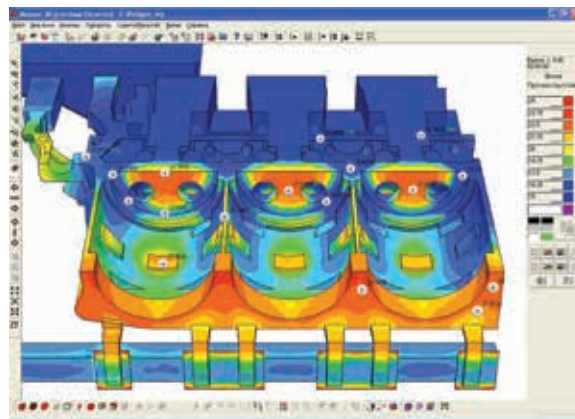
Места установки внутренних холодильников



Плавление внутренних холодильников в отливке  
«Рама боковая» (ЧАО «Азовэлектросталь»)

## Дополнительные возможности СКМ ЛП «ПолигонСофт»

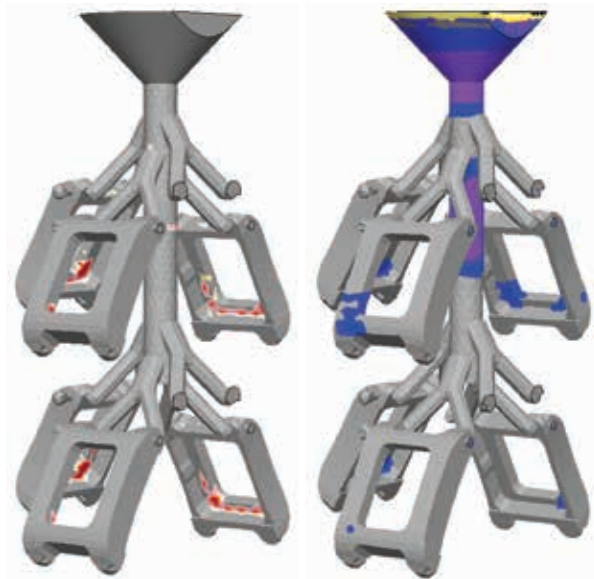
СКМ ЛП «ПолигонСофт» обладает большими возможностями критериального анализа полученных результатов. С помощью модуля «Критерий-3D» можно рассчитывать и анализировать такие свойства и параметры, как структура, твердость, пригар, размыв формы, скорость охлаждения и т.п. Модуль содержит широкий набор встроенных функций, позволяющих пользователю создавать собственные критерии анализа, отвечающие конкретному производству: степени, логарифмы тригонометрические, градиенты, скорости изменения величин, поиск минимального и максимального значений и многое другое.



Расчет прочности (ПАО «Звезда»)

## Критерий Ниямы

Хотя СКМ ЛП «ПолигонСофт» прогнозирует усадочную пористость, используя собственную специализированную модель, пользователь может применять модуль «Критерий-3D» для расчета критерия Ниямы. Этот безразмерный критерий, учитывающий местные тепловые условия, долгое время являлся стандартным для всех программных пакетов моделирования литья. Многие литейные производства по всему миру до сих пор используют его для прогнозирования пористости в отливках. Литейщики, применяющие моделирование, анализируют карты значений критерия Ниямы и предполагают, что усадочная пористость будет образовываться в тех областях, где критерий Ниямы ниже некоторой критической величины.



Прогноз усадочных дефектов в отливке: стандартная модель усадочной пористости СКМ ЛП «ПолигонСофт» (слева); критерий Ниямы, полученный с помощью модуля «Критерий-3D» (справа) (ЗАО «ПОЛЕТ-ЭЛИТА»)

## О компании

Первая версия СКМ ЛП «ПолигонСофт» (прежнее название – САМ ЛП «Полигон») была разработана в 1989 году в Центральном научно-исследовательском институте материалов (ЦНИИМ, Санкт-Петербург) по тематике Министерства оборонной промышленности. Это первый в мире коммерческий пакет, имеющий в своем составе математическую модель для расчета микропористости. СКП ЛП «ПолигонСофт» с успехом используется на предприятиях авиакосмической отрасли, где предъявляются повышенные требования к качеству отливок. На протяжении почти 30 лет происходит постоянное совершенствование системы, она воплотила в себе знания и опыт, накопленные за этот период крупнейшими институтами и десятками предприятий в России и за рубежом. В июле 2009 года коллектив разработчиков «ПолигонСофт» вошел в состав компании CSoft Development.



**CSoft Development** – ведущий разработчик программного обеспечения для рынка САПР в области машиностроения, промышленного и гражданского строительства, архитектурного проектирования, землеустройства и ГИС, электронного документооборота, обработки сканированных чертежей, векторизации и гибридного редактирования. Предложенные компанией CSoft Development современные разработки на базе 2D- и 3D-технологий – TechnologiCS, TDMS, Project Studio<sup>CS</sup>, Model Studio CS, GeoniCS и многие другие – позволяют проектным организациям автоматизировать выполнение множества повседневных задач, значительно повысить конкурентоспособность и культуру производства, открывают перспективы освоения новейших методик проектирования, обеспечивают возможность решать задачи в области САПР на самом высоком уровне и с учетом российских реалий. Продукты CSoft Development неоднократно отмечались наиболее известными журналами, посвященными тематике САПР.

**С 1989 года создано более 60 приложений, которые применяются крупными, средними и малыми предприятиями в России и за рубежом. Количество выданных лицензий превысило за это время 1 миллион, размер коммерческой базы инсталляций составляет 400 000 рабочих мест.**



### ОПЫТ И ЗНАНИЯ

Многолетний опыт и команда профессионалов



### УНИКАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ

Комплексная автоматизация и внедрение, возможность сочетать зарубежные и собственные разработки



### ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА

На всех этапах внедрения и использования продукта



### ОБУЧЕНИЕ

Проводим индивидуальное обучение под ваши задачи

## ОТЗЫВЫ



«В «НПЦ газотурбостроения “Салют”» производство всех отливок начинается с обязательного моделирования технологии. Это позволяет снизить затраты на проектирование и доводку литейной технологии за счет отработки конструкций литниково-питающей системы и температурно-временных характеристик технологического процесса не на реальной отливке, а на ее компьютерной модели.

Благодаря моделированию опытное производство в короткие сроки получает первые экземпляры отливок. Моделирование и анализ серийных технологий позволяют в ряде случаев выработать рекомендации, касающиеся снижения уровня брака по усадочным дефектам».

«НПЦ газотурбостроения “Салют”»



«Среди преимуществ СКМ ЛП «ПолигонСофт» последней версии следует отметить возможность моделирования падения струи, ее проникновения в расплав; моделирование образования закрытых раковин в прибыльной части слитка».

АО «НПО “ЦНИИТМАШ”»



«СКМ ЛП «ПолигонСофт» обладает рядом преимуществ перед аналогичной системой моделирования ProCast, которая используется в ЦНИИ КМ «Прометей» с 2014 года. В частности, пакет программ «ПолигонСофт» позволяет моделировать образование закрытых и открытых усадочных раковин в прибыльной части слитка, а также развитие усадочной пористости».

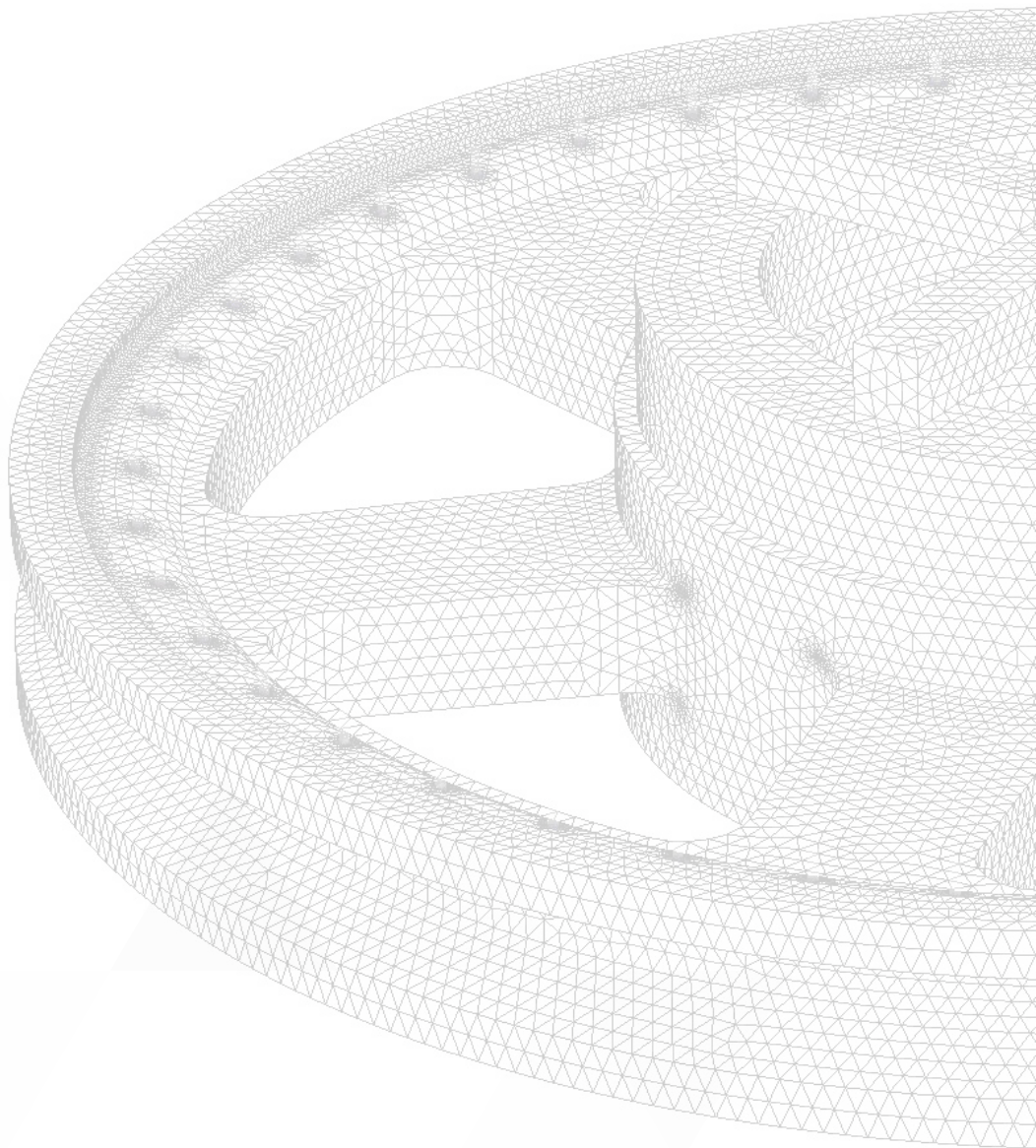
НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей»



ООО «ТК «ОМЗ - ИЖОРА»  
группа ОМЗ

«Когда в 2003 году потребовалось выбрать современное программное обеспечение, наиболее полно отвечающее задачам научно-исследовательского центра, предпочтение было отдано отечественной системе компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) “ПолигонСофт”».

Научно-исследовательский центр (НИЦ)  
«Территориальной компани “ОМЗ-Ижора”»



**CS**soft  
development

+7 (495) 913-22-22  
poligon@csdev.ru  
[www.poligonsoft.ru](http://www.poligonsoft.ru)