

## ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Д. М. КУКУЙ, БГПА, Е. Г. ШВАРЦ, ПО "МТЗ",  
М. Л. МАРХАСИН, А. В. ЗАБЛОЦКИЙ  
ИП "МИКРОЭКСПРЕСС"

### СКВОЗНАЯ САПР В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В современных условиях ужесточенной конкурентной борьбы судьба предприятий неразрывно связана с вопросом повышения скорости проектирования, улучшения потребительских свойств, снижения материалоемкости и энергоемкости выпускаемой продукции, что невозможно достичь при использовании традиционных способов проектирования и подготовки производства.

К основным направлениям формирования конкурентоспособной производственной структуры в мировой практике относят компьютеризацию подготовки производства машиностроительных отраслей и внедрение в производство систем компьютерного проектирования технологической оснастки и моделирования технологических процессов. На практике, как показывает мировой опыт использования такого рода систем, скорость проектирования повышается в 10—15 раз, а быстрота реализации конструктивных изменений более чем в 25 раз.

Это особенно важно для литейного производства, когда необходимо в кратчайшие сроки осваивать большую номенклатуру отливок.

Стратегическим направлением внедрения современных компьютерных технологий в машиностроении стала реализация сквозных цепочек проектирования и подготовки производства по наиболее распространенным технологическим процессам (например, сквозной процесс для литейных изделий — от концептуальной разработки детали до программ для изготовления оснастки и отмоделированного на компьютере технологического процесса литья).

Основой такой цепочки являются традиционные стадии проектирования и подготовки производства, объединенные в единый процесс электронной мастер-модели детали.

В настоящее время ПО "МТЗ", ИП "Микроэкспресс" и кафедра МиТЛП БГПА работают над внедрением системы сквозного проектирования и подготовки производства в отделе главного металлурга ПО "МТЗ" на базе программных продуктов Unigraphics, SolidEdge американской фирмы "Unigraphics Solutions" и продукта ProCast американской фирмы UES, интересы которой в европейском регионе представляет швейцарская фирма "Calcom".

Весь процесс внедрения основан на выполнении реальных пилотных проектов, связанных с проектированием, моделированием и подготовкой производства реальных заводских отливок. В качестве примера представлен процесс разработки литейной технологии детали "Рукав" трактора "Беларус-1522" (рис. 1).

*The authors present the promotion of pipe-line CAD/CAE systems to be used in the foundry production based upon the experience, obtained from modelling a similar system at PA Minsk Tractor Works.*

Конструктор разрабатывает деталь в системе трехмерного проектирования Unigraphics, создавая трехмерную модель детали. Еще не закончив свою работу, он передает модель технологу-литейщику. На рис. 2 (рис. 2—10 см. на с. 22) представлен фрагмент этой модели, на которой проработаны все поверхности, подлежащие механообработке (выделены зеленым цветом). Все остальные поверхности созданы в предварительном виде, т. е. отсутствуют формовочные уклоны и литейные радиусы (на рисунке показаны стрелками). Тем не менее информации, содержащейся в модели, достаточно для начала разработки литейной технологии.

Получив модель детали от конструктора, технолог-литейщик выбирает плоскость разреза, обозначает припуски на механообработку, формовочные уклоны, прорабатывает конфигурацию литых поверхностей. Результатом его работы являются рекомендации для конструктора по доработке модели (величины радиусов и формовочных уклонов). После этого конструктор продолжает работать над моделью детали с учетом пожеланий технолога, а параллельно с этим конструктор-литейщик приступает к созданию компьютерной модели отливки. При проектировании в системе Unigraphics процесс получения 3D-модели отливки из компьютерной модели детали достаточно прост. Эта операция включает в себя нанесение припусков на механообработку и удаление заливаемых отверстий.

На этом этапе получится лишь заготовка модели отливки, так как последние изменения по геометрии детали от конструктора еще не поступили. На рис. 3 показан фрагмент компьютерной модели отливки, на которой припуски выделены красным цветом. На ней также еще нет радиусов и уклонов.

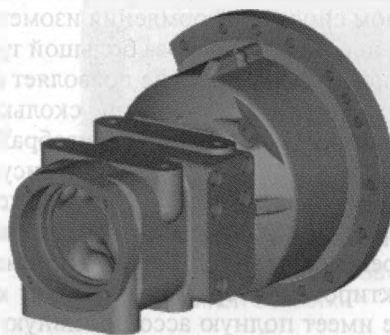


Рис. 1. "Рукав" трактора "Беларус-1522"

Следующим этапом работы конструктора-литейщика является проектирование литейных моделей, фрагмент которой показан на рис. 4 (синим цветом обозначен стержневой знак). Затем он приступает к работе над стержневым ящиком. Только в этот момент конструктор детали, закончив создание компьютерной модели детали (рис. 5), передает ее в литейное подразделение. При этом складывается ситуация, на которую необходимо обратить особое внимание. При традиционном способе проектирования, например в AutoCAD, такая ситуация была бы невозможна, так как конструктор-литейщик только в этот момент приступил бы к работе над данной деталью. При проектировании в различных пакетах трехмерного моделирования и попытке сократить сроки разработки оснастки ему пришлось бы перетранслировать модель в свою 3D-систему, проанализировать геометрию на корректность, устранить огрехи трансляции, сверить варианты поступивших от конструктора деталей и вручную внести обнаруженные изменения в свои разработки. После этого предстоял бы этап согласования отливки с конструктором детали. В нашем случае конструктор-литейщик провел изменения во всех созданных компьютерных моделях (отливка, модель верха, модель низа, стержневой ящик) за несколько минут. Это возможно только в случае работы в сквозной системе при использовании таких свойств Unigraphics, как мастер-модель и ассоциативность. Фрагмент скорректированной модели показан на рис. 6.

Однако при анализе модели детали конструктор-литейщик обнаружил некорректности в нанесенных уклонах на внутренних поверхностях. Это потребовало проведения доработки модели детали конструктором. Но данное обстоятельство не остановило процесс. Компьютерные модели всех элементов оснастки со сложной поверхностью были переданы в подразделение ЧПУ для написания управляющих программ. На рис. 7 показана одна из частей стержневого ящика, которая обрабатывается с помощью ЧПУ. Конструктор-литейщик в это время приступил к оформлению чертежей.

Чертежи создавались в полуавтоматическом режиме, т. е. все виды, разрезы и сечения генерировались автоматически по трехмерным моделям. От человека требовалось указать разрезы и сечения, разместить их на листе, указать места простановки размеров. Следует обратить внимание, что новые технологии дают новые возможности. Например, изометрия детали делает чертеж понятнее, но при традиционном способе оформления изометрии практически не используются из-за большой трудоемкости. Трехмерное проектирование позволяет без труда создать столько видов изометрии, сколько необходимо. Еще нагляднее полутонное изображение детали (такое, как на приведенных нами рисунках), которое может быть оформлено как приложение к чертежу. Все работы по оформлению чертежей проводились в среде пакета Solid Edge — системе трехмерного проектирования среднего уровня, который тем не менее имеет полную ассоциативную связь с мастер-моделью, созданной в среде Unigraphics.

В результате создания чертежей были выявлены некоторые неточности в построении трехмерных моделей оснастки. Проведение изменений в моделях в среде Unigraphics вызвало автоматическое изменение в чертежах в среде Solid Edge.

Когда конструктор детали передал исправленную версию модели детали, изменения, как и в первом случае, автоматически прошли по моделям отливки, оснастки, в чертежи и в программы ЧПУ.

Отличительной особенностью сквозной САПР является возможность компьютерного моделирования литейных процессов еще до начала процесса изготовления оснастки. Это создает возможность резко сократить потери на исправление оснастки и в целом снизить брак при изготовлении отливок. Моделирование создает возможность проанализировать движение металла в полости формы, распределение скоростей и давлений при заливке, распределение тепловых полей в отливке и в форме в процессе кристаллизации, возникновение внутренних напряжений в отливке. Это позволяет проверить правильность принятых решений еще до того, как будет изготовлена пробная партия изделий, а соответственно сокращаются затраты времени, материальных и энергоресурсов на стадии проектирования и освоения производства, а также выявить истинные причины возникновения брака отливок.

Начиная с момента, когда определена технология литья и разработаны модели отливки и литниковой системы, можно приступать к подготовке данных для моделирования процесса литья. Для этих целей в системе использовался пакет ProCAST, который построен на том же ядре параметрического моделирования Parasolid, что и пакеты Unigraphics и Solid Edge. Преимущества единого ядра почувствовались сразу же. В качестве эксперимента геометрия отливки передавалась в ProCAST различными способами. При передаче через STEP-транслятор из модели пропадали сложные поверхности. При использовании IGES-транслятора возникали разрывы поверхностей. И только через Parasolid геометрия передавалась без искажений.

Пакет ProCAST позволяет проанализировать процесс литья по многим параметрам. На рис. 8 показано, как расплав заполняет форму. Визуализация представляет собой последовательный набор кадров, по которым можно наблюдать весь процесс заполнения и кристаллизации. На рис. 9 показано распределение температуры при затвердевании отливки, а на рис. 10 — один из кадров процесса распределения твердой и жидкой фаз в процессе затвердевания.

Анализ полученных результатов позволяет прогнозировать возможность образования усадочных дефектов, возникновения газовой пористости из-за неправильно спроектированной литниковой системы, определять места засоров, образования пригара. Полный расчет заливки и затвердевания отливки "Рукав" занимает до 40 ч. В случае неудовлетворительного результата моделирования литейного процесса составляются рекомендации по изменению литейной технологии, изменяются модели оснастки и проводится повторный расчет.

При использовании сквозных систем появляется возможность эффективно управлять всей информацией на предприятии. Для этого фирмой "Unigraphics Solutions" разработан информационный менеджер IMAN, который позволяет значительно уменьшить количество рутинной работы. Возможность IMAN распределять и упорядочивать данные сокращает затраты персонала на поиск нужных данных. Это касается всех областей — проектирования, производства, закупок, поддержки и т. п. Руководители получают возможность удобно просматривать данные, распределять работу и контролировать все процессы со своего рабочего стола. Это также сохраняет рабочее время всего персонала. IMAN управляет процедурами внесения изменений, гарантируя полноту процедуры согласования и уведомления. Процедуры электронных подписей подвергаются аудиту, а руководители проектов могут отслеживать процесс утверждения чертежей. Интеграция IMAN с АСУП и другими системами подобного рода позволяет гарантировать, что данные об изделии являются правильными и синхронизированы со всеми компонентами корпоративной системы, так как они вводятся только один раз.

Возможность многократно использовать когда-либо введенные данные является одним из важнейших факторов ускорения проектных работ. При адаптации системы к условиям конкретного предприятия мы создаем базы данных типовых элементов литейной оснастки и автоматизируем часто повторяющиеся последовательности действий (используя

встроенный язык программирования). При этом у технолога-литейщика появляется возможность работы не с геометрическими примитивами (линия, поверхность, цилиндр), а с технологическими (стержневая ящик, литейная модель, питатель). В результате таких доработок проектирование технологической оснастки даже для деталей сложной конфигурации составляет 2—3 дня.

В целом компьютерный процесс подготовки производства в литейном подразделении показан на рис. 11.

В результате выполнения проекта была продемонстрирована возможность параллельной работы над одним проектом специалистов различных подразделений. Были показаны следующие преимущества работы в сквозной системе трехмерного проектирования Unigraphics:

- возможность параллельной работы и сокращения сроков подготовки производства;
- возможность быстрого проведения изменений (в пределах 15 мин);
- созданная геометрия оснастки может быть быстро подготовлена к запуску в производство (программа обработки на ЧПУ по трехмерной компьютерной модели создается за 1—2 дня);
- устраняется брак, связанный с неточным проектированием и изготовлением оснастки;
- уменьшается брак при изготовлении отливок, так как возможность появления брака определяется на стадии проектирования технологии методом моделирования процесса литья.

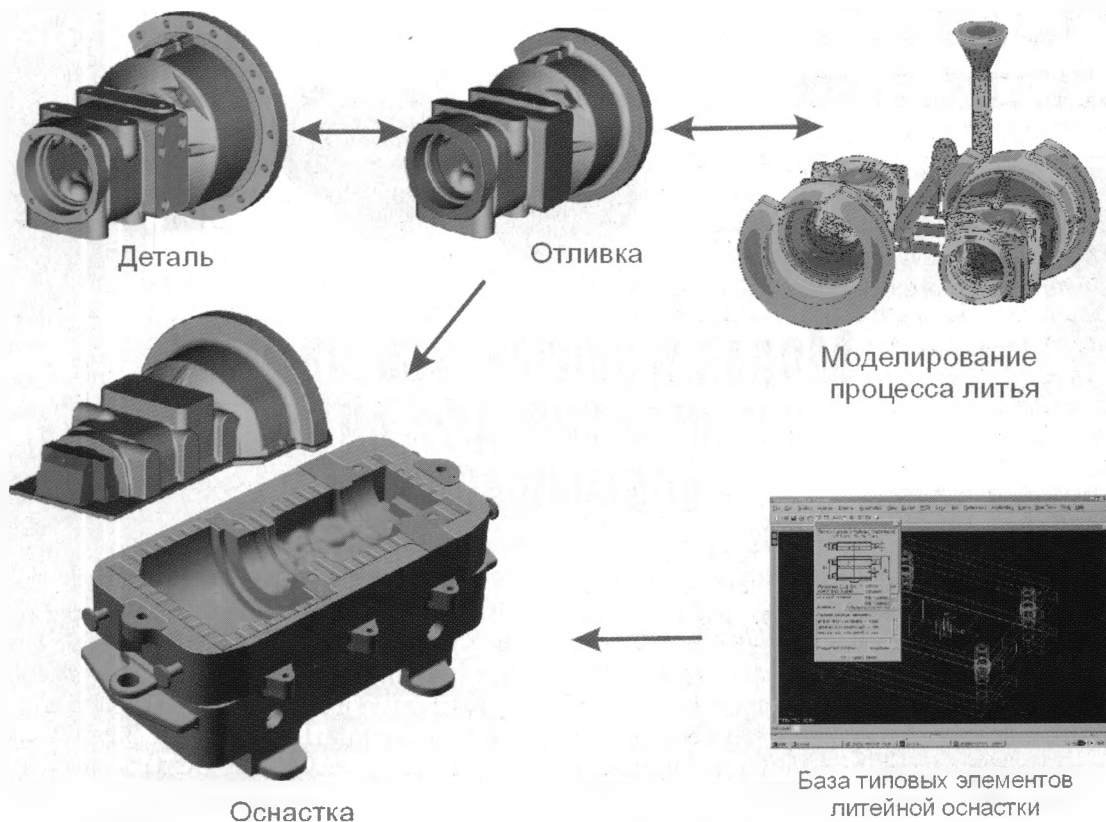


Рис. 11. Процесс подготовки производства в литейном подразделении