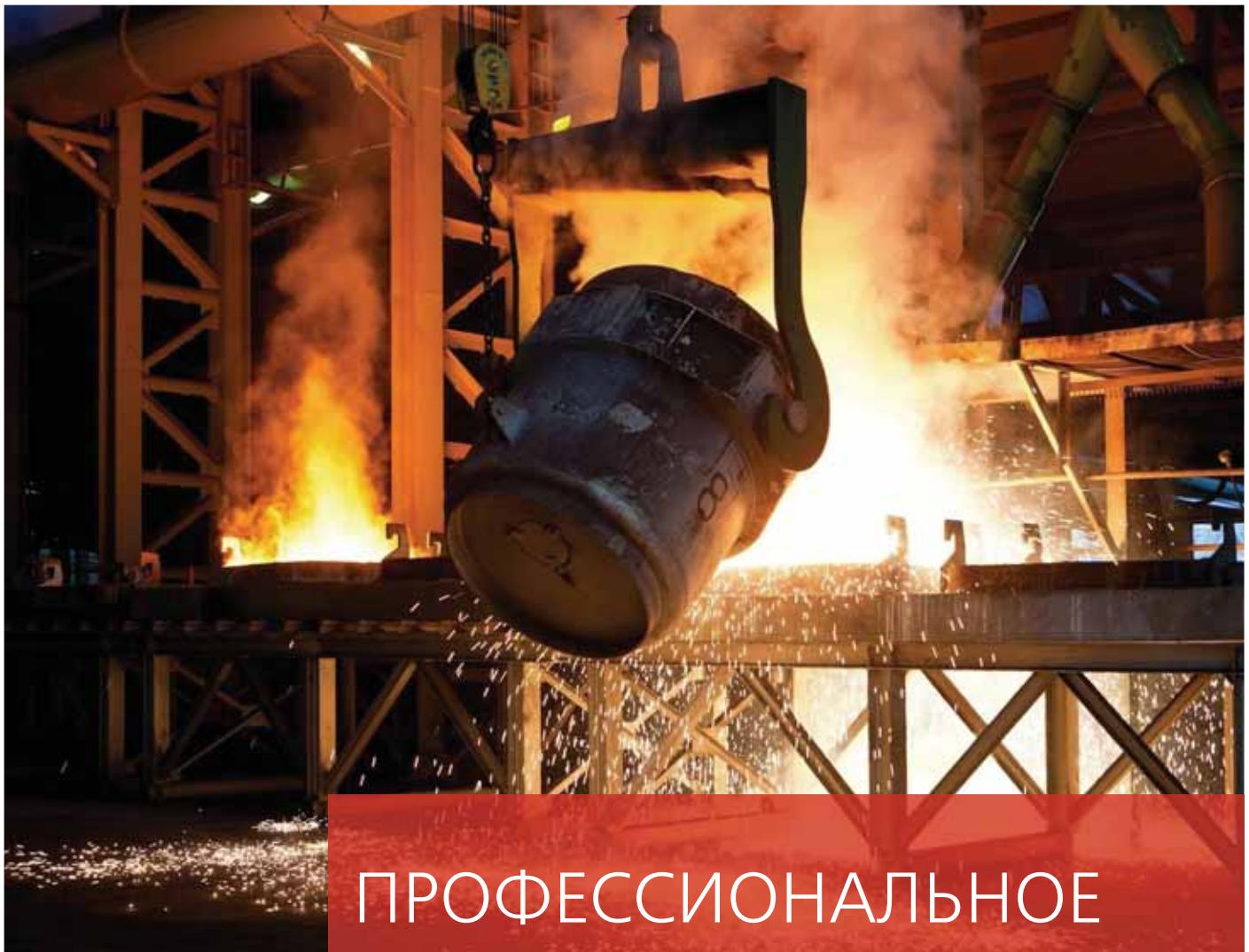


СКМ ЛП «ПолигонСофт»



ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ
РЕШЕНИЕ
ДЛЯ ЛИТЕЙНОГО
ПРОИЗВОДСТВА

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Система компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) «ПолигонСофт» – это профессиональный инструмент для создания, анализа и оптимизации литейной технологии. «ПолигонСофт» работает на базе метода конечных элементов и моделирует большинство литейных технологий для отливок из любых сплавов.



Универсальный инструмент

Выполняя анализ литейной технологии на компьютере еще до начала изготовления оснастки, технолог получает больше информации о процессе, чем может получить в литейном цехе, в том числе:

- падение температуры расплава в процессе заполнения формы;
- проливаемость формы;
- время заполнения формы;
- характер затвердевания отливки;
- расположение тепловых узлов;

- эффективность работы прибылей, холодильников, вставок и др.;
- перегрев формы;
- усадочные раковины;
- макро- и микропористость;
- остаточные напряжения;
- упругие и пластические деформации;
- коробление отливки;
- места вероятного образования трещин.

Сквозное моделирование

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

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 в термостате или на плацу, выбивка, обрубка литниковой системы, обрезка прибылей и т.д.

Работа с геометрией любой сложности

Благодаря конечно-элементному подходу «ПолигонСофт» может работать с моделью литейного блока и формы любой сложности, состоящей из множества элементов произвольной формы. Холодильники, стержни, песчаная или керамическая форма, теплоизолирующие и экзотермические материалы, металлургическое оборудование в той или иной степени влияют на качество отливки и могут участвовать в расчете.

«ПолигонСофт» поставляется вместе с генератором конечно-элементных сеток SALOME, однако препроцессор «Мастер-3D» позволяет загружать и использовать конечно-элементные сетки других форматов: Altair HyperMesh, ANSYS, ProCAST, Nastran, NX, CATIA V5, NEU, GiD, ISPA.

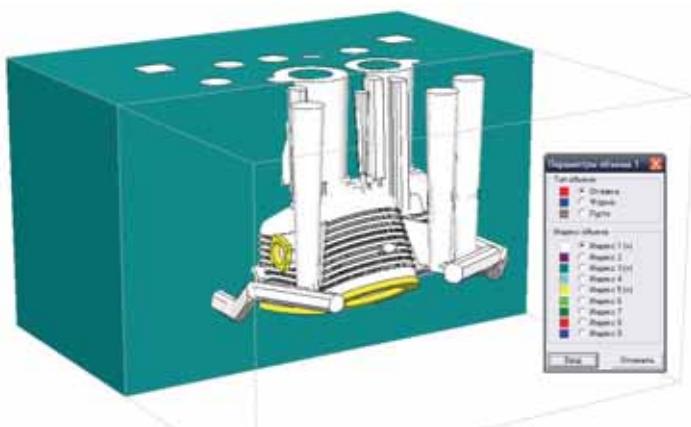
Собственный генератор тонких оболочек позволяет без предварительных построений в CAD-системе создавать

многослойные оболочки заданной толщины. Подобным способом могут быть сформированы такие несложные элементы, как крышки, футеровка, теплоизоляция и т.д.

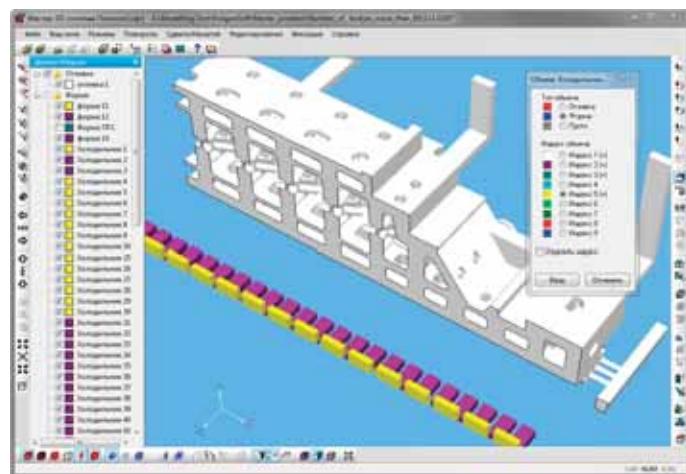
В некоторых случаях модель литейного блока может включать в себя до сотни элементов. Чтобы инженеру было удобно работать с большими моделями, в «Мастер-3D» добавлено «Дерево модели», позволяющее гибко управлять визуализацией и настройкой объектов.

«ПолигонСофт» имеет собственные средства проверки качества конечно-элементной сетки (проверяются углы и объемы элементов). Некачественные элементы могут быть исправлены или удалены из расчетной модели.

Специальный алгоритм анализирует геометрию на наличие тонких стенок и локально измельчает сетку, чтобы повысить точность расчета.



Модель отливки «Корпус» с холодильниками и кокилем, подготовленная к расчету в модуле «Мастер-3D»

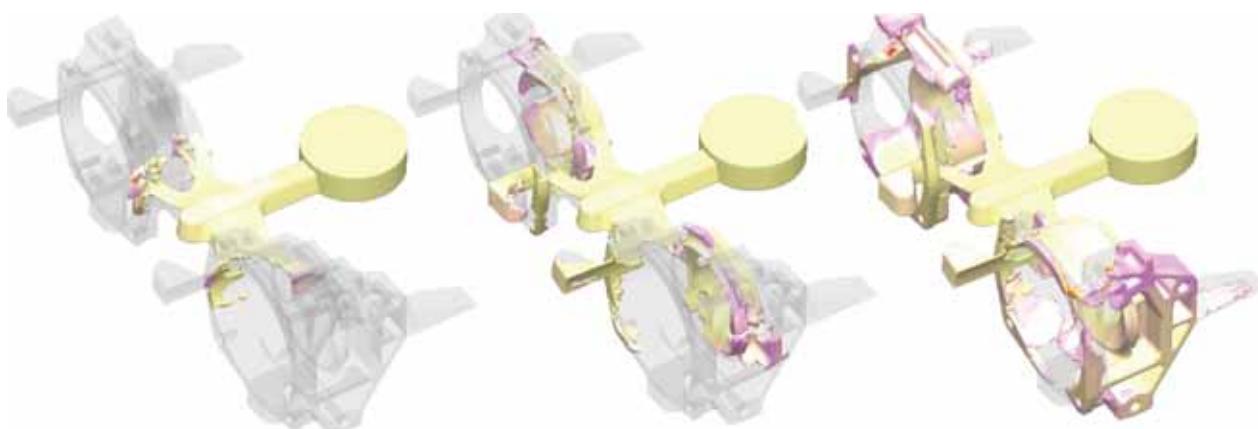


Расчетная модель, состоящая из отливки, формы и 76 стальных холодильников
(ЗАО «Петрозаводскмаш»)

Заполнение формы

Гидродинамический решатель «Эйлер-3D» позволяет рассчитать заполнение формы расплавом с постоянной или переменной скоростью через один или несколько стояков. Специальный параметр задает количество твердой фазы, при которой прекращается протекание расплава через сформировавшийся дендритный кар-

кас. Этот параметр позволяет отрегулировать работу модуля так, чтобы моделировать остановку течения переохлажденного расплава. В качестве эталона можно использовать справочные данные по жидкотекучести заливаемого сплава.

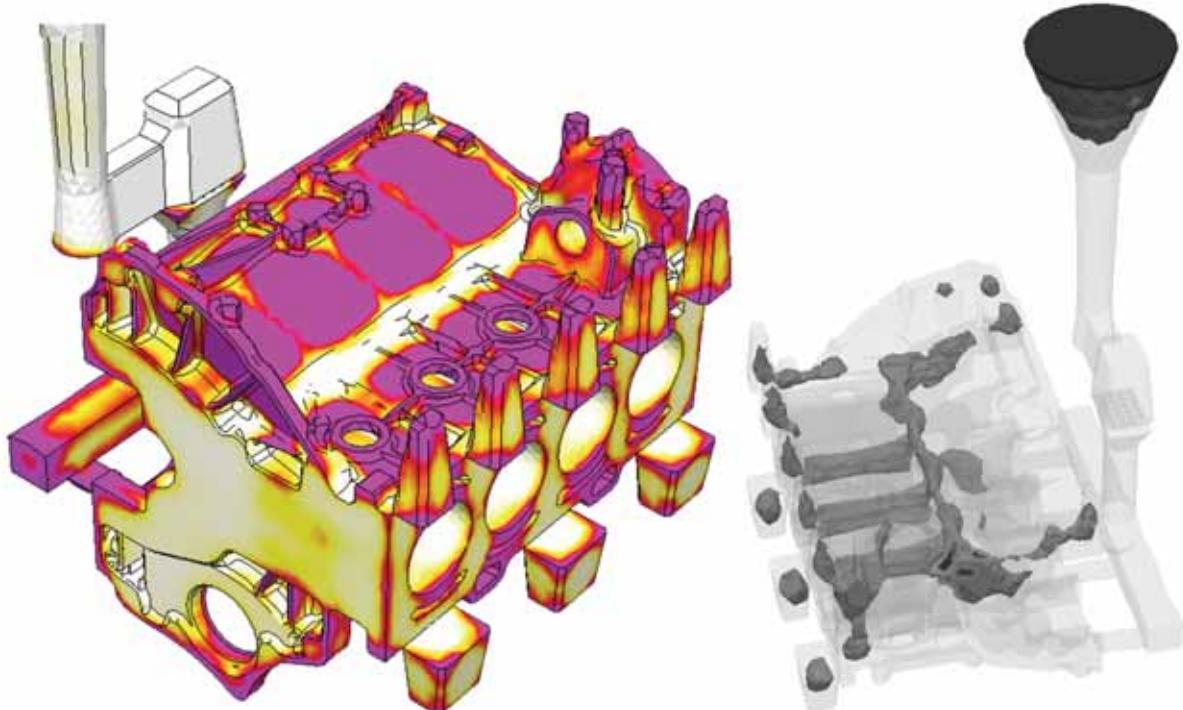


Литье под давлением
(ОАО «АВТРАМАТ»)

Затвердевание отливки

Тепловой решатель «Фурье-3D» выполняет расчет температурных и фазовых полей с учетом переноса тепла (теплопроводностью, конвекцией, излучением) и выделения тепла при кристаллизации, а также решает фильтрационную задачу, включая моделирование полей давления.

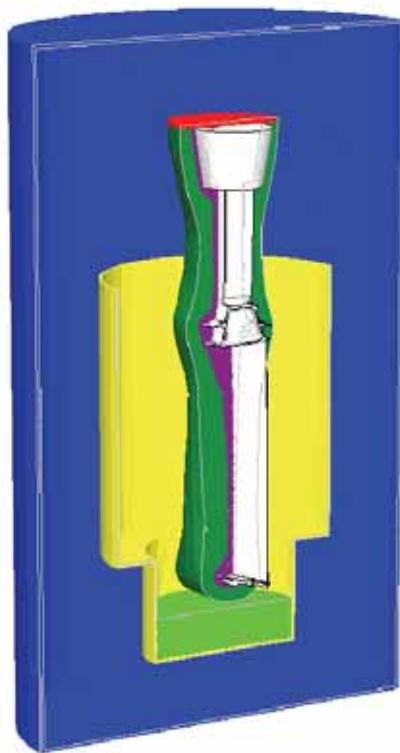
«Фурье-3D» позволяет производить сложные многострупенчатые расчеты, в процессе которых могут меняться условия охлаждения и геометрия расчетной области.



Температура и пористость
(ПАО «АвтоВАЗ»)

Теплообмен излучением

Благодаря использованию метода конечных элементов «Фурье-3D» может решать задачи теплообмена с учетом переизлучения и затенения. Это необходимо не только при литье в вакууме, но и при заливке литейных блоков-«кустов» по технологии литья по выплавляемым моделям (ЛВМ) без применения опорного наполнителя. Расположение отливок на «кусте», а также блоков относительно друг друга при заливке и остывании может существенно влиять на картину пористости.

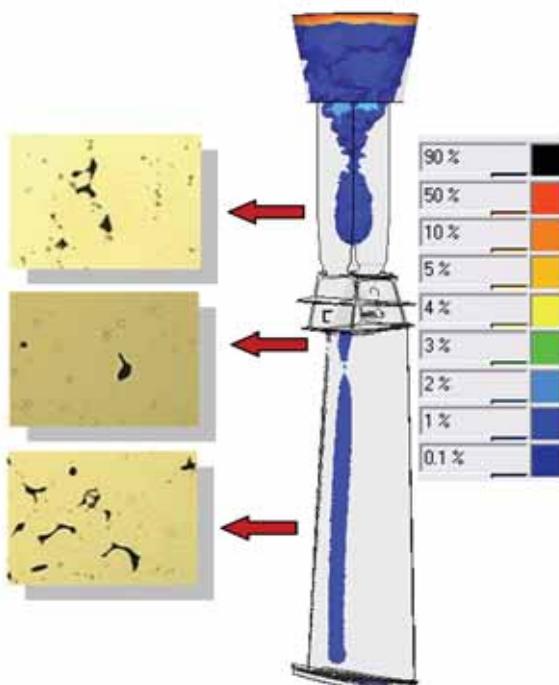


Расчетная область для моделирования ЛВМ в вакууме
(ФГУП «НПЦ газотурбостроения “Салют”»)

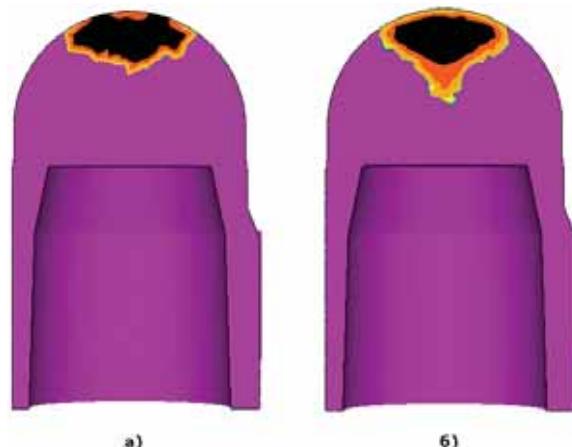
Раковины и пористость

Одно из несомненных преимуществ СКМ ЛП «Полигон Софт» – модель усадочной макро- и микропористости, которая позволяет точно прогнозировать образование дефектов, что крайне важно при изготовлении ответственных отливок (рабочие и сопловые лопатки ГТД, моноколеса, крыльчатки насосов и т.п.). Долгое время эта модель была не только самой передовой и точной, но и единственной в мире. «ПолигонСофт» и сегодня

успешно конкурирует с лучшими мировыми СКМ ЛП, не уступая им в точности прогноза усадочных дефектов. Начиная с версии 13.4, модуль «Фурье-3D» содержит новую модель формирования усадочной раковины и макропористости, основанную на усовершенствованном методе пошагового определения формы усадочной раковины с учетом капиллярного эффекта и падения давления при кристаллизации тепловых узлов.



Микропористость в лопатке ГТУ
(ФГУП «НПЦ газотурбостроения “Салют”»)

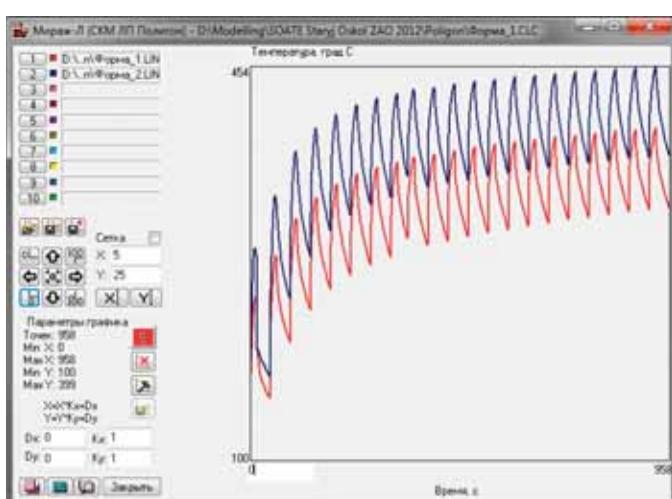


Сравнение формы усадочной раковины:
а) стандартная модель MAKPO;
б) новая модель MAKPO

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 разъеме, установку стержней.



Контроль изменения температуры формы по циклам при ЛПД
в модуле «Мираж-Л»

Коробление и трещины

Модуль «Гук-3D» предназначен для расчета остаточных напряжений и деформаций, возникающих в отливке в процессе остывания и взаимодействия с формой. Встроенный в алгоритм решателя критерий образования трещин показывает области возможного разрушения.

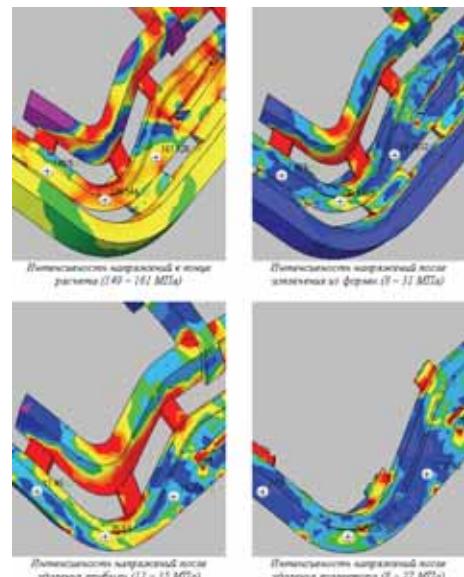
Напряженно-деформированное состояние отливки в конце затвердевания обусловлено, в общем случае, историей изменения температурного поля отливки и ее контактом с формой. Это состояние не является окончательным и может значительно отличаться от состояния отливки, извлеченной из формы и освобожденной от

элементов литниково-питающей системы. Таким образом, чтобы понять, какова будет конечная геометрия отливки и как в ней будут распределяться остаточные напряжения, необходимо произвести расчет после извлечения литейного блока из формы, а затем после удаления элементов литниково-питающей системы.

Надежность и устойчивость алгоритмов модуля «Гук-3D» позволяет использовать его даже для моделирования процессов термообработки (например, закалки в воду) с целью определения остаточных напряжений, деформаций, коробления и возможного разрушения.



Трещины в отливке
(ФГУП «НПЦ газотурбостроения «Салют»)

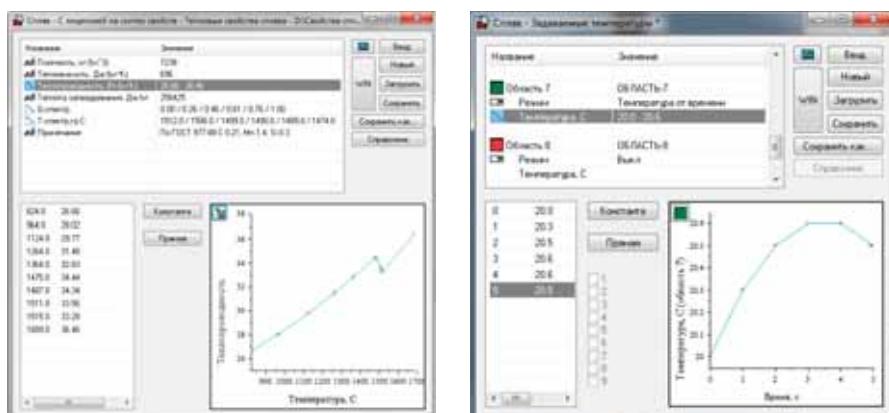


База данных материалов

Для моделирования литейной технологии необходимо использовать тепловые, усадочные, механические и другие свойства материалов отливки, формы и сред. «ПолигонСофт» имеет в своем составе гибкий и многофункциональный модуль «Сплав», объединяющий в себе справочник, средства хранения, редактирования и синтеза свойств материалов, граничных и начальных условий.

«ПолигонСофт» поставляется со стандартной базой данных, в которую входят свойства многих сталей, чугунов, алюминиевых, никелевых, титановых, медных, цинковых и драгоценных сплавов. Кроме того, вместе с системой поставляется база данных материалов формы, содержащая свойства песчано-глинистых и жидкостекольных смесей, керамик, шамотов, асбеста, дроби, теплоизоляционных и многих других материалов, применяемых в литейном производстве.

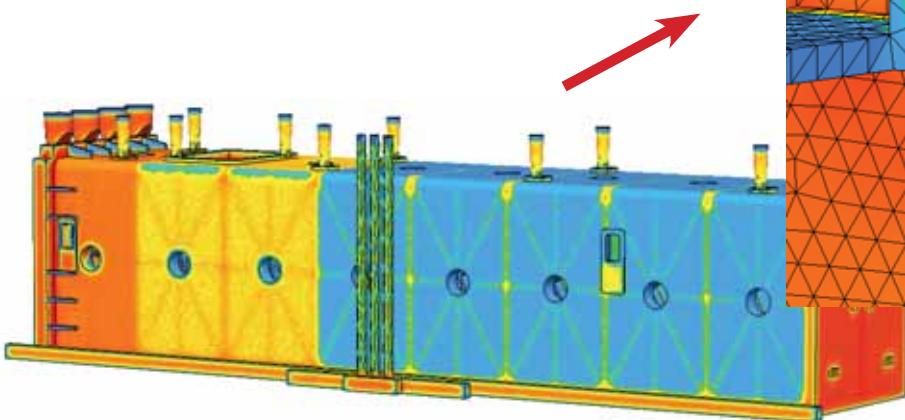
Базы данных могут быть отредактированы и пополнены пользователем.



Редакторы модуля «Сплав»

СКМ ЛП «ПолигонСофт» для крупногабаритного литья

Благодаря использованию метода конечных элементов система «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 действуются вычислительные ресурсы (в первую очередь – объем оперативной памяти), не выходящие за рамки обычных офисных ПК.



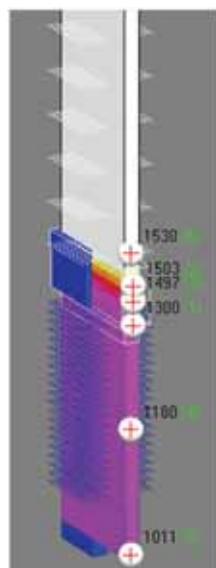
Отливка «Рама»
(ЗАО «Петрозаводскмаш»)

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

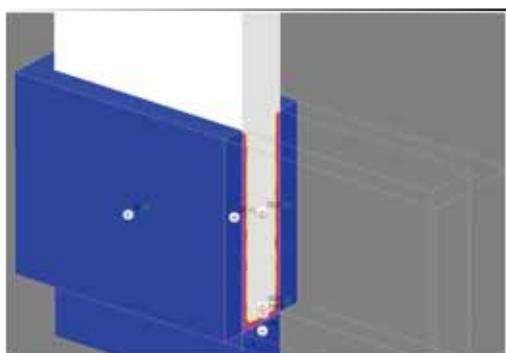
Непрерывное литье заготовок

СКМ ЛП «ПолигонСофт» может использовать для моделирования конечно-элементные модели с несовпадающими сетками. Это не только упрощает процесс подготовки модели к расчету, но и позволяет задавать «скользящие» контакты типа «отливка-форма», «форма-форма» и «отливка-отливка» при взаимном перемещении геометрических объектов.

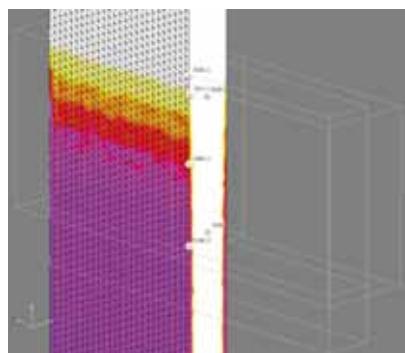
Это предоставляет возможность рассматривать задачи непрерывного литья – в частности, моделировать начальную стадию процесса: вытягивание сляба. Моделируются условия предстартовой выдержки и протяжка с охлаждением металла в кристаллизаторе, в охлаждающей среде ниже кристаллизатора, а затем – на воздухе.



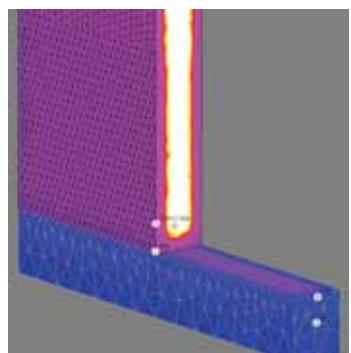
Промежуточный момент процесса вытягивания заготовки. Визуализация зон динамической среды, характеризующих тепловой режим разных частей системы: белые слои сверху – содержание металла в условной ванне; синие слои снизу – охлаждающая среда



Температура в системе на момент завершения предпусковой выдержки



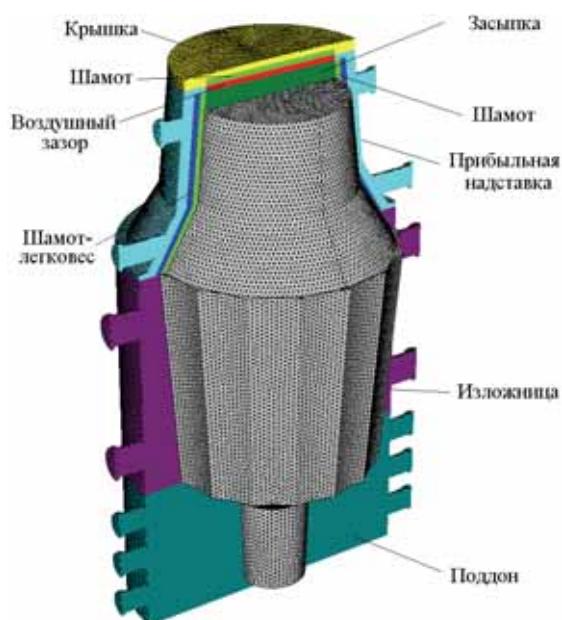
Детализация тепловой картины в зоне кристаллизатора



Детализация тепловой картины в сформированной части литой заготовки

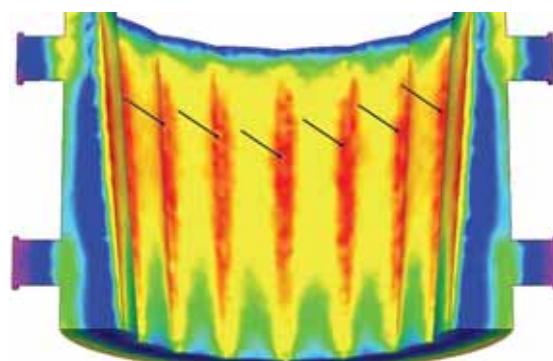
Изготовление крупных слитков

«ПолигонСофт» применяется для моделирования процессов формирования крупных стальных кузнецких 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 принципиальным точное моделирование теплопередачи между отливкой и формой. Метод конечных элементов предоставляет возможность 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.

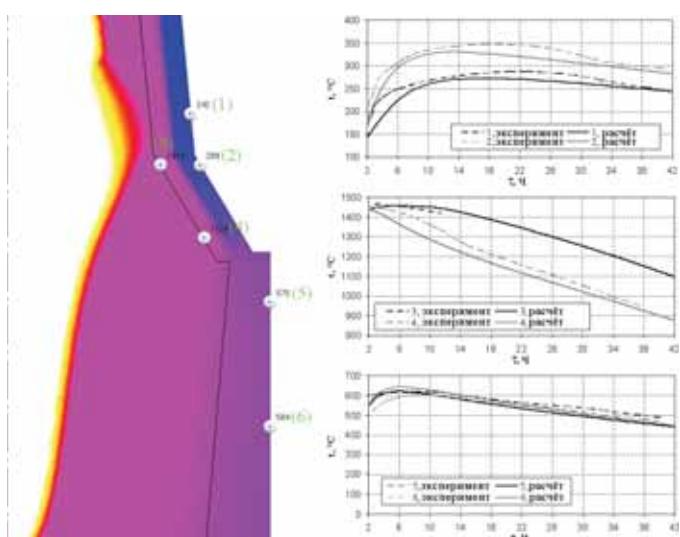


ЗАО «СиСофт» приняло участие в научно-исследовательской работе, организованной компанией Siemens совместно с ОАО НПО «ЦНИИТМАШ». В ходе этой работы было проведено моделирование технологии производства двух слитков и сравнение полученных результатов с экспериментальными данными. Сравнение кривых охлаждения, 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 в модуле «Гук-3Д» 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.



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

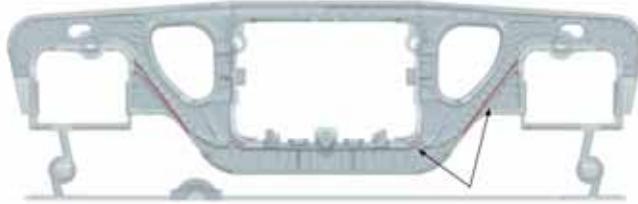


(На этой странице использованы материалы совместной публикации:
О.А. Брайтман, А.В. Монастырский, И.А. Иванов, А.Н. Мальгинов,
Е.В. Макарычева, Д.Ю. Сараев. Компьютерное моделирование процессов
формирования крупных стальных кузнецких слитков //
Литейщик России, 2011, №10, с. 7-15)

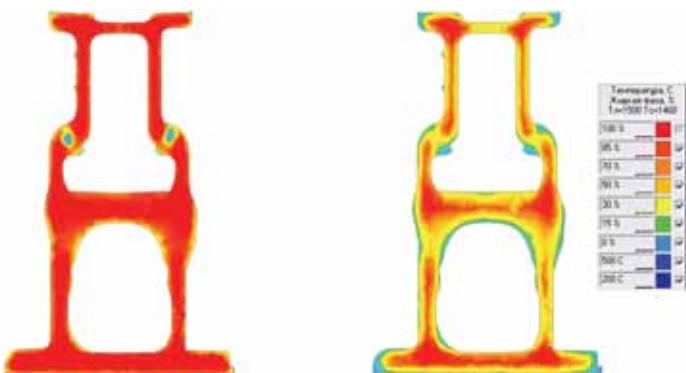
Моделирование внутренних холодильников

Внутренние холодильники изготавливают из того же сплава, что и отливку, и устанавливают внутри полости формы, образующей тело отливки. При заполнении формы расплавом внутренние холодильники частично или полностью расплавляются и свариваются с основным металлом. Технологов интересует, как спроектированный холодильник влияет на тепловую картину отливки, ее кристаллизацию и насколько эффективно предотвращает возникновение усадочной пористости. Возможность моделирования этого процесса – особен-

ность, отличающая СКМ ЛП «ПолигонСофт» от многих подобных систем. Холодильники задаются отдельными элементами расчетной системы, имеющими в начале расчета заданную температуру. Далее, в процессе кристаллизации, они рассматриваются решателем «Фурье-3D» как часть отливки. Это дает возможность рассчитать плавление холодильника с учетом поглощения тепла при фазовом переходе, а значит корректно спрогнозировать возникновение пористости и температурных напряжений в местах их установки.



Места установки внутренних холодильников



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

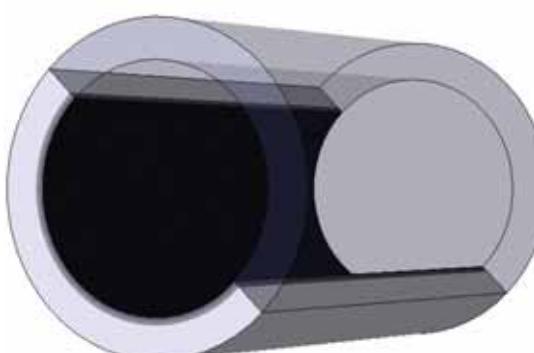
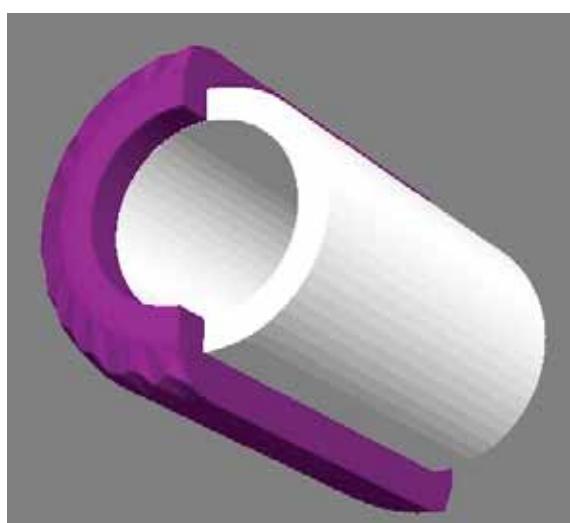
Центробежное литье

Принцип центробежного литья заключается в том, что заполнение формы расплавом и формирование отливки происходят при вращении формы вокруг горизонтальной, вертикальной или наклонной оси. Этим достигается воздействие на расплав и затвердевающую отливку поля центробежных сил. Процесс реализуется на специальных центробежных машинах и столах.

Главная особенность формирования отливок при центробежном способе литья заключается в том, что запол-

нение формы металлом и затвердевание отливки происходят в поле действия центробежных сил, которые могут в несколько раз превосходить силу тяжести.

«ПолигонСофт» моделирует тепловые и усадочные процессы при центробежном литье с произвольной ориентацией оси вращения, учитывая такие особенности этого процесса, как охлаждение свободной поверхности и центробежные силы.

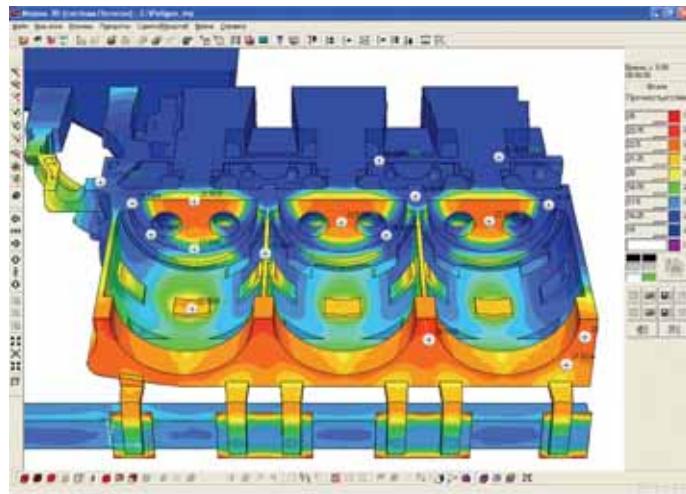


Моделирование технологии изготовления трубы методом центробежного литья с горизонтальной осью вращения

Дополнительные возможности СКМ ЛП «ПолигонСофт»

СКМ ЛП «ПолигонСофт» обладает большими возможностями критериального анализа полученных результатов. С помощью модуля «Критерий-3D» можно расчитывать и анализировать такие свойства и параметры, как структура, твердость, пригар, размыг формы, скорость охлаждения и т.п. Модуль содержит широкий на-

бор 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.

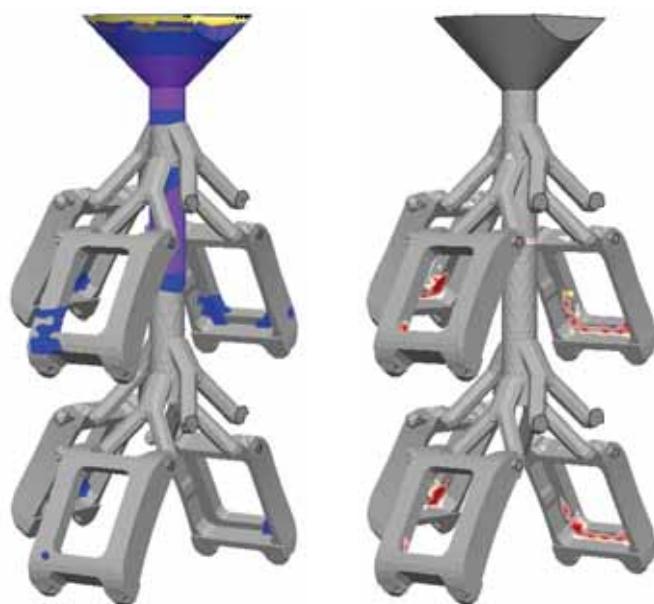


Расчет прочности (ОАО «Звезда»)

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 ис-

пользуют 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»)



Научно-исследовательский центр (НИЦ) «Территориальной компании "ОМЗ-Ижора"» создан в конце 2003 года на базе Центральной лаборатории ОАО «Ижорские заводы» (ЦЛЗ), которая на протяжении 120 лет являлась заводским подразделением по организации и проведению испытаний продукции разрушающими и неразрушающими методами, а также по проведению исследований качества материалов.

Санкт-Петербург, Колпино, Ижорский завод
Тел.: (812) 322-8681, факс: (812) 322-8289
www.izlab.spb.ru

В НИЦ накоплен большой опыт решения проблем повышения надежности энергетического оборудования и улучшения качества конструкционных материалов, что невозможно без точных данных о тепловом состоянии оборудования и конструкционных материалов в различных процессах металлургического передела. С 1980 года используются численные методы исследования тепловых процессов. 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) «Полигон-Софт».

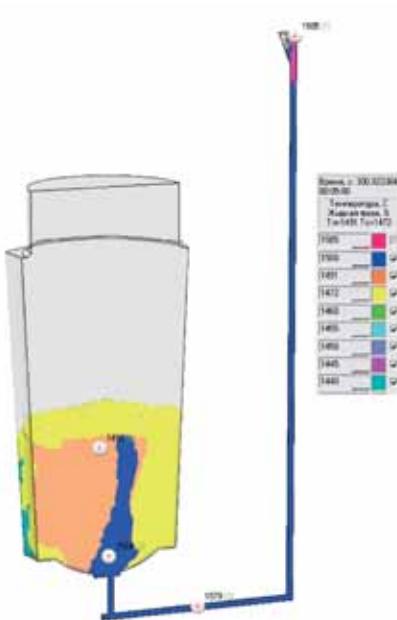
Помимо критерия «цена-качество» выбор определила широкая функциональность системы, позволяющая решать задачи, далеко выходящие за рамки литейных проблем.

Основные направления деятельности НИЦ по моделированию технологических процессов:

- вопросы, связанные с выплавкой, разливкой и кристаллизацией слитков массой до 360 т;
- расчеты процессов термообработки с учетом требований заказчика (разработка температурно-временных параметров режима нагрева, выбор среды охлаждения с целью получения требуемой структу-

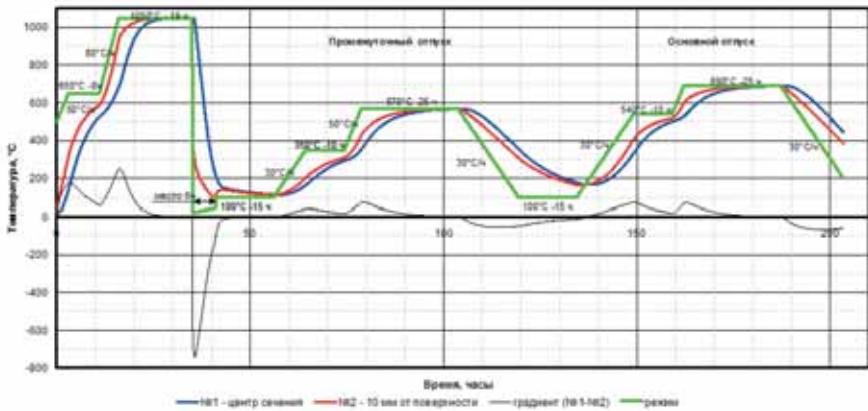
ры, глубины закаленного слоя, распределения остаточных напряжений);

- определение температурного состояния заготовок в процессе нагрева сложных садок с учетом их расположения в печи, листового проката в пакетах, местной термообработки сварных швов толстостенных сосудов большого диаметра (до 5 м);
- учет влияния специальных приспособлений, используемых при термообработке, на сдаточные характеристики основного металла и проб; влияния способов заделки термопар на точность проведения экспериментов;
- определение размеров образцов, способа и среды охлаждения для имитации в лабораторных условиях температурно-временных параметров охлаждения заготовки в указанной точке;
- определение параметров режимов нагрева и оценка температурного состояния заготовок в процессе операции при обработке металлов давлением (штамповка, ковка, прокатка);
- проведение экспертизных работ при необходимости установления причины возникновения брака, не получении заданных свойств материала, для разрешения спорных вопросов по качеству заготовок и т.п.

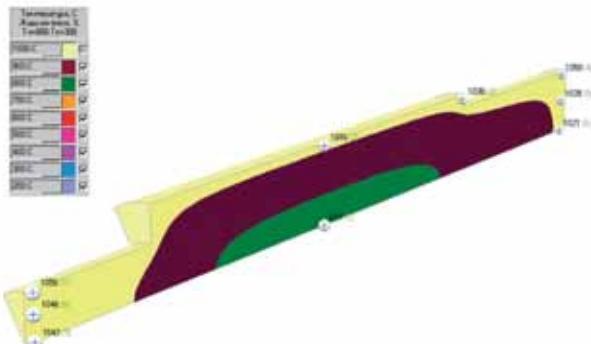


Моделирование разливки сифонного слитка массой 28 т





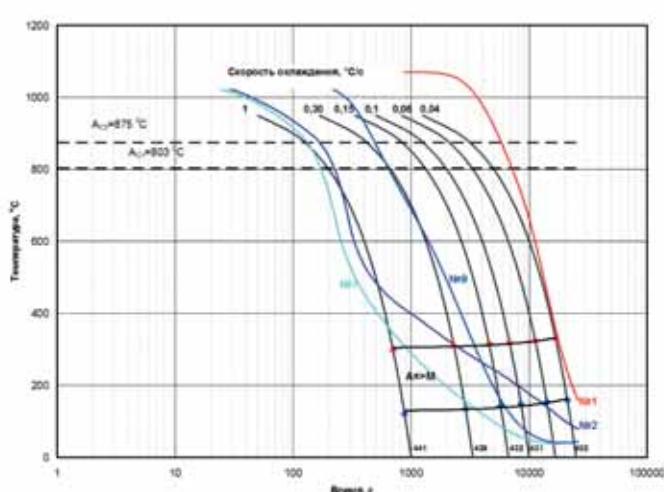
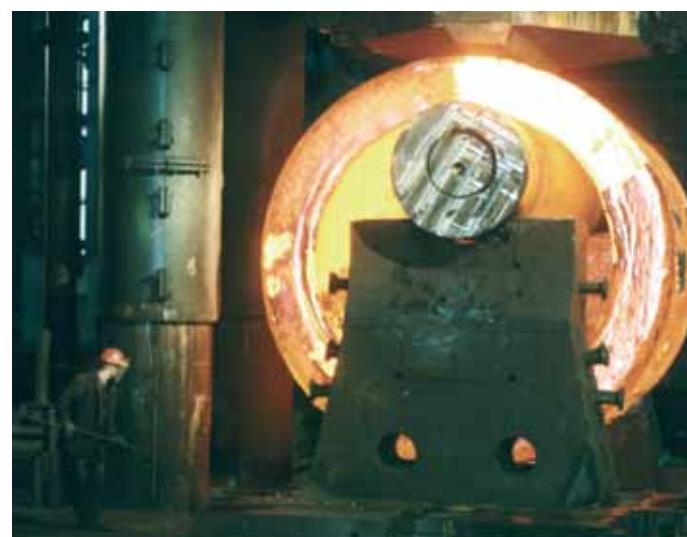
Режим термообработки ротора (диаметр бочки ~ 1000 мм, общая длина ~ 5000 мм), разработанный на основе моделирования процесса в СКМ ЛП «ПолигонСофт»



Температурное поле заготовки ротора на момент достижения печью температуры закалки



Температурное поле заготовки ротора после 1 часа охлаждения в масле



Термокинетическая диаграмма стали с наложенными на нее кривыми охлаждения контрольных точек заготовки ротора

Сергей Шкляев,
начальник лаборатории исследований
и испытаний технологических процессов
НИЦ ООО «ТК «ОМЗ-Ижора»»
E-mail: schklyaev@ijora.spb.ru

Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-производственный центр газотурбостроения «Салют» – один из крупнейших производителей газотурбинных авиационных двигателей и наземных промышленных газотурбинных установок (ГТУ).



Турбореактивный двухконтурный двигатель с форсажной камерой



Газотурбинный двигатель ГТД-20С

Литейное производство ФГУП «НПЦ газотурбостроения «Салют»»

Литейное производство ФГУП «НПЦ газотурбостроения «Салют» специализируется на выпуске литых деталей ГТД, ГТУ и деталей общего машиностроения из сплавов на основе никеля, алюминия, нержавеющих сталей, чугуна и бронзы.

Для выпуска отливок на всех этапах производства используется оборудование ведущих фирм-производителей:

- CAD/CAM-система Unigraphics (США);
- CAE-системы СКМ ЛП «ПолигонСофт» (Россия) и ProCAST (Франция);
- установка стереолитографии SLA-7000 (США);
- установка TermoJet (США) для выращивания восковых моделей;
- трехкоординатный станок с ЧПУ МАНО (Германия);
- пятикоординатный четырехшпиндельный станок LIECHTNI (Швейцария);
- стержневой пресс-автомат Mercia (Англия);
- модельные прессы Mueller Phipps (США) усилием 12 и 50 тонн;
- лазерная четырехкоординатная установка «Салют» с компьютерным управлением;
- автоматизированная линия окраски блоков VA Technology (Англия);
- бойлерклав фирмы LBBC (Англия);
- плавильные установки УВНК-8П, УВНК-8ПМ (с компьютерным управлением), УВНК-12, УППФ-ЗМ, ВПДС-1.1, ВИПЭ-2, УВП-5, УВПП-2, ALD.



Установка стереолитографии SLA-7000



SLA-модель и готовая отливка



Примеры продукции литейного производства
ФГУП «НПЦ газотурбостроения «Салют»»

Изготовление отливки «Корпус верхний»

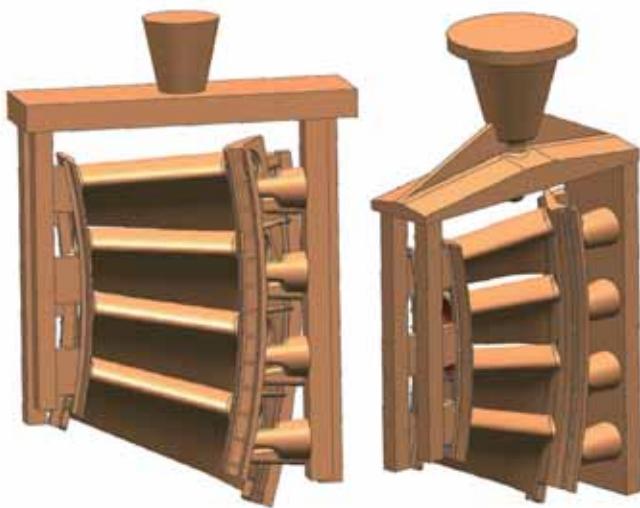


3D-модель литейного блока и результаты моделирования пористости в СКМ ЛП «ПолигонСофт»

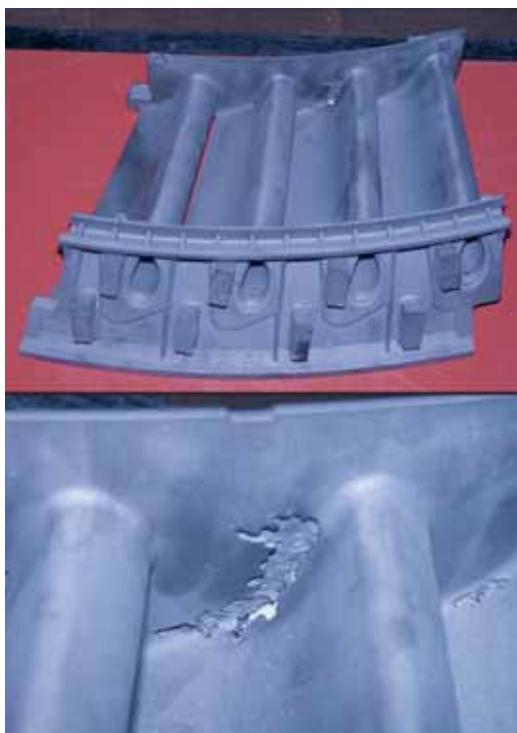


Готовая отливка «Корпус верхний».
Годная отливка получена после первой заливки

Блок сопловых лопаток 3-й ступени ГТУ МЭС-60



Варианты конструкции блоков, разработанные с помощью СКМ ЛП «ПолигонСофт».
Годная отливка получена после первой заливки



Дефекты на опытных отливках до моделирования технологии

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.

Анатолий Алферов,
начальник литейного производственного комплекса
E-mail: saprlp@salut.ru
Тел.: (499) 785-8875

Историческая справка

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 обороны 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.



Подробнее узнать о моделировании литейных процессов и возможностях СКМ ЛП «ПолигонСофт» вы можете на сайте компании CSoft (www.csoft.ru), на специальном сайте, посвященном моделированию литейных процессов (www.castsoft.ru), а также обратившись к нашим специалистам.

Официальный представитель в вашем регионе

