

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»**

Кафедра сварочных, литейных и аддитивных технологий

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
по выполнению расчетно-графической работы
по дисциплине «Компьютерное моделирование
литейных процессов»**



Уфа 2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»
Кафедра сварочных, литейных и аддитивных технологий

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
по выполнению расчетно-графической работы
по дисциплине «Компьютерное моделирование
литейных процессов»

Учебное электронное издание сетевого доступа

© УГАТУ

Уфа 2022

Авторы-составители: И. Р. Мухамадеев, В. В. Мухамадеев

Методические рекомендации по выполнению расчетно-графической работы по дисциплине «Компьютерное моделирование литейных процессов» [Электронный ресурс] / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т ; [авт.-сост. : И. Р. Мухамадеев, В. В. Мухамадеев]. – Уфа : УГАТУ, 2022. – URL: https://www.ugatu.su/media/uploads/MainSite/Ob%20universitete/Izdateli/El_izd/2022-70.pdf

Содержат рекомендации по написанию, оформлению и защите расчетно-графической работы по дисциплине «Компьютерное моделирование литейных процессов».

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 15.03.01 Машиностроение.

Рецензент канд. техн. наук, доц. Е. С. Гайнцева

При подготовке электронного издания использовались следующие программные средства:

- Adobe Acrobat – текстовый редактор;
- Microsoft Word – текстовый редактор.

Авторы-составители: *Мухамадеев Ильшат Рифкатович*
Мухамадеев Венер Рифкатович

Редактирование и верстка *Р. М. Мухамадиева*
Программирование и компьютерный дизайн *О. М. Толкачёва*

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Подписано к использованию: 26.04.2022
Объем: 1,79 Мб.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»
450008, Уфа, ул. К. Маркса, 12.
Тел.: +7-908-35-05-007
e-mail: rik@ugatu.su

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель расчетно-графической работы – овладение студентами навыков расчета процесса заполнения и затвердевания отливок в программных пакетах инженерного анализа процессов литейного производства.

Задачами работы являются:

- углубление понимания и закрепление теоретического материала лекционных занятий, посвященных обсуждению вопросов процессов заполнения и затвердевания отливок;
- приобретение навыков работы в программных пакетах инженерного анализа процессов литейного производства;
- выполнение расчета заполнения и затвердевания конкретной отливки, в соответствии с заданием на работу.

2. СТРУКТУРА РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Материал расчетно-графической работы должен быть изложен четко и логически последовательно с конкретным описанием результатов и выводов.

Расчетно-графическая работа должна иметь следующую структуру:

- титульный лист;
- задание на РГР;
- содержание;
- введение;
- основная часть;
- заключение;
- список литературы;
- приложения (при необходимости).

Содержание включает введение, наименование всех разделов, подразделов, пунктов (если они имеют наименование) и заключение с указанием номеров страниц, на которых размещаются эти наименования.

Введение содержит оценку современного состояния решаемой задачи, ее актуальности и новизну, обоснование необходимости проведения дальнейших исследований и цель работы.

Основная часть работы включает:

- обоснование выбранного программного обеспечения и общую методику достижения поставленной в работе цели;
- теоретические и (или) экспериментальные исследования;
- обобщение и оценку результатов исследований.

При этом основная часть делится на разделы, которые, в свою очередь, могут делиться на подразделы и пункты. Первый раздел содержит анализ современного программного обеспечения и постановку задачи. Второй раздел включает описание конструкции отливки, литниково-питающей системы и технологического процесса получения отливки. Третий раздел содержит изложение самостоятельно полученных студентом теоретических и экспериментальных результатов. Во всех разделах работы необходимо указывать ссылки, откуда почерпнуты необходимые сведения.

Заключение содержит краткие выводы по результатам выполненной работы, оценку полноты решения поставленной задачи и предложения по использованию полученных результатов.

Список литературы включает только те источники, которые использованы при выполнении расчетно-графической работы. Источники располагаются в списке в порядке появления ссылок на них в работе либо в алфавитном порядке. Сведения об источниках приводятся в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2003.

Общий объем расчетно-графической работы не должен превышать 40 страниц. Надо излагать материал работы кратко и ясно.

3. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Пояснительная записка оформляется аккуратно, исправления вносятся путем закрашивания ошибок корректирующей жидкостью. Текст пояснительной записки набирается на компьютере в текстовом редакторе MS Word, шрифт Times New Roman, размер шрифта – 14, с полуторным интервалом. Все схемы, формулы, графики, таблицы должны быть пронумерованы и снабжены подписями и ссылками в тексте.

Бумага – стандартного размера 210×297 мм (формат А4). Страницы нумеруются. Отступы – по ГОСТ или СТБ УГАТУ. Листы скрепляются по левому краю и подшиваются в папку вместе со схемами и другими иллюстрациями.

Пояснительная записка должна отвечать следующим требованиям:

- четкость и логическая последовательность изложения материала;
- убедительность аргументации;
- конкретность и полнота изложения результатов работы;
- четкость и обоснованность заключения.

Титульный лист пояснительной записки должен содержать всю информацию, необходимую для однозначной идентификации работы и ее автора.

В пояснительной записке должны быть выдержаны единые обозначения и единые размерности для используемых параметров. Допускаются только общепринятые сокращения слов, терминов, обозначений.

Законченная пояснительная записка обязательно подписывается студентом и консультантом расчетно-графической работы.

4. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ PROCAS

Основа ProCAST – единый графический интерфейс Visual Environment (рис. 1) с интегрированными в него генератором конечно-элементных сеток, препроцессором, базами данных, постпроцессором и двумя решателями: гидродинамическим (Flow solver) и тепловым (Thermal solver). В качестве дополнительных опций предлагается большой список модулей, расширяющих базовые возможности программы.

Почти все модули ProCAST используют для решения соответствующих дифференциальных уравнений метод конечных элементов (МКЭ). Исключение составляют модуль расчета газовой и усадочной микропористости (Advanced Porosity Module), использующий метод конечных разностей (МКР), и модуль расчета процесса зарождения и роста зеренной структуры (SAFE), сочетающий в себе МКЭ и клеточные автоматы.

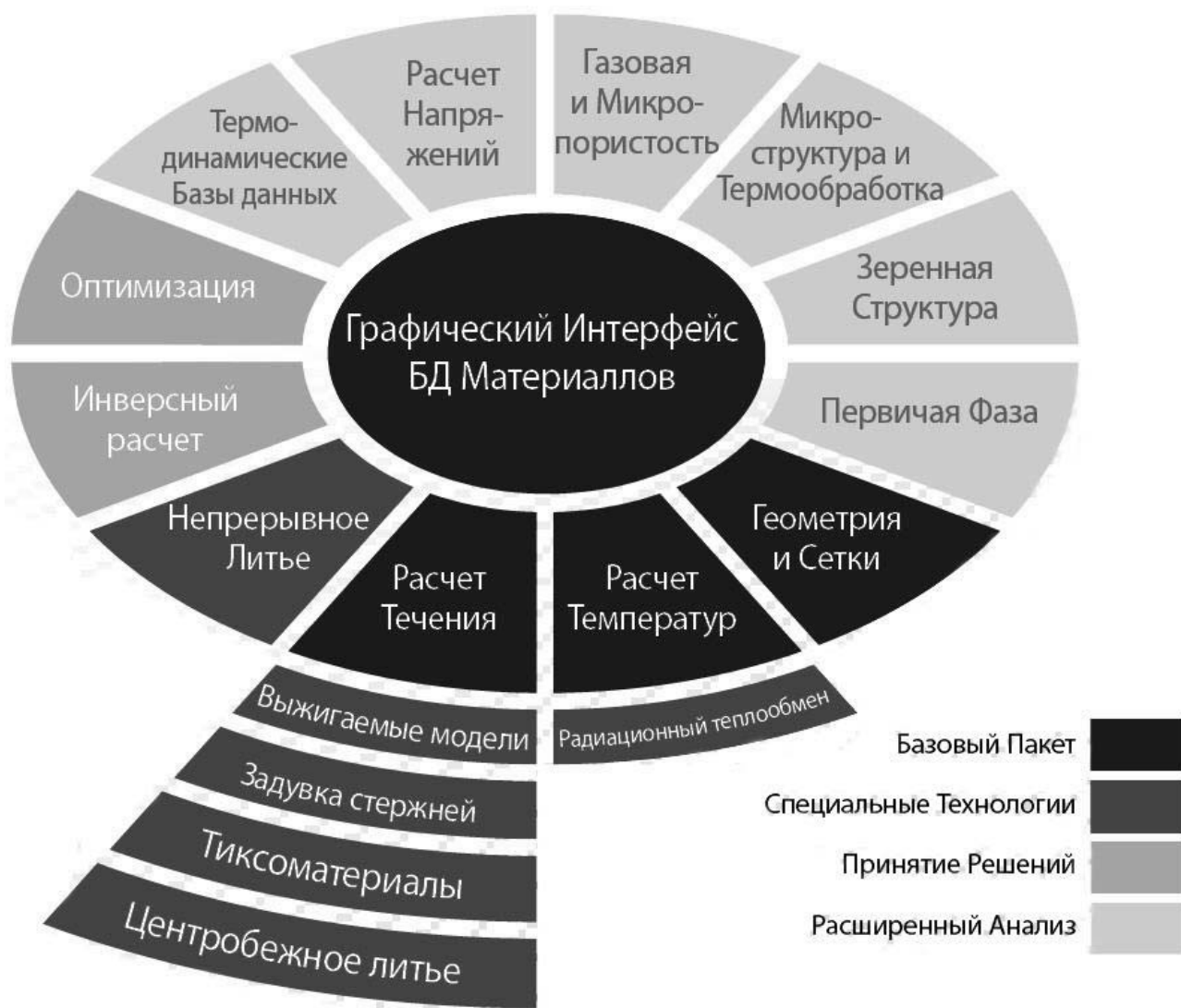


Рис. 1. Модульная структура ProCast

Для подготовки сеточной модели в ProCAST используется автоматизированный генератор 2D- и 3D-конечно-элементной сетки Visual-Mesh. Он позволяет импортировать CAD-модели в форматах IGES, STEP, CATIA, ProE, UG и Parasolid, а также сеточные 2D- и 3D-модели в форматах NASTRAN, PATRAN, I-DEAS, ANSYS, ABAQUS и др. В составе Visual-Mesh (рис. 2) есть алгоритмы для автоматического создания многослойных сеточных оболочек, что позволяет формировать модели керамической формы, теплоизоляционных материалов и т. п., не прибегая к моделированию в CAD-системе. Специальная среда выполнения типовых операций использует пошаговую схему работы и проводит пользователя через необходимые этапы построения сетки до полного завершения ее генерации.

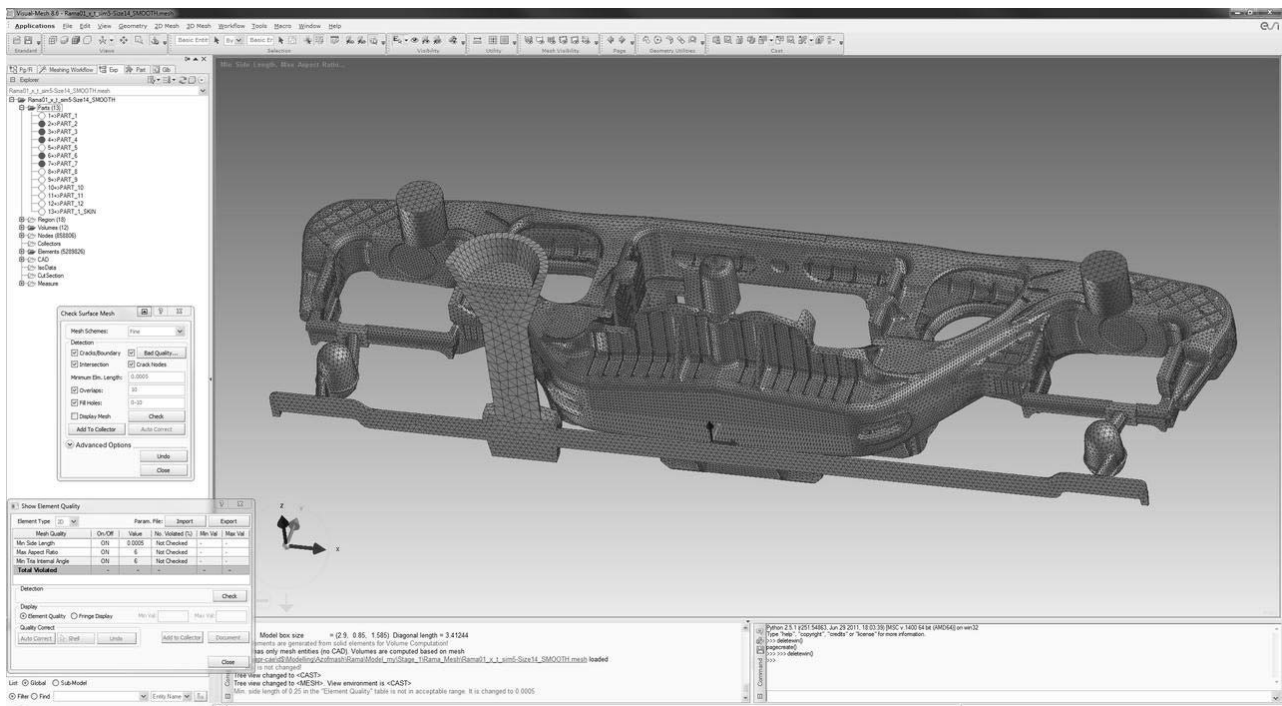


Рис. 2. Сеточная модель литейного блока

ProCAST Flow solver – модуль, рассчитывающий заполнение формы жидким расплавом (рис. 3). Расчет течения описывается полным уравнением Навье-Стокса и может проводиться вместе с анализом температуры и напряжений. В решатель добавлена специальная модель для анализа турбулентных потоков. ProCAST Flow solver позволяет получить представление о характере заполнения формы расплавом, размывании песчаной формы, воздушных карманах, турбулентном течении, засорах, непроливах и холодных смях. С помощью дополнительных опций можно моделировать центробежное литье, литье по выжигаемым моделям, изготовление песчаных стержней и литье тиксоматериалов.

ProCAST Thermal solver – решатель, моделирующий тепловые явления в процессе заливки формы и кристаллизации отливки и позволяющий рассчитывать температурные поля в отливке и форме с учетом теплопроводности, конвекции и излучения (в окружающую среду). С помощью энтальпии учитывается тепловыделение, связанное с изменением фазового состава при кристаллизации и в твердом состоянии. ProCAST Thermal solver решает следующие задачи: вычисление температурных полей в отливке и форме, выявление тепловых узлов в отливке и мест перегрева формы, расчет усадочной раковины и макропористости (рис. 4). Эффективно

моделируется многоцикловое литье в постоянные формы (учитываются все стадии процесса: заливка, выдержка, извлечение отливки, охлаждение, обдув воздухом), что позволяет получать правдоподобное температурное поле формы в процессе выпуска партии деталей.



Рис. 3. Заполнение формы расплавом

С помощью дополнительных опций возможно моделирование сложного теплообмена излучением с эффектами переизлучения и затенения, непрерывного и полунепрерывного литья.

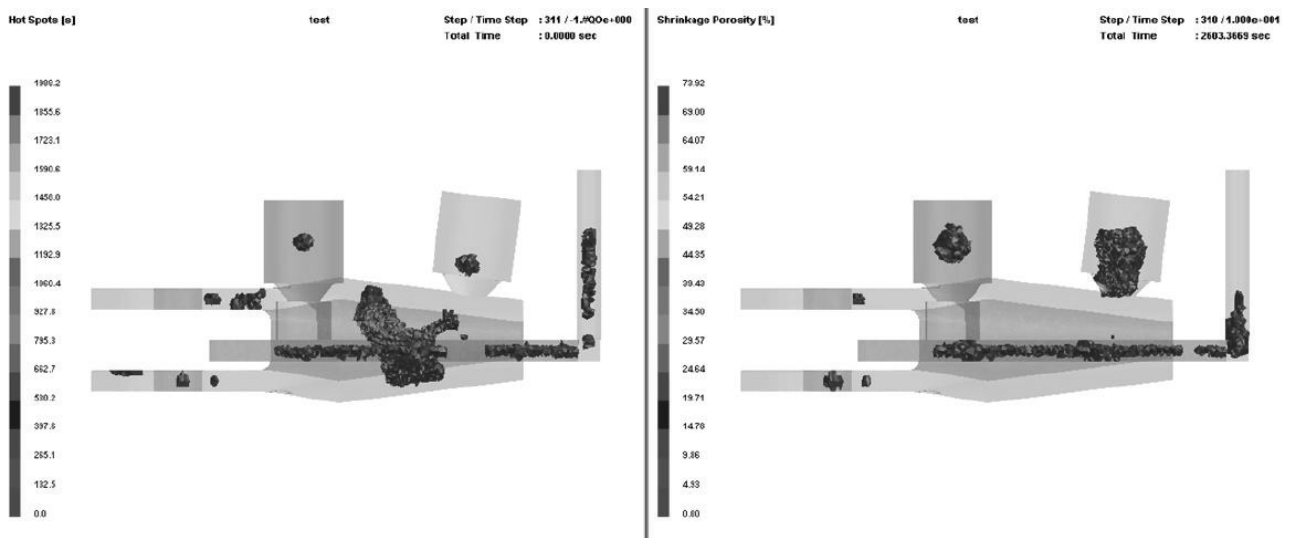


Рис. 4. Тепловые узлы в отливке

ProCAST Stress solver – решатель напряжений, работающий совместно с термическим и гидродинамическим решателями (рис. 5). ProCAST Stress solver реализует следующие модели поведения материалов отливки и формы: линейная упругая, упругопластическая, вязкопластическая, вязкоупругая, жесткая и свободная. Совместный расчет напряжений позволяет с высокой точностью прогнозировать термический и механический контакты, остаточные напряжения, коробление и деформации, горячие трещины и разломы, напряжения в отливке и форме, усталость.

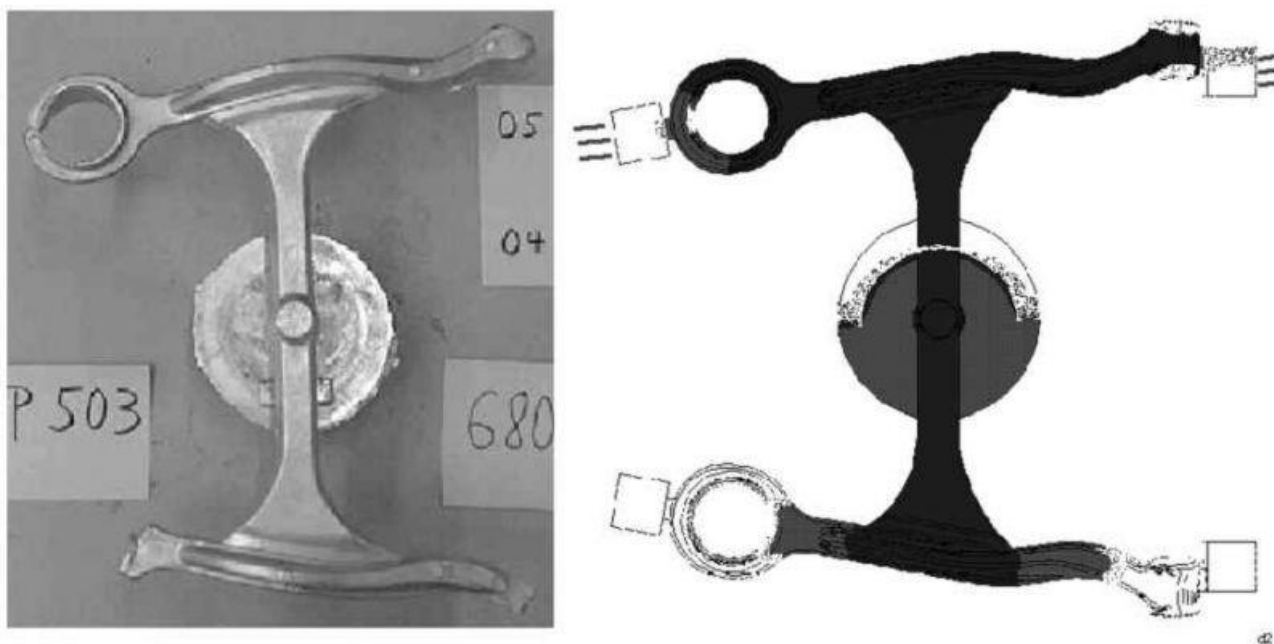


Рис. 5. Коробление отливки

Кроме основных решателей и опций к ним, ProCAST содержит большое количество дополнительных модулей.

SAFE module – модуль, моделирующий структуру зерен во время затвердевания (рис. 6). Зеренная структура отливки – важный параметр, контролируемый металлургами. ProCAST совмещает модель клеточных автоматов (СА) с конечно-элементным (FE) расчетом тепловых потоков. По этой причине модуль расчета структуры зерен ProCAST обычно называют SAFE.

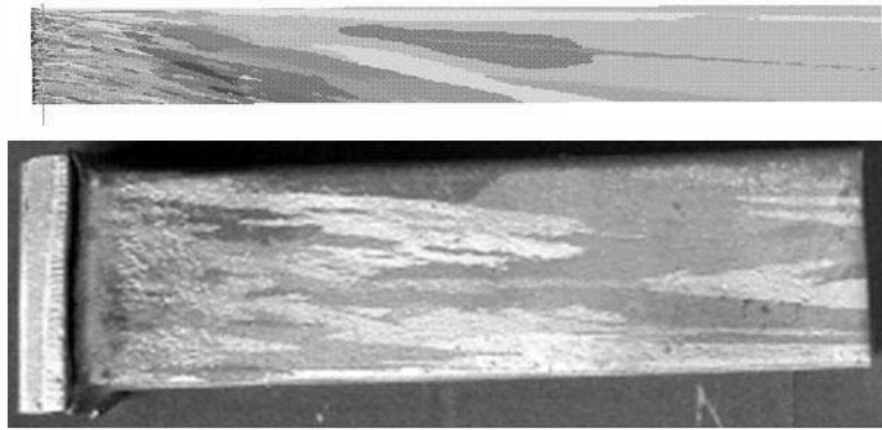


Рис. 6. Микроструктура литого образца

Microstructure module – модуль расчета микроструктуры литейных чугунов и сталей. ProCAST реализует детерминистический подход к расчету микроструктуры, который позволяет учитывать фазовые превращения в сталях и литейных чугунах. Результатами расчета по такой модели будут: средний размер зерна, междендритное расстояние, фазовый состав, механические свойства (предел текучести, предел прочности, удлинение и твердость). В Microstructure module включены модели Phase Field, Pseudo-Front Tracking, модель чугуна с вермикулярным графитом (CGI), модель коррозионно-стойкого чугуна (Ni-Resist) и модель макросегрегаций в сталях, которые дают прямое описание развития морфологии зерен и микросегрегаций в заданных зонах отливки.

Inverse module – модуль, предназначенный для уточнения граничных условий и свойств материалов. Граничные условия и свойства материалов могут быть определены в ProCAST с помощью инверсных методов. Эти методы основаны на минимизации разницы между рассчитанными и экспериментальными температурами, измеренными в определенных местах в определенное время.

Advanced Porosity Module (APM) – модуль, рассчитывающий макро- и микропористость в отливке (рис. 7). В отличие от стандартной модели пористости, включенной в ProCAST Thermal solver, Advanced Porosity Module позволяет рассчитывать междендритную усадку с учетом растворенных газов, присутствующих в расплаве. В модуле используется модель, основанная на решении уравнения Дарси и микросегрегации газа, которая объединена с моделью макропористости и прогнозом образования усадочной раковины.

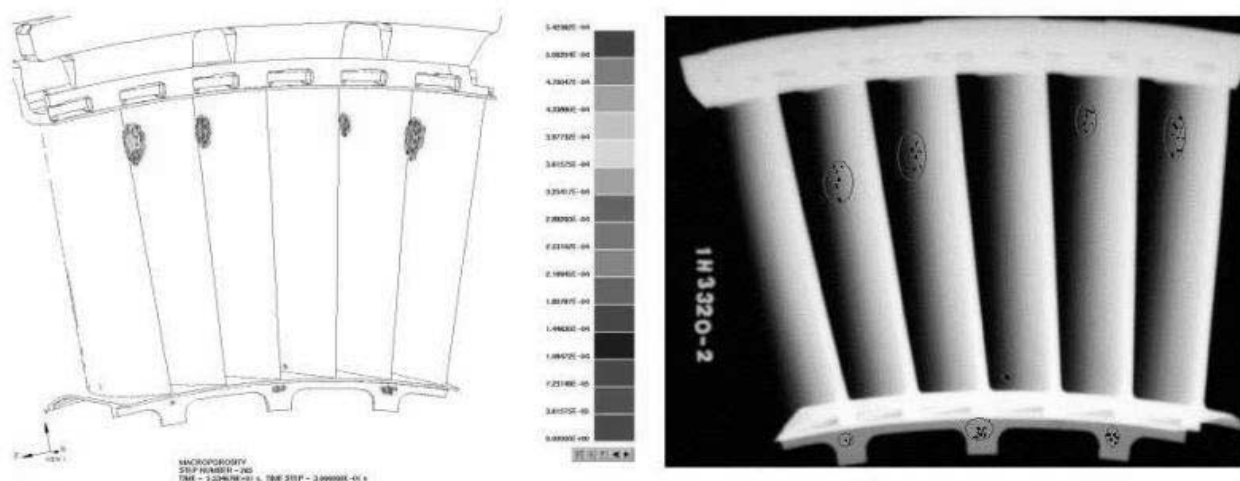


Рис. 7. Пористость

User functions – модуль, с помощью которого возможно гибкое управление граничными условиями. User functions позволяет задавать граничные условия (например, коэффициент теплопередачи), зависящие от времени, температуры или положения в пространстве. Это дает возможность более точно моделировать разные специфические литейные технологии, например, направленную кристаллизацию (в том числе с жидкометаллическим охладителем).

Hot Cracking module (только для Continuous casting) – модуль, проводящий критериальный анализ возможности образования горячих трещин при непрерывном и полунепрерывном литье. Возникновение горячих трещин при непрерывном литье отрицательно сказывается на производительности, особенно для сплавов, чувствительных к этому дефекту. Hot Cracking module содержит новый критерий образования горячих трещин, разработанный специально для процессов непрерывного литья.

CompuTherm Material Thermodynamic Database (Fe, Ni, Al, Mg, Ti, Cu) – уникальная термодинамическая база данных, которая позволяет пользователю, введя химический состав сплава, автоматически получить температурные кривые свойств, необходимые для проведения точного расчета литейного процесса. С помощью Thermodynamic Database можно рассчитать кривые энтальпии, доли твердой фазы, плотности, вязкости, коэффициента теплопроводности в зависимости от химического состава и скорости охлаждения. Также с помощью Thermodynamic Database можно рассчитать упругие свойства материала (в виде температурных кривых): модуль Юнга, коэффициент Пуассона, коэффициент

линейного температурного расширения. Для сплавов на основе Al и Mg возможен расчет предела текучести с учетом скорости охлаждения.

РАМ-ОПТ – модуль оптимизации геометрии и параметров литейного процесса. Помогает исследовать устойчивость производственного процесса к изменению различных параметров. Например, модуль может выполнить минимальное количество вычислений для оценки риска появления пористости в зависимости от возможных отклонений значений этих параметров.

SALSA3D – отдельный модуль от компании CTIF, позволяющий рассчитать и создать литниковую систему для процесса литья под давлением. Сконструированная система может быть передана в ProCAST для моделирования и анализа.

5. РАБОТАЕМ В PROCAST

Работа в MeshCAST состоит из трех этапов:

- загрузка геометрических моделей и работа с ними;
- работа с поверхностными сетками;
- создание объемной сетки.

На первом этапе в MeshCAST 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 (рис. 8).

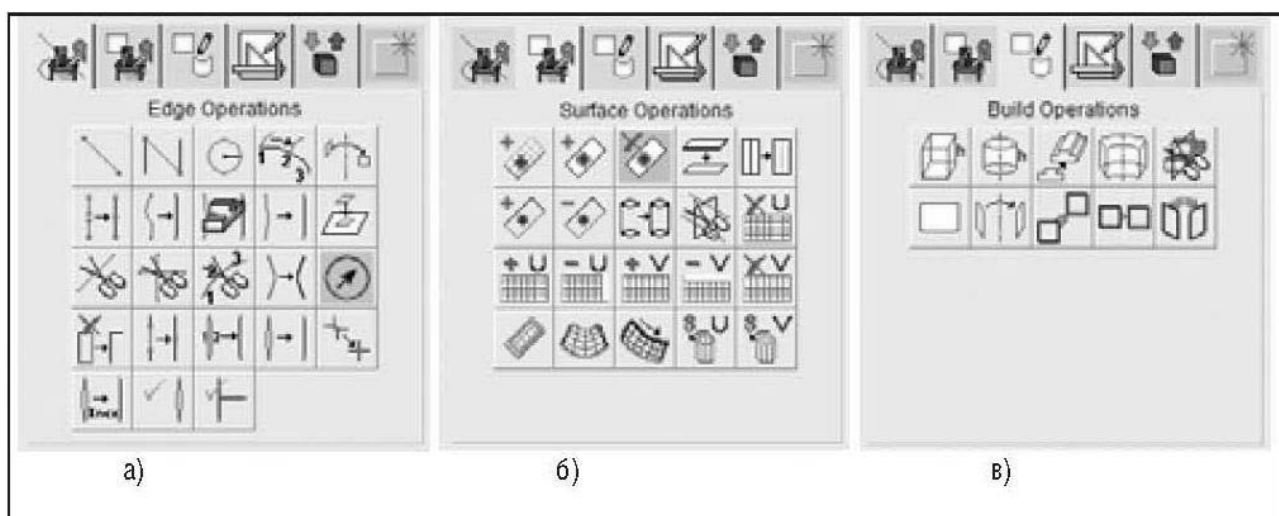


Рис. 8. Инструментарий для операций с геометрией:

а – ребрами; б – поверхностями; в – телами

Избежать правки геометрии можно, если импортировать в MeshCAST модели в формате STL. Нажатием одной кнопки модель преобразуется в 2D-сетку (рис. 9). Качество преобразования в некоторых случаях может быть средним, потребуется редактирование сетки, но иногда этот вариант бывает настоящим спасением. Если проверка геометрии дает положительный результат, можно переходить к генерации поверхностной сетки. Это совершенно несложная операция: задаем средний размер элемента, нажимаем кнопку – и все готово. В общем случае, на каждой поверхности можно задать индивидуальный размер элемента.

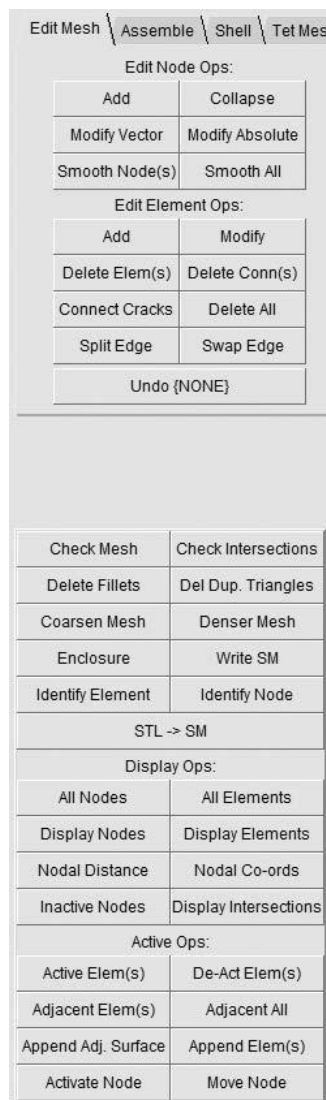


Рис. 9. Инструментальная панель для работы с 2D-сетками

Поскольку MeshCAST ориентирован на моделирование литья, он сам позаботится о сопряжении сеток, сам проследит, чтобы качество полученной сетки удовлетворяло требованиям алгоритмов решателей

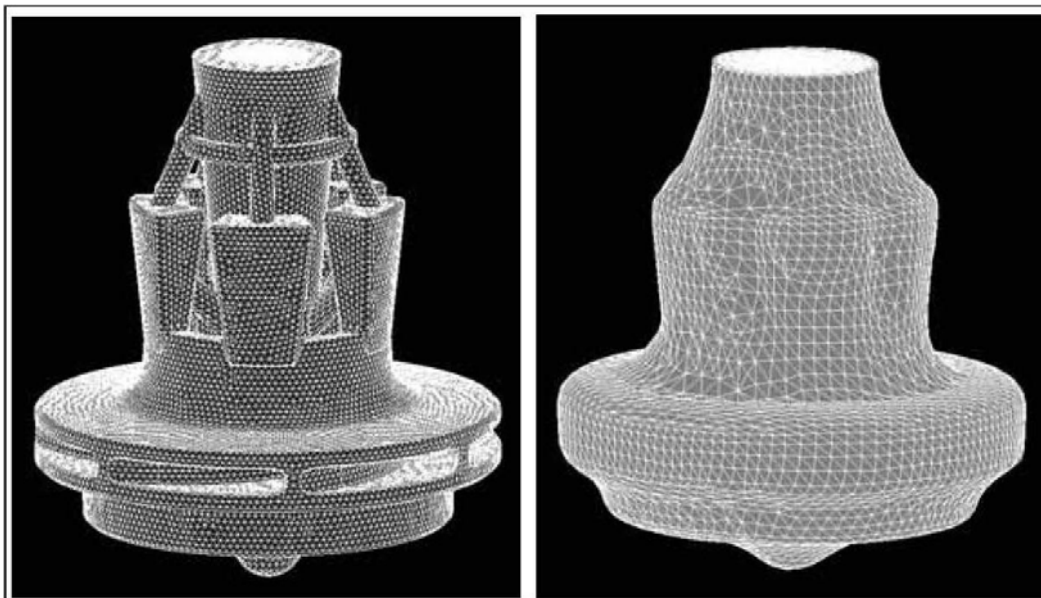
ProCAST. Если ваша CAD-система не поддерживает формат Parasolid, но может генерировать поверхностную или объемную сетку, то лучше использовать эту возможность – проблем сразу станет меньше. В этом случае переходим сразу ко второму этапу – работе с поверхностными сетками. В MeshCAST можно импортировать объемные и поверхностные сеточные модели в форматах NASTRAN, PATRAN, I-DEAS и Ansys.

На втором этапе работы в MeshCAST происходит редактирование (исправление) поверхностных сеток и генерирование сеточных оболочек. Редактировать приходится, как правило, сетки, импортированные из других генераторов, поскольку их качество может не удовлетворять требованиям MeshCAST.

Набор инструментов для редактирования позволит работать с сеткой самого неудачного качества, имеются практически все функции, используемые в сеточных генераторах высокого уровня. Например, при сравнении с тем же HyperMesh ощущается нехватка только функции совмещения узлов Replace. Зато процедура поиска дефектов сетки в MeshCAST (свободные ребра, «плохие» элементы и т. п.) заслуживает самой высокой оценки, она явно оптимизирована для сложной геометрии тел, что крайне актуально при моделировании ЛП. Многофункциональная кнопка Check Mesh выделяет все дефекты сетки красным цветом и делает их видимыми, даже если они находятся на внутренних поверхностях. Функция Clip обеспечивает возможность «откусывать» выделяемые куски сетки, позволяя заглянуть в самые недоступные места.

После необходимой коррекции исходных сеток можно сгенерировать дополнительные поверхностные сетки-оболочки, которые будут имитировать поверхности керамической формы или теплоизоляцию. MeshCAST имеет целых три алгоритма для создания оболочек. Порядок работы очень простой: отмечаются элементы, для которых создание оболочки не требуется (плоскости симметрии, верхняя поверхность заливочной чаши и т. п.), задается толщина будущей оболочки (например, толщина керамической формы), запускается генератор.

Через минуту наблюдаем результат. И опять-таки все оптимизировано для моделирования литья: полученная оболочка обладает характерными чертами реальной керамической формы (рис. 10).



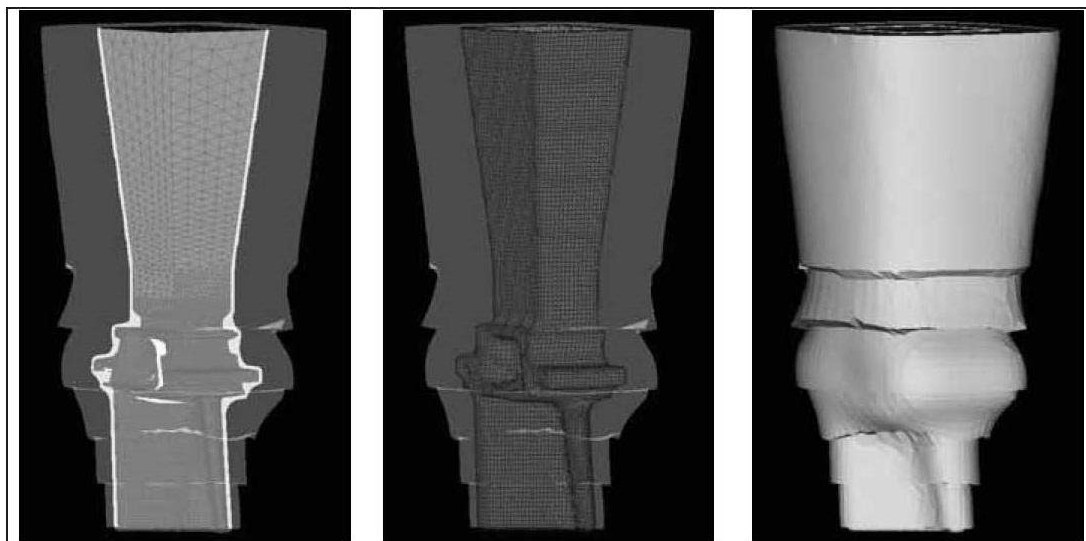
a

б

Рис. 10. Модель керамической оболочки:

a – модель литейного блока; *б* – модель керамической оболочки

Дополнительная опция Holes/Gaps задает более тщательную работу алгоритма около щелей и отверстий, но качество полученной сетки может сильно пострадать. Повторив операцию, можно создать оболочку, имитирующую слой теплоизоляции и т. п. Правда, если требуется смоделировать частичное утепление формы, придется потрудиться: вручную «отрезать» лишнюю сетку, а оставшееся «пришить» по месту (рис. 11).



a

б

в

Рис. 11. Литейный блок лопатка:

a – модель блока; *б* – сетка керамической формы; *в* – шесть слоев теплоизоляции

Усложним задачу и предположим, что сгенерированную для блока форму надо установить в опоку и засыпать песком. Моделирование песка в САД-системе в таком случае невозможно, поскольку геометрия формы заранее неизвестна, следовательно, неизвестны поверхности контакта песка с формой. Решение непростой задачи становится почти элементарным с использованием MeshCAST. Все что нужно сделать – это построить в САД-системе параллелепипед нужных размеров, загрузить его в генератор и построить на его поверхностях сетку. После этого с помощью функции Boolean объединяем новый файл сетки песка с ранее созданной сеточной моделью блока в форме. Функция сама определит пересекающиеся сетки, удалит пересечения и выполнит стыковку на границах (рис. 12).

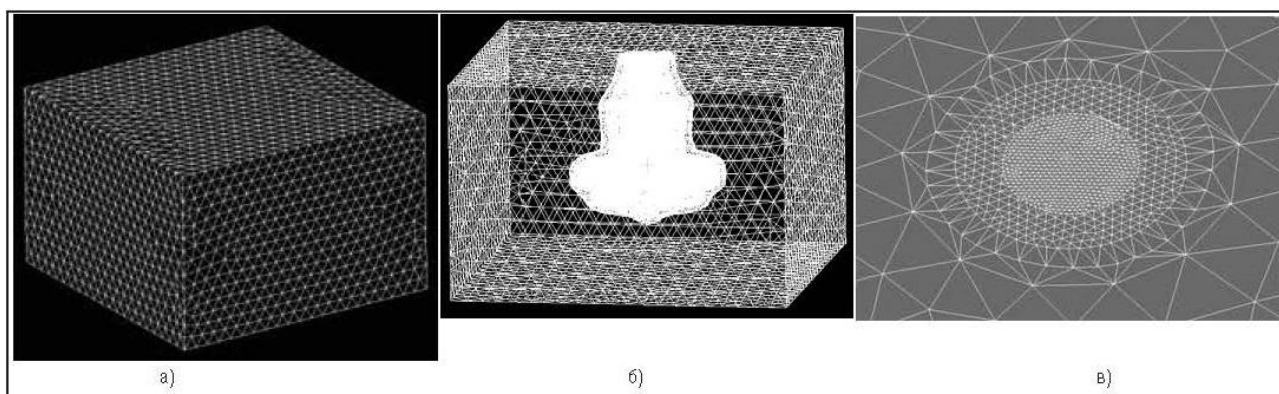


Рис. 12. КЭ-модель блока для ЛВМ, помещенная в опоку с песком:
а – сеточная модель засыпки (песок); б – результат сложения сеток;
в – обработка пересекающихся сеток

К сожалению, алгоритм функции Boolean не всегда работает безотказно, может потребоваться ручная работа по исправлению содеянного. Но в любом случае будет сэкономлено много времени. Последний этап подготовки КЭ-модели расчетной области – необходимо нажать кнопку Generate Tet Mesh.

Возможности MeshCAST не исчерпываются описанными в этой статье, здесь указаны лишь функции, наиболее востребованные при моделировании ЛП с использованием МКЭ.

Подготовка к расчету

После генерации КЭ сетки расчетной области начинается ее подготовка к расчету. Суть подготовки заключается в присвоении элементам расчетной области свойств (тепловых, усадочных, деформационных и др.) требуемых материалов и задания ГУ и НУ. Эти операции проводятся в препроцессоре PreCAST. Хотя ProCAST – узкоспециализированная система для литейщиков, работа с модулем PreCAST требует достаточно глубокого понимания смысла моделируемого процесса, поскольку терминология диалоговых окон, в которых назначаются материалы, ГУ и НУ лежат в области физики, а не технологии. Технологию это покажется сначала непривычным, но со временем приходит понимание того, что именно так и должно быть. Тем более что руководство пользователя дает достаточно подробные разъяснения. «Физичность» и полный контроль над параметрами делают ProCAST очень гибким. Говоря о подготовке модели к расчету, необходимо подробнее остановиться на некоторых моментах, от которых зависит весь процесс моделирования.

Назначение материалов. Качество свойств материалов, назначаемых каждому объему расчетной области, оказывает непосредственное и очень сильное влияние на достоверность расчетов. Одновременно с этим нахождение этих свойств крайне трудная задача. Например, для проведения расчета заполнения формы расплавом с последующим его остыванием до температуры солидус (T_s) необходимы следующие достоверные данные о материале отливки: вязкость, коэффициент теплопроводности, плотность, энтальпия, доля твердой фазы. В общем случае требуется задать температурные зависимости параметров, где температура меняется от температуры заливки до T_s и ниже. Такие теплофизические данные для определенной марки сплава невозможно найти ни в литературе, ни в нормативной документации, ни в паспорте на сплав. Обычно их получают или экспериментальным, или расчетным путем. В первом случае требуются дорогостоящие экспериментальные установки, во втором – не менее дорогостоящее специальное программное обеспечение. Для избавления инженера от необходимости решения столь трудноразрешимой проблемы в состав ProCAST включены шесть термодинамических баз данных компании CompuTherm LLC (США), с помощью которых можно рассчитать свойства сплавов на основе Al, Fe, Ni, Ti, Mg, Cu.

Введя химический состав сплава, пользователь получает все необходимые свойства для расчета заполнения формы расплавом и тепловой задачи, а также часть свойств для расчета напряжений (рис. 13).

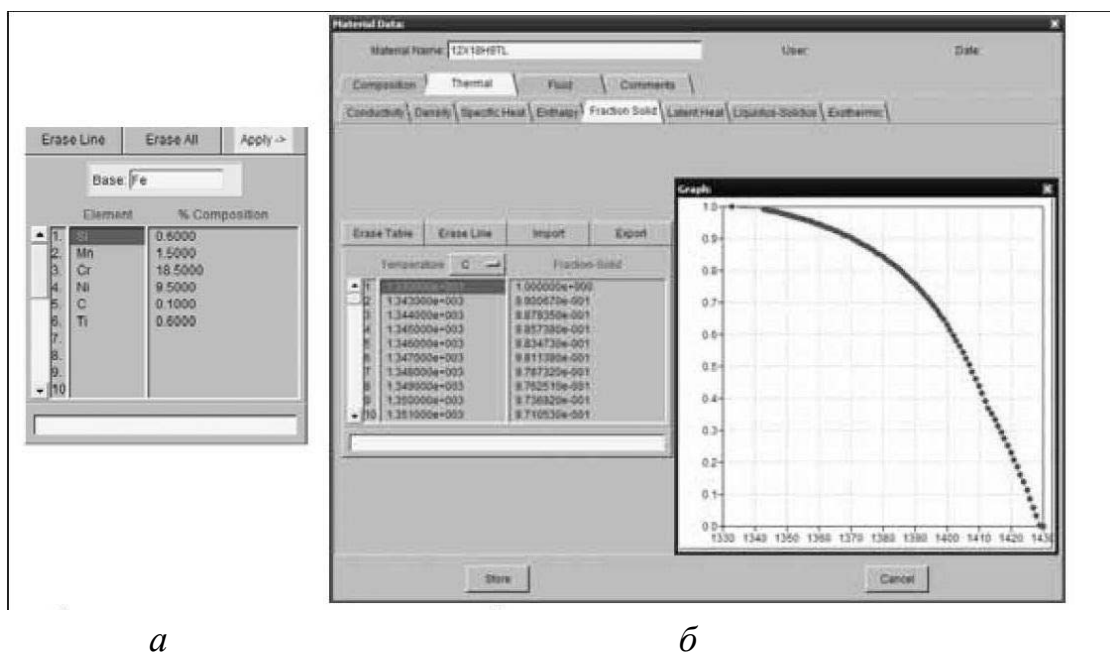


Рис. 13. Термодинамическая база данных:
 а – на вкладке Composition задается химический состав сплава;
 б – на вкладке Fraction Solid выводятся результаты расчета

При расчете свойств учитывается эффект микросегрегации (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 (рис 14).

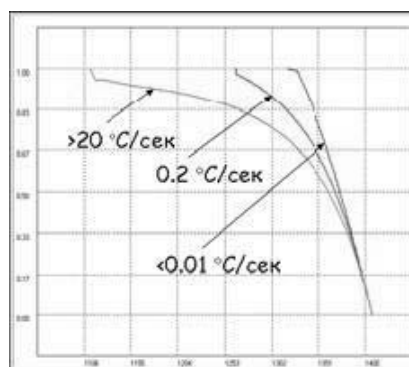


Рис. 14. Температурные зависимости доли твердой фазы, полученные при разных скоростях охлаждения

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. 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 (рис. 15).

Symmetry
Periodic
Accordion
Temperature
Heat
Velocity
Pressure
Inlet
Wall
Vent
Inject
Turbulence
Displacement
Point Load
Surface Load
Current Density
Voltage
Magnetic Potential
Nucleation

Рис. 15. ГУ, задаваемые на поверхностях

Параметры любого граничного условия могут быть заданы константами, функциями температуры и времени с использованием разных систем единиц (рис. 16). 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 Си подключаемую к расчету через модуль «User Functions». Эта возможность используется, например, при моделировании направленной кристаллизации с жидкометаллическим охладителем (НК с ЖМО).

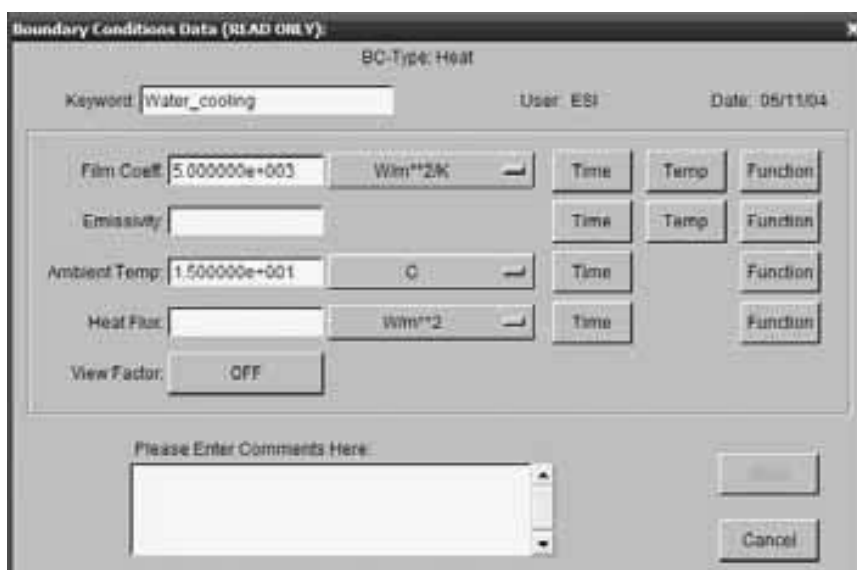


Рис. 16. Граничное условие типа Heat (Тепло)

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 (рис. 17).

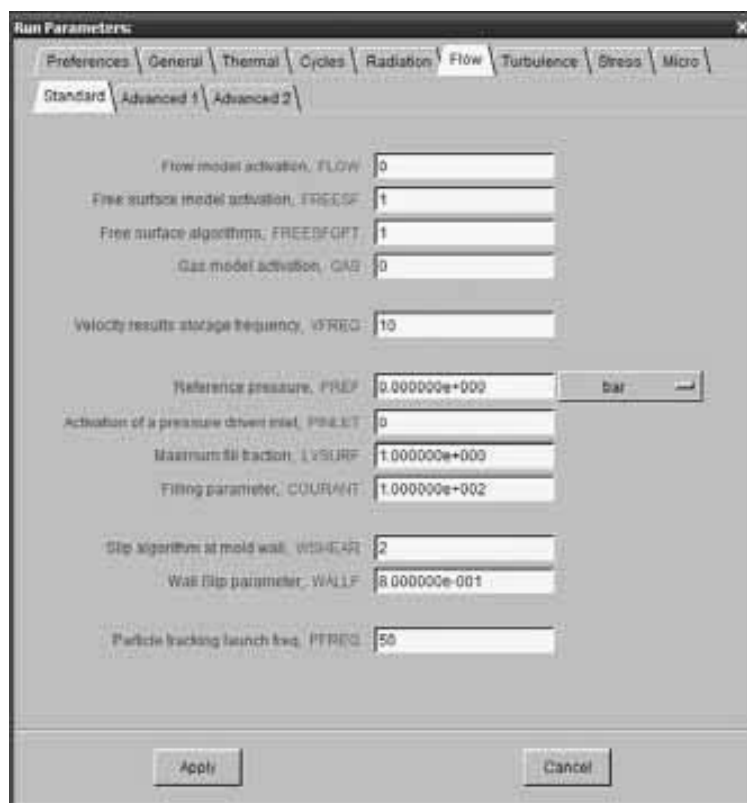


Рис. 17. Параметры расчета задачи заполнения

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.

С некоторых пор в ProCAST появились модули, для которых исходные данные вводятся не в препроцессоре PreCAST, 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.

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 (рис. 18–19).

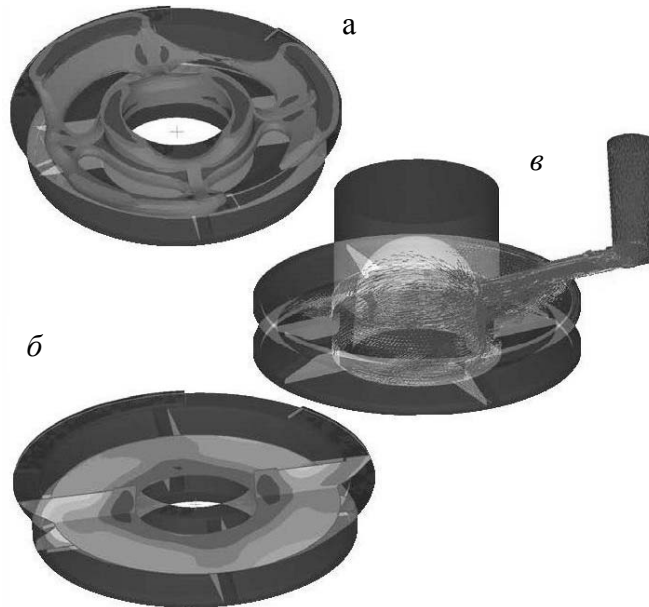


Рис. 18. Вывод результатов:

a – режим изоповерхности; *б* – режим сечения; *в* – векторное поле скоростей



Рис. 19. Режим смещения материалов

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 многое другое.

6. ЗАДАНИЯ НА РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКУЮ РАБОТУ

Темы заданий на РГР формулируются следующим образом:

1. Расчет процессов заполнения и затвердевания отливки «Лопатка рабочая ТВД» из сплава ЖС6У-ВИ.
2. Расчет процессов заполнения и затвердевания отливки «Корпус плунжера» из сплава АК9ч.

Приведенная тематика РГР может быть расширена по решению кафедры или руководителя. В нее могут быть включены работы исследовательского характера, связанные с выполнением научно-исследовательских работ, проводимых на кафедре.

7. КРИТЕРИИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ

Расчетно-графическая работа после завершения представляется студентом на зачет. Процедура защиты проводится в виде зачета с использованием 2-х бальной шкалы оценок: «зачтено», «не зачтено».

Основой для выставления определенной оценки служит технический уровень и качество выполнения расчетов и пояснительной записки к работе, степень теоретической подготовленности студента и уверенность в изложении материалов по теме работы.

Положительной оценки заслуживает студент, в полном объеме выполнивший предусмотренные программой и методическими указаниями работы по расчету и анализу процесса заливки и затвердевания отливки; показавший способность к самостоятельному решению технологических задач, возникающих в процессе инженерного анализа и обосновавший их правильность и рациональность в ходе защиты; допустивший незначительные неточности и легко устранимые погрешности в работе и в объяснениях.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, допустившему принципиальные ошибки в работе, имеющему большие пробелы в теоретических знаниях по теме работы, плохо или вообще не ответившему на задаваемые вопросы.

8. ПЛАН-ГРАФИК РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

РГР по дисциплине «Компьютерное моделирование литейных процессов» выполняется в течение 10 недель. Работа должна быть регулярной, причем его трудоемкость целесообразно распределить равномерно на указанный период. Контроль за ходом выполнения РГР осуществляется преподавателем во время проводимых в соответствии с расписанием консультаций.

Результаты контроля должны быть отражены в специальном журнале.

Нерегулярная, несистематическая работа студента рассматривается как существенный отрицательный момент и отражается на оценке при защите.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результат анализа расчетов процессов заполнения и затвердевания отливки являются в дальнейшем основой для оптимизации литниково-питающей системы.

Большой объём работы при изучении разнообразной технической литературы, самостоятельно принимаемые студентом конструкторско-технологические решения при выполнении работы позволяют формировать у него правильные алгоритмы, моделирующие действия технолога при разработке ЛПС.

Несомненно, что овладение навыками расчета при работе над расчетно-графической работой по дисциплине «Компьютерное моделирование литейных процессов» послужит будущему молодому специалисту основой для его успешной производственной деятельности.