

# Особенности компьютерного моделирования технологических процессов на послойной конечно-элементной сетке

О.М. Огородникова<sup>1</sup>, К. Вайсс<sup>2</sup>

Уральский федеральный университет<sup>1</sup>, RWP<sup>2</sup>

Практический интерес представляют быстро вычисляющие программные модули, способные работать совместно с системой автоматизированного управления технологическим процессом и корректировать параметры технологического режима по моментальному прогнозу качества в соответствии с текущими показаниями датчиков. В этом направлении развивается программный комплекс CAE WinCast (разработчик – RWP, Германия), участвующий в промышленных проектах по созданию следующего поколения технологического оборудования (роботизированные комплексы, литейные заводы-автоматы). Комплекс реализуется на многопроцессорных системах, использует решатель PCG (+MPI) [1].

Интеграция программы WinCast с системой управления автоматическим оборудованием в литейном производстве базируется на концепции, включающей оригинальную генерацию конечно-элементной сетки. Препроцессор программы генерирует послойную сетку из конечных элементов в форме пятигранников с выделенной координатной осью Z по нормали к слоям, которая обычно совпадает с вектором гравитации (Рис. 1). Аппроксимация гранями призм геометрических поверхностей достигается изменением координат X и Y узлов в секущих плоскостях, а также Z-координат узлов в пределах слоя. Такой концептуальный подход к генерации сетки правомерен при моделировании процессов заполнения литейной формы расплавом и кристаллизации, он позволяет создавать экономные вычислительные модели.

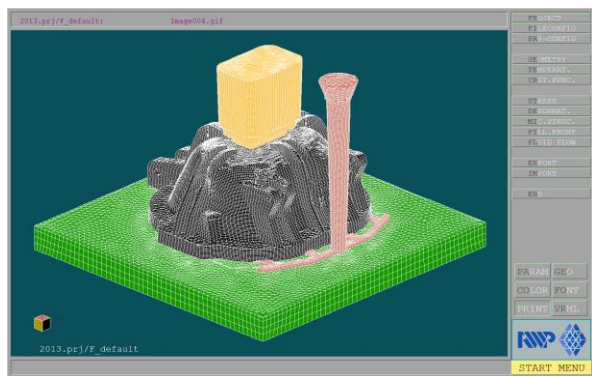


Рис. 1. Конечно-элементная сетка на технологическом этапе компьютерного моделирования

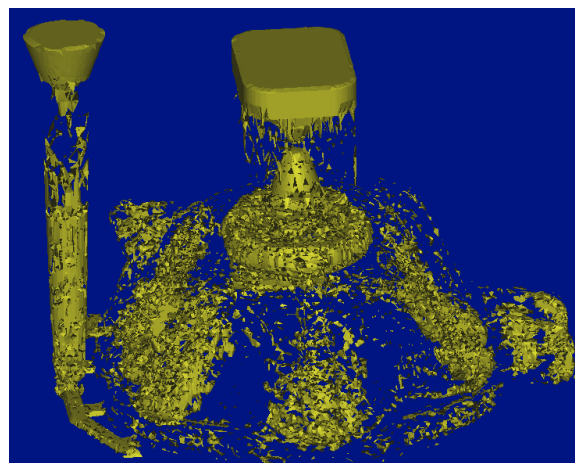
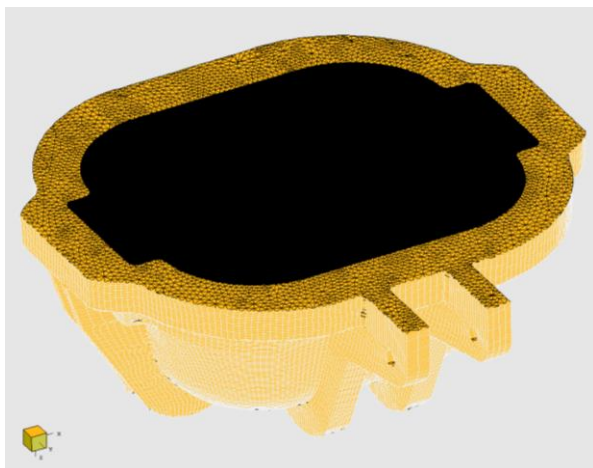
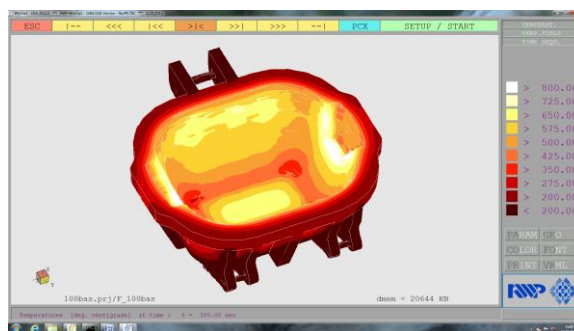


Рис. 2. Результат технологического этапа: распределение усадочных дефектов в изложнице

Возможность переопределить материалы и граничные условия на различных временных шагах решения открывает доступ к связанному анализу технологий и режимов эксплуатации литой детали на единой расчетной сетке [2]. На Рис. 1-4 представлены два этапа консолидированного анализа технологии изготовления литой изложницы и ее эксплуатации. На технологическом этапе моделируется заполнение песчано-глинистой формы расплавленной сталью, затем вычисляются температурные поля при кристаллизации и охлаждении отливки до выбивки, оценивается интенсивность и расположение усадочных дефектов. Технологический этап завершается расчетом тепловых и остаточных напряжений, выявлением горячих трещин.

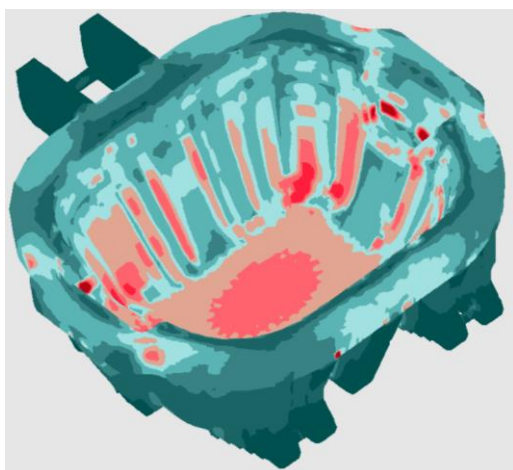


**Рис. 3.** Конечно-элементная сетка на эксплуатационном этапе моделирования



**Рис. 4.** Результат вычисления температурного поля в изложнице на эксплуатационном этапе

При переходе на эксплуатационный этап анализа в сеточной модели материалом внутреннего объема изложницы назначается черновая медь, все остальные объемы переопределяются в соответствии с окружением изложницы при кристаллизации медного слитка. На эксплуатационном этапе моделируется заполнение изложницы расплавленной медью, вычисляются температурные поля в изложнице при кристаллизации меди и тепловые напряжения, оценивается возможность развития трещин в изложнице и ее коробления (**Рис. 5-6**).



**Рис. 5.** Прогнозируемые трещины в изложнице



**Рис. 6.** Реальное разрушение изложницы

## Литература

1. Ogorodnikova O., Weiss K. Parallel computing of temperature fields on layered finite-element mesh // В сборнике: Параллельные вычислительные технологии 2013 (ПаВТ'2013) Труды международной научной конференции. 2013. С. 577.
2. Огородникова О.М. , Мартыненко С.В. Связанный анализ технологических процессов и нагруженных состояний литой детали // Металлы. 2012. № 5. С. 19.