

Тихомиров М.Д., ЦНИИМ

Основы моделирования литейных процессов. Системы синтеза литейной технологии и их отличие от систем моделирования литейных процессов.

В серии публикаций под общим заголовком «Основы моделирования литейных процессов» ранее были рассмотрены различные вопросы связанные с системами компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП). Если подходить с точки зрения структуры интегрированной системы автоматизированного проектирования литейных технологий (САПР ЛТ) [1-2], то моделирующие системы являются лишь одной из подсистем САПР ЛТ и предназначены для решения определенного круга задач, причем эти задачи мало связаны с собственно автоматизацией формальных операций проектирования [3]. В последние полтора-два года на литейных производствах России наблюдается резкое увеличение спроса на системы моделирования и зачастую решение о приобретении СКМ ЛП делается без ясного представления о том, что должна и может делать моделирующая система, а что должны делать другие подсистемы САПР. В связи с этим, при обсуждении с заводскими специалистами возможностей и назначения СКМ ЛП часто возникает необходимость четко позиционировать место моделирования в программном обеспечении (ПО), входящем в САПР ЛТ.

В рамках САПР можно выделить два совершенно различных вида систем, являющихся ее подсистемами: системы *синтеза* технологии и системы *анализа* технологии [1]. К последним собственно и относятся моделирующие системы. Следует совершенно четко различать эти два разных вида систем. Системы синтеза и анализа принципиально различаются по внутреннему устройству, по назначению, возможностям, принципам применения, техническим и организационным решениям при внедрении. Более того, для их успешной эксплуатации чаще всего требуются пользователи с разной специализацией и квалификацией.

В принципе эти системы могут успешно функционировать независимо, более того попытки их связать жесткими связями всегда приведут к ограничению возможностей моделирующей системы, как более интеллектуальной и более универсальной. ***В идеальном случае системы синтеза и анализа могут применяться совместно*** [4], используя результаты работы друг друга, однако их связь должна быть достаточно гибкой и нужды системы синтеза ни в коем случае не должны ограничивать моделирующую систему. Дело в том, что СКМ ЛТ это вполне самостоятельная и «самодостаточная» система, которая требует и от ее разработчиков, и от пользователей высокого уровня профессионализма именно во взаимодействии с СКМ, а не при решении рутинных вопросов проектирования технологий. В силу этого, ***в общем случае разработка(использование) моделирующих систем и разработка(использование) систем синтеза - это в определенном смысле противоречащие друг другу задачи.*** Во всяком случае, наблюдаемые иногда попытки механически связать СКМ ЛП и системы синтеза ЛТ приводят к появлению явно слабого и весьма непрофессионального ПО, которое пытаются представить как некоторую «интегрированную» систему, а на деле такое ПО не в состоянии эффективно решать ни задачи моделирования литейных процессов, ни задачи синтеза литейных технологий.

Системы СИНТЕЗА технологии. К системам синтеза обычно относят два вида программного обеспечения: во-первых это графические системы для создания компьютерных геометрических моделей или чертежей – так называемые ***CAD-системы*** и во-вторых ***ПО для генерации технологических параметров***, в т.ч. и геометрических. CAD-системы – это чаще всего универсальные конструкторские пакеты не являющиеся специфическими литейными системами. В противоположность этому, ПО для генерации технологических параметров должно быть относительно узкоспециализированным и отражать специфику какой-либо конкретной литейной технологии, а зачастую и субъективные особенности конкретного предприятия.

ПО для генерации технологических параметров в качестве конечного результата выдает различные технологические, в том числе и геометрические параметры проектируемой технологии. Собственно это ПО, если оно автоматически импортирует свою информацию в параметризованную САД-систему, обеспечивает именно то, что обычно ожидают от внедрения САПР – т.е. автоматизацию процесса проектирования, исключение из ряда проектных процедур участие человека. Моделирующие же системы или системы анализа, хотя и являются подсистемой САПР, тем не менее, имеют совсем другую направленность. ***В идеальном случае системы синтеза могут практически в автоматическом режиме выдавать все требуемые параметры технологии:*** чертеж отливки, чертеж элементов литейной формы, все данные для заполнения технологических карт и т.д. ***В реальности же полный набор всех технологических параметров можно автоматически сгенерировать только для типовых технологий*** с узкой специализацией по типу деталей, их размерам, способам литья и т.п. При этом подобная система автоматической генерации будет жестко привязана к конкретному производству или даже участкам этого производства.

Иногда высказываются представления о том, что система синтеза должна проектировать гарантированные литейные технологии и предлагать надежные технологические решения для любых отливок в условиях любого конкретного литейного предприятия. К сожалению, специфика литейных процессов такова, что это невозможно. Хотя методами литья чаще всего получают некоторую заготовку, которую еще только предстоит превратить в конечное изделие, но сложность геометрии этой заготовки и тех процессов которые при ее формировании происходят в среднем гораздо выше, чем в других способах обработки металла. Собственно фасонные детали получают литьем именно тогда, когда сложность геометрии такова, что использовать другие методы невыгодно или даже невозможно, несмотря на то, что сами по себе литейные процессы менее предсказуемы и управляемы, чем любые другие в рамках машиностроения. Поэтому при проектировании литейных технологий автоматизированная генерация многих технологических параметров далеко не всегда возможна. И тут дело даже не столько в сложности геометрии, сколько в том можно или нет формализовать описание технологии. Если известно, что жестко определенная в общем виде технология даст гарантированный результат и весь вопрос в том, чтобы найти частные параметры этой технологии, то не в зависимости от сложности процесса и геометрии, автоматизировать нахождение этих параметров можно. Например заранее задан вид литниковой системы, количество отдельных простых элементов в ней, их взаимное расположение и при этом гарантируется, что именно такая литниковая система обеспечит требуемый результат. Тогда остается только найти геометрические параметры этих простых элементов, выраженные ограниченным набором чисел - поперечных площадей, длин и т.п. Любой литейщик знает, что в общем случае нет никаких гарантий того, обеспечит ли данный тип литниковой системы требуемый результат даже для двух похожих отливок. Вполне возможно, что потребуются две принципиально разных системы заполнения, причем предположить что это может быть так (даже не гарантировать, а предположить) сможет только достаточно опытный технолог. Собственно, если бы это было не так, то особых проблем при проектировании литейных технологий и не было бы. Таким образом, надежное применение системы синтеза возможно только для тех случаев, когда речь идет о некоторых заранее predetermined вариантах решения. Даже в литье это возможно, если удастся выделить некоторый «тип» деталей и соответствующий ему хорошо формализованный «тип» технологии. Именно для таких случаев применение систем синтеза наиболее эффективно.

Вычисление простых формализованных параметров (т.е. тех, которые можно представить в виде ограниченного набора цифр), например температуры заливки, время выбивки, величины припусков на заданные поверхности, размеров элементов литниковой системы заранее заданной конфигурации, размеры прибылей заранее заданного типа и

т.п., происходит на базе относительно несложных *аналитических формул или эмпирических зависимостей*. Иногда для тех же целей применяют столь же несложный *корреляционный анализ* для ограниченного числа входных параметров деталей и выходных параметров литейной технологии. Подобные корреляционные алгоритмы позволяют учесть опыт предыдущих удачных технологических решений без подробного анализа причин их применения, т.е. позволяют использовать решения найденные опытными технологами без привлечения их самих. Понятно, что для того, чтобы этот опыт мог быть использован, он так или иначе ранее должен быть документирован. Часто некоторые параметры в рамках некоторого «типажа» технологии являются достаточно постоянными и их можно «подставлять» в технологические документы автоматически, просто заполнив раз и навсегда некоторые ячейки документа. Описанные выше алгоритмы в значительной мере это не более чем компьютеризация использования технологических каталогов, справочников, ГОСТов, ОСТов, внутренних заводских документов или даже недокументированных правил применительно к нуждам конкретного производства с учетом его специфики, организации, принятым по умолчанию правилам и т.д. Таким образом, *главное назначение систем синтеза - это автоматизировать рутинные операции проектирования*, которые в противном случае делаются «вручную» с применением рекомендуемых материалов и предыдущего опыта технолога. Понятно, что при этом положительный результат гарантируется только в очень узкой области «типажа», т.е. общего вида отливок для которых выведены использованные формулы, зависимости и правила. Тут следует отметить, что в действительности однозначность принадлежности отливки к какому-то одному «типу» далеко не всегда выполняется в силу сложности геометрий фасонных отливок.

Построение собственно геометрических моделей (если это необходимо) обычно производится в некотором универсальном конструкторском пакете: CAD-системе. В настоящее время это чаще всего делается в «ручном» режиме. При этом все технологические параметры (размеры прибылей, литников, литейные припуски, уклоны и т.п.) пользователь вручную вносит в компьютерную геометрическую модель при ее построении. Иногда (достаточно редко) CAD-система оснащается базой параметризованных типовых литейных элементов (прибыли, литниковые системы и т.п.), которые иногда (еще реже) связаны с системой автоматического вычисления параметров по алгоритмам упомянутым выше. На большей части заводов в настоящее время имеется та или иная CAD-система. Более того, такие CAD-системы почти всегда имеются сейчас и в отделах конструкторов литейной оснастки, если завод имеет подобное подразделение. В этом смысле отдельные элементы системы синтеза ЛТ уже сейчас прочно вошли в обиход предприятий, хотя их основное применение в настоящее время – это обеспечение нужд станков с ЧПУ для изготовления оснастки. Вопрос лишь в том, чтобы дополнить имеющуюся CAD-систему программой для генерации технологических параметров и организовать их связь. Вопрос автоматического импорта геометрических параметров в CAD-систему конечно очень непростой, но решаемый, если имеющаяся CAD-система поддерживает параметризацию и может использовать при построении геометрических моделей пополняемые базы параметризованных стандартных элементов. Более того, некоторые известные конструкторские пакеты предлагают свои внутренние средства, которые можно использовать для создания собственно системы генерации геометрических параметров технологии – т.е. возможность задавать аналитические и логические зависимости между различными элементами геометрии, а также их зависимость от некоторых вводимых по запросу параметров.

Системы синтеза литейной технологии весьма привлекательны для производств с устойчиво ограниченной номенклатурой, т.к. в рамках отработанных технологий позволяют получить на выходе большинство необходимых параметров проектируемой технологии. Более того, использование таких систем, за исключением собственно CAD-системы, не требует от пользователя особой подготовки и большего опыта. Во всяком

случае, для тех отливок которые могут быть однозначно отнесены к тому или иному «типу» для которых разработана данная система синтеза. Правда решение о принадлежности детали к тому или иному «типу» далеко не всегда тривиальная задача.

На первый взгляд кажется, что автоматизация рутинных операций не такая уж важная задача. Однако, в реальном производстве до 70-80% проектных процедур, которыми приходится заниматься технологу - это именно рутинные операции. Применение систем синтеза **позволяет высвободить время технолога для решения действительно творческих задач**, которые трудно или невозможно автоматизировать. Кроме того, автоматизация рутинных процедур **существенно снижает процент ошибок** при их проведении. При всем этом не стоит ждать от систем синтеза невозможного. Они могут быть весьма полезны, могут существенно облегчить труд технолога, но не могут за технолога решить вопросы проектирования «не типовых» литейных технологий и не могут за руководителей решить задачи управления и организации производства.

Основная трудность при попытках задействовать системы синтеза для проектирования реальных литейных технологий состоит в том, что это возможно только после адаптации используемых простых формул и зависимостей к конкретным типам и размерам деталей (отливок), к мелким особенностям способов литья на конкретном производстве, организационно-технологическим внутренним связям этого производства и т.д. Фактически это даже не адаптация, а создание системы под условия конкретного производства. В общем случае, сторонние разработчики, даже будучи специалистами-литейщиками, сами вряд ли могут создать реально работающую систему синтеза для конкретного производства, хотя могут оказать существенную помощь при постановке общих задач для такой системы. Дело в том, что сторонние разработчики всегда являются гораздо более универсальными специалистами, чем требуется в данном случае, т.к. они ориентированны на разные заводы, а не на данный конкретный завод, цех, тех-бюро и т.д. Кроме того, система синтеза в реальном производстве не может быть раз и навсегда сделана один раз, ее надо постоянно дополнять, наполнять ее базы данных и библиотеки новыми элементами, новыми появляющимися связями – система синтеза должна постоянно «отслеживать» меняющуюся на предприятии ситуацию, как технически, так и организационно. В противном случае она просто будет мешать производству, усложнять нововведения, затруднять связь различных подразделений и т.п. На заводах достаточно часто забывают об этом, поддавшись на посулы того или иного дилера или даже разработчика о том, что предлагаемая система «решит все проблемы». Тут следует понимать, что **для завода легких путей в создании эффективной системы синтеза нет**. Основная нагрузка при создании реально работающей системы синтеза всегда лежит на заводе, а не на привлекаемых со стороны специалистах.

В то же время, в качестве собственно оболочки системы синтеза можно использовать относительно универсально построенное ПО, весь вопрос в том как и чем наполнить эту оболочку. Наполнение такой оболочки, созданной профессиональными разработчиками подобных универсальных оболочек по сути и является созданием собственно системы синтеза. Разработчики оболочки могут быть достаточно далеки от специфики литейного производства, но обязательно должны быть профессиональными специалистами в области программирования, работы с базами данных и т.п. В этом смысле при выборе оболочки лучше ориентироваться не на разработки литейщиков, а на разработки специалистов в области систем управления базами данных и САД-систем. Чаще всего успешную адаптацию (или точнее создание) системы синтеза литейной технологии на конкретном заводе могут провести только заводские специалисты различного профиля, объединенные общей координацией некоторого отдела САПР или аналогичного ему, который при необходимости может привлекать сторонних разработчиков и специалистов. К сожалению, в условиях реального производства организовать такую работу достаточно трудно. Обычно это выясняется только после ряда неуспешных попыток внедрения некоторой «покупаемой» системы синтеза,

разработанной сторонними специалистами, когда задачу пытаются решить сугубо технически, без продуманных организационных решений и подбора внутренних заводских кадров для выполнения работ по адаптации(созданию) системы. Вероятно поэтому примеров успешного разворачивания полномасштабной системы синтеза литейной технологии в России практически нет, хотя такие ее элементы как САД-системы в той или иной мере используются в настоящее время почти на всех заводах, в том числе и в литейных подразделениях.

Системы АНАЛИЗА литейной технологии. К системам анализа литейной технологии в основном относится ПО для численного моделирования физических процессов происходящих в отливках. В таких программах на компьютере «проигрываются» различные процессы при формировании отливки (тепловые, гидродинамические, усадочные, деформационные и т.д.) на основе которых моделируются процессы образования различных дефектов, прогнозируются различные свойства, эксплуатационные характеристики и т.п. Особенности моделирующих систем с точки зрения общих задач САПР будет посвящена отдельная статья в рамках той же серии, поэтому здесь упомянем лишь главное их отличие от систем синтеза, которое состоит в том, что обычно *моделирующие системы на выходе не выдают никаких технологических рекомендаций*. СКМ ЛП предназначены для отработки сложных или ответственных технологий (как серийных так и разовых), определения параметров наиболее важных по влиянию на качество, нахождения причин брака в уже применяемых неудачных технологиях, определения устойчивости технологии к изменению внешних параметров и поиска таких технологических решений, которые требуют понимания происходящих в отливке процессов. Можно сказать, что использование СКМ ЛП – это не упрощение процесса проектирования, а способ сделать его более интеллектуально емким, более осмысленным, более надежным, более эффективным. Может быть это покажется парадоксальным, но с определенной точки зрения, СКМ усложняет разработку технологии, т.к. является дополнительным достаточно сложным инструментом без которого раньше технологи обходились. Тем не менее, с помощью этого инструмента можно осмысленно решать те задачи, которые раньше решали интуитивно, «на ощупь», иногда даже при совершенно неверных представлениях о том, чем обусловлены интуитивно найденные удачные решения. Успешное использование СКМ ЛП требует от пользователя достаточной профессиональной подготовки и творческого подхода к процессу проектирования. Несмотря на повышенные требования предъявляемые к пользователю СКМ ЛП, *литейные моделирующие системы сейчас активно применяются на десятках заводов России*.

К сожалению этого нельзя сказать про системы синтеза ЛТ. Об удачных случаях внедрения полномасштабных систем синтеза ЛТ в последние пять-восемь лет как-то не слышно вообще. Во всяком случае в России. Трудно сказать насколько это объективно связано со спецификой литья, но вероятно этот не очень радужный факт следует учитывать при выборе стратегии внедрения элементов САПР ЛТ. Не исключено, что в настоящее время внедрение полномасштабной системы синтеза ЛТ требует от заводов таких усилий, что это становится невозможным. Как уже указывалось выше, главную нагрузку при внедрении (адаптации, созданию) системы синтеза ЛТ несет завод, а не сторонний разработчик. Однако, не следует забывать, что в советские времена более-менее удачные попытки внедрения систем синтеза ЛТ все-таки делались. Известны заводы, на которых подобные системы функционировали до тех пор, пока заводские разработчики занимались их поддержкой. Тогда конечно речь не шла о трехмерных геометрических моделях, но ведь и современных САД-систем не было, да и возможности вычислительной техники были совсем слабенькие по сравнению с нынешним. Таким образом, наверно можно смотреть на реальность разворачивания систем синтеза ЛТ на наших предприятиях с определенным оптимизмом, а нынешнюю ситуацию считать временной.

Список литературы

1. **Тихомиров М.Д., Абрамов А.А., Аникин С.М.** Системы автоматизированного проектирования технологических процессов литья//Обзор ЦНИИ Информации.-1990.-обзор № 5240.-64 с.
2. **Ишханов А.Е., Фролов М.М., Пулит В.В., Тихомиров М.Д.** Интегрированная САПР литейной технологии. Структура, функции, перспективы//Литейное производство.-1991.-№ 10.-С.23-24.
3. **Тихомиров М.Д.** Система автоматизированного моделирования литейных процессов//Литейное производство.-1993.-№ 9.-С.32-35.
4. **Голод В.М., Тихомиров М.Д., Сабиров Д.Х., Ишханов А.Е., Фролов М.М., Сивко В.И., Морозов Б.М.** Принципы создания и развертывания двухуровневой интегрированной САПР литейной технологии//Сб.Тезисы VI Международной научно-технической конференции "Кристаллизация: компьютерные модели, эксперимент, технологии".-1994.-С.135-137.