



The algorithmic schemas allowing to increase the degree of automation of design efforts aimed at development and improvement of the castings production technology are offered. The offered schemas are described for one of industrial castings.

А. Н. ЧИЧКО, Т. В. МАТЮШИНЕЦ, В. Ф. СОБОЛЕВ, БНТУ,
Л. В. МАРКОВ, ОАО «ММЗ»

УДК 669.27:519

АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ДЛЯ САПР ЛИТЕЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Одним из важнейших направлений современного литейного производства является использование компьютерных технологий для решения разнообразных задач по проектированию технологической оснастки. В настоящее время на многих предприятиях используются компьютерные методы для построения чертежей на плоскости с использованием средств AutoCAD. Однако построение твердотельных 3D-моделей, являющееся необходимым этапом моделирования технологических процессов, еще не стало традиционным для значительной части конструкторских отделов промышленных предприятий.

Анализ функционирования конструкторских отделов показывает, что многие специалисты приобретают опыт построения твердотельных моделей на основе метода проб и ошибок. В этом случае технологии построения 3D-моделей не являются оптимальными и в зависимости от уровня компьютерной подготовки конструктора могут быть очень трудоемкими по времени. Этот фактор повышает время, затрачиваемое на процесс проектирования. Следует отметить, что при построении твердотельных моделей необходимо учитывать и то, что она разрабатывается с выбранной литниковой системой для моделирования процесса заполнения форм. Причем сама литниковая система может быть в пространственном отношении довольно сложным объектом, т.е. должны быть «зарезервированы» некоторые варианты проектирования литниковой системы. Другими словами, при необходимости должна быть предусмотрена варьированность пространственной конфигурации литниковой системы для каждой отливки. Поэтому разработка алгоритмических схем автоматизации проектно-конструкторских работ, направленных на совершенствование технологического процесса, является актуальной научно-технической задачей САПР литейного производства.

Цель настоящей работы – разработка алгоритмических схем автоматизации, которые могут быть использованы для снижения сроков проектирования и повышения качества технологического процесса изготовления отливок.

На рис. 1 показана обобщенная схема автоматизации процесса разработки технологии получения отливок литьем в песчано-глинистые формы.

Как видно из рисунка, процесс разработки может быть разбит на пять этапов.

На первом этапе средствами твердотельного моделирования и чертежей заказчика строится 3D-модель отливки. Этот этап может быть автоматизирован по средствам выбора оптимальных алгоритмов с учетом разбиения отливки на выбранные примитивы [1]. Причем уже на этом этапе возможно использование методов классификации, позволяющих на ранних стадиях проектирования отнести деталь к некоторому классу, для которого ранее уже была разработана оптимальная цепочка проектирования примитивов. Цепочка проектирования – это линейка шагов, последовательное выполнение которых позволит за минимально короткое время спроектировать 3D-геометрию отливки, относящейся к данному классу, с минимальным набором примитивов. При этом созданная 3D-геометрия будет гибка к внесению изменений в конструкцию отливки и обладать широкой базой для проектирования к ней большого числа вариантов литниковых систем.

На втором этапе для построенной 3D-модели необходимо выбрать литниковую систему, причем, с одной стороны, размер литниковой системы (объем, расход металла) должен быть минимальным в расчете на отливку, с другой стороны, литниковая система должна обеспечить ламинарное заполнение формы с отсутствием дефектов типа «недолив» при заданных температурах заливки используемого сплава. Для реализации этого

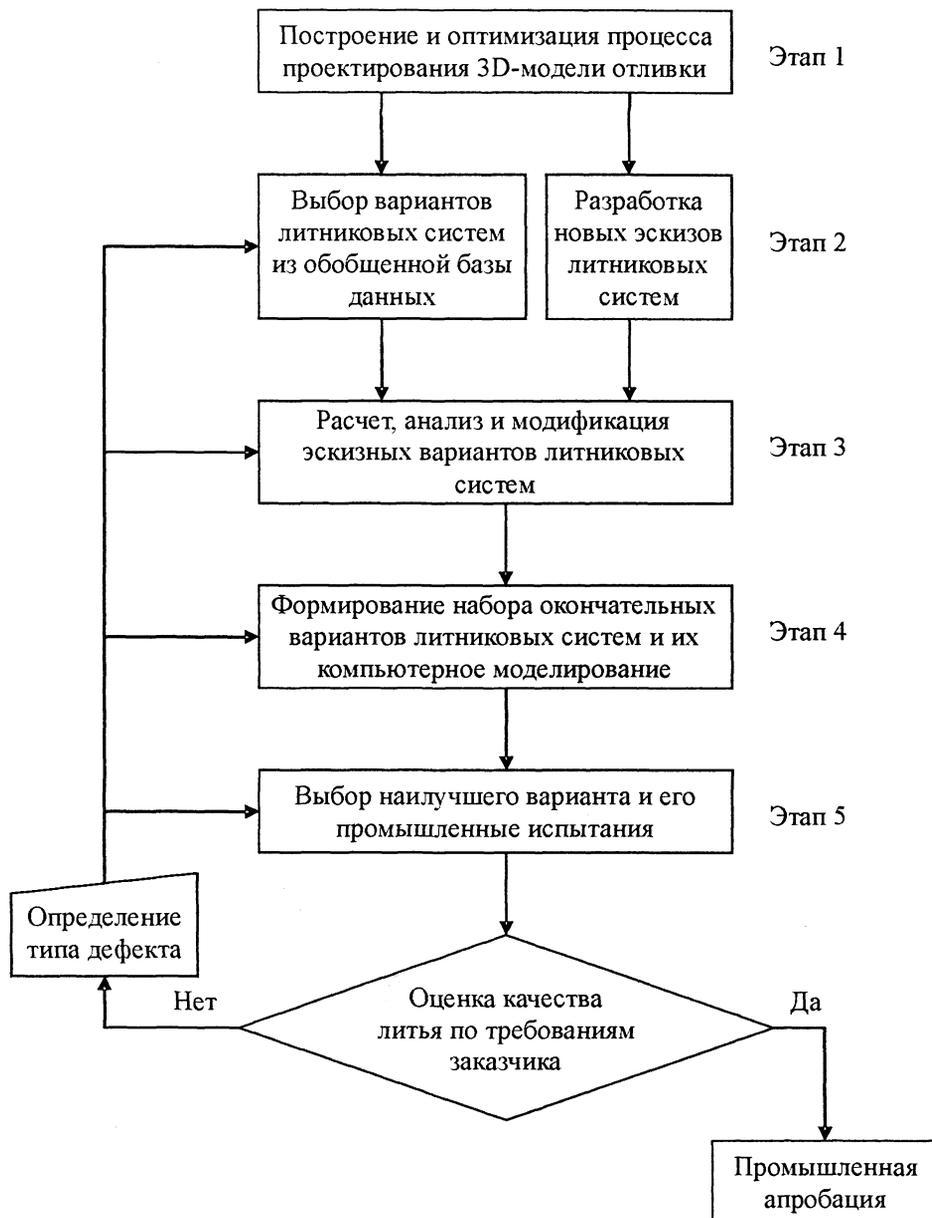


Рис. 1. Обобщенная схема автоматизации процесса разработки технологии получения отливок литьем в песчано-глинистые формы

этапа возможно как минимум два пути. Первый путь — использование экспертной системы с базой данных по готовым техническим решениям, которые уже апробированы в промышленных условиях, т.е. это прототипирование, основанное на адекватном (математическом) сопоставлении конструкторско-технологических и геометрических параметров, а также массовых характеристиках нового изделия с соответствующими параметрами деталей, составляющих обобщенную базу предприятия. В качестве методик сопоставления используются алгоритмы кластерного анализа [2], а также алгоритмы, построенные на идеологии нейронных сетей [3, 4]. В результате сравнения определяются класс, подкласс детали, а также предлагается ряд литниковых систем, используемых для наиболее близких по выделенным признакам деталей данного подкласса, хранящихся в об-

общенной базе. Второй путь основывается на выборе литниковой системы при отсутствии аналога в базе данных, т.е. конструктор при разработке литниковой системы пользуется своей алгоритмической схемой. Используя накопленный опыт, конструктор проектирует ряд принципиально различных литниковых систем, которые могут быть применены к проектируемой отливке.

Выбранные на первом пути либо разработанные на втором литниковые системы не всегда являются оптимальными для данной детали, поэтому целесообразно использование их только в качестве начальных вариантов, которые в дальнейшем будут дорабатываться и модифицироваться.

Предлагаемые решения могут быть оценены на основе как инженерных методик, основанных на теплофизических расчетах, так и методов компьютерного моделирования процесса заполнения

формы. На третьем этапе отобранные на предыдущих стадиях эскизные варианты литниковых систем проходят ступени расчета, модификации и оценки.

Известно, что при разработке литниковой системы для изготовления отливки большое внимание уделяется соотношению сечений ее элементов. Однако, используя современные системы математического моделирования технологических процессов, можно убедиться, что классический расчет Озанна–Диттерта не всегда справедлив. Зачастую сечения, рассчитанные по методике Озанна–Диттерта, не являются оптимальными для данной отливки, что в дальнейшем при использовании разработанной литниковой системы приводит к большому количеству бракованных отливок. Дальнейшее изменение и подбор приемлемых соотношений элементов литниковой системы становятся затруднительными и носят, скорее, интуитивный характер. Как показывают практические данные, важность выбора соотношения элементов литниковой системы значительно преувеличена. Сечения элементов литниковой системы определяют лишь динамику заполнения полости формы и отвечают за образование лишь малой доли дефектов по недоливам и газовым включениям. В реальных условиях за возникновение большей части дефектов отливки отвечают положение мест подвода металла к отливке, траектория входа струи металла в полость формы и геометрия литниковой системы, несвязанная с ее сечениями. Процесс адаптации, анализа и модификации литниковой системы проходит по алгоритмической схеме, представленной на рис. 2.

Первоначально для каждого входного (базового) варианта литниковой системы по классической методике рассчитываются сечения ее элементов, с помощью предварительного компьютерного моделирования оценивается вероятность получения качественной отливки (оцениваются дефекты типа «недолив»).

На втором шаге рассматриваются различные варианты подвода металла к отливке, анализируется вероятность образования дефектов типа «горячие трещины», «усадочная пористость».

На третьем шаге рассматриваются варианты траектории подвода металла к полости формы, анализируются дефекты типа «размыв формы».

На четвертом шаге рассматривается конструкция литниковых каналов. Протяженность литниковых каналов, с одной стороны, должна быть минимальна для уменьшения массы литниковой системы, с другой – должна обеспечивать ламинарное заполнение полости формы.

На четвертом этапе из вариантов и подвариантов эскизов литниковых систем, отобранных на третьем этапе, формируется набор литниковых систем, не превышающий 10 (цифра условна), которые должны пройти виртуальную апробацию с точки зрения математической логики моделирования процесса заполнения и кристаллизации сплава в форме. Причем одним из критериев выбора лучшего варианта должно быть отсутствие дефектов для нескольких уровней варьирования технологических факторов, т.е. необходимо учесть трудности контроля технологических факторов, а также специфику нагревательных устройств, слу-

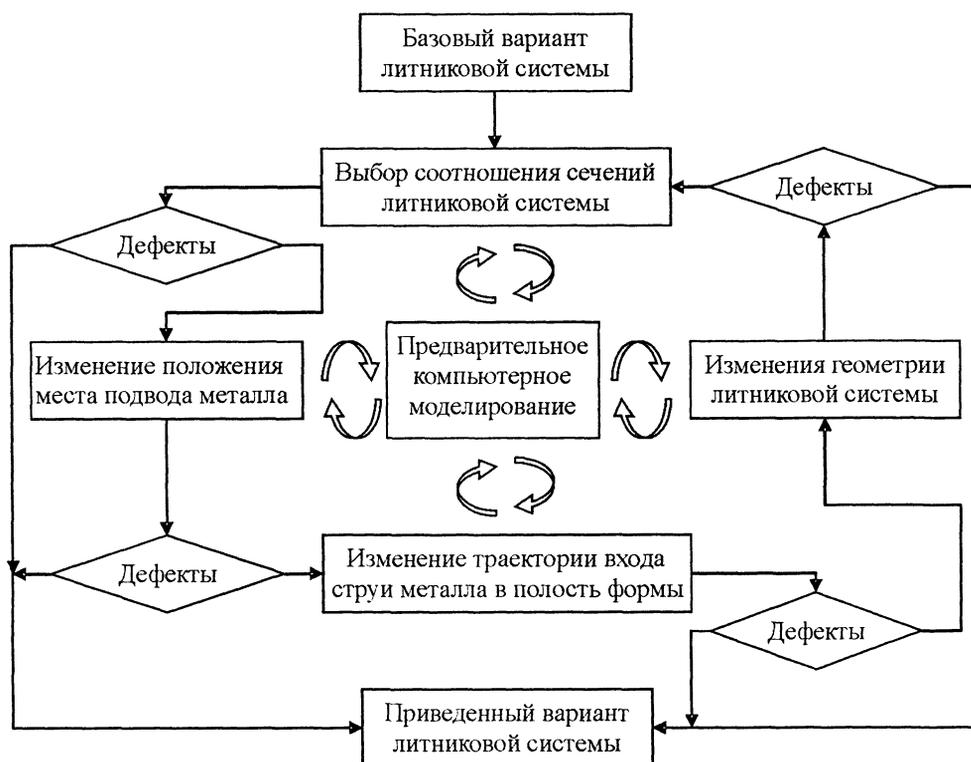


Рис. 2. Алгоритм оптимизации варианта литниковой системы

жаших для приготовления металла, и возможность поддержания необходимой температуры металла до его заливки в форму.

На пятом этапе осуществляется выбор наилучшей комбинации «отливка–литниковая система», для которой и проводятся промышленные испытания. В зависимости от результатов промышленных испытаний и анализа дефектов отливки принимается решение о том, к какому этапу проектирования следует перейти, чтобы обеспечить требуемый уровень свойств отливки.

Рассмотрим разработку технологии изготовления отливки «Броня» (РУП «Гранит») с использованием описанной алгоритмической схемы автоматизации проектирования технологии изготовления отливок.

На первом этапе была построена 3D-модель отливки «Броня» (рис. 3).

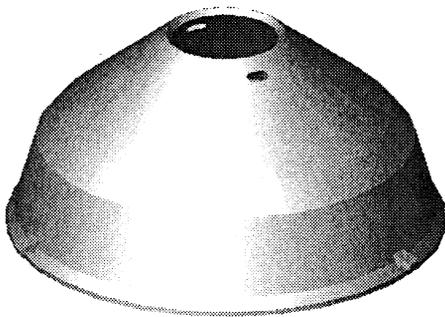


Рис. 3. 3D-модель детали «Броня»

На первый взгляд, создание 3D-образа детали типа «Броня» (рис. 3) не представляет большой сложности. Достаточно построить эскиз, содержащий контур сечения будущей детали и, используя элемент «Обернуть», создать основное тело (главный примитив) детали типа «Броня». В дальнейшем необходимо дополнить тело детали отверстиями, поднутрениями, «крюками» и другими второстепенными элементами. Однако на самом деле при разработке 3D-детали типа «Броня» конструктор сталкивается с рядом трудностей. Построение основного примитива детали типа «Броня» проходит несложно, но при проектировании дополнительных примитивов конструктор сталкивается с тем, что для их построения недостаточно стандартных трех плоскостей и немногочисленных плоских граней, имеющих на поверхности детали. Эти трудности усугубляются при последующем проектировании литниково-питающих систем и построение литниковой системы в нужной области с необходимыми размерами становится невозможным без введе-

ния дополнительных справочных элементов. Избегать описанных сложностей проектирования позволяет правильный выбор начальной точки эскиза, расположив ее на том уровне будущей детали, где в дальнейшем будут проектироваться дополнительные примитивы либо необходимые элементы литниково-питающей системы.

На втором этапе для спроектированной детали были выбраны эскизные варианты литниковых систем (рис. 4), используемые для производства схожих отливок.

На третьем этапе эскизные варианты литниковых систем рассчитывались, проходили стадию предварительного компьютерного моделирования, дополнялись и дробились на подварианты.

В результате на четвертом этапе разработки технологии изготовления отливки был сформирован набор литниковых систем (рис. 5) для компьютерного моделирования процесса заполнения и кристаллизации сплава в форме.

По всем вариантам сочетания «отливка–литниковая система» было проведено компьютерное моделирование процесса заполнения и затвердевания. Наилучший результат показал вариант 4 литниковой системы. Данные по распределению поля скоростей и положения усадочной пористости приведены на рис. 6, 7.

По результатам моделирования был сделан вывод о том, что первоначальная температура заливки (1450 °С) является завышенной. В соответствии с этим было проведено дополнительное моделирование полей температуры и пористости для температуры заливки 1400 °С, в результате чего существенно уменьшилась область отливки с пониженной плотностью (рис. 8).

На основе предложенной методики были разработаны технологии изготовления ряда отливок типа «Броня» на РУП «Гранит». Все разработанные технологии прошли промышленные испытания и в настоящее время внедрены на предприятии для производства крупногабаритных стальных отливок.

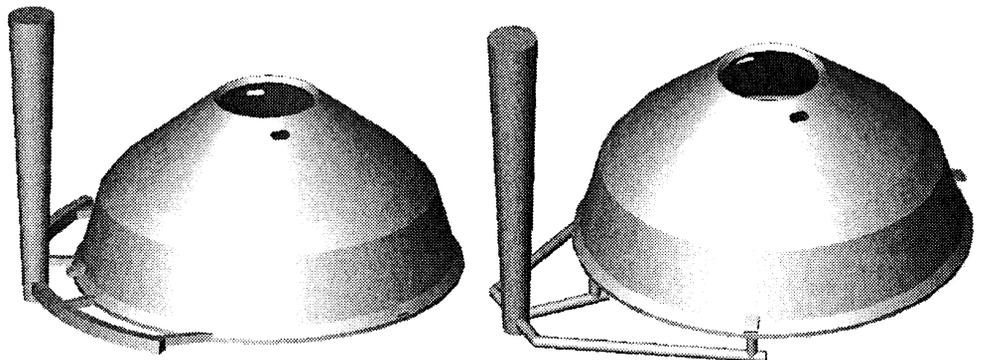


Рис. 4. Эскизные варианты литниковых систем для детали «Броня»

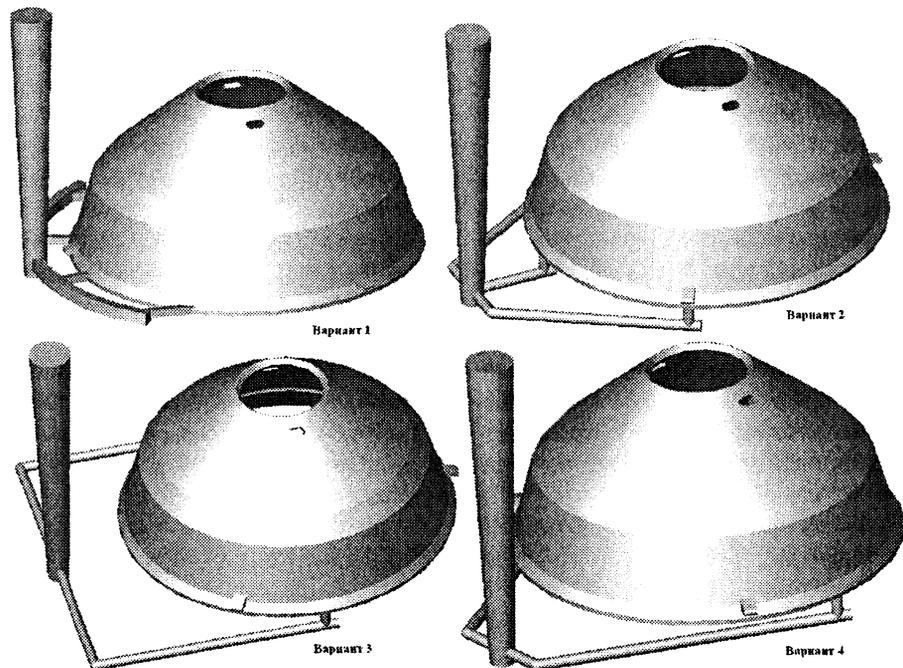


Рис. 5. Отобранные для моделирования варианты литниковых систем

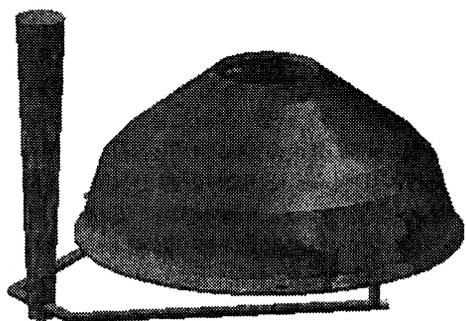


Рис. 6. Распределение поля температур в отливке на конечный момент времени

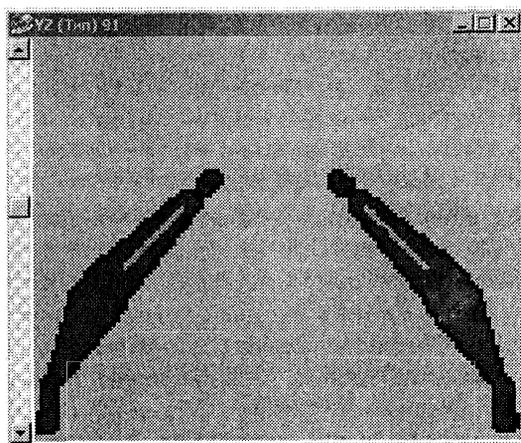


Рис. 7. Распределение плотности (усадочная пористость) по телу отливки

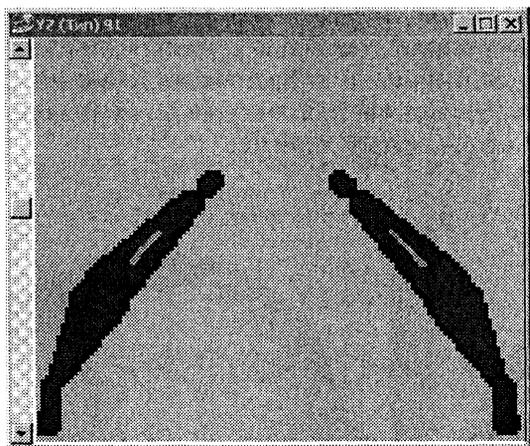


Рис. 8. Распределение плотности по телу отливки при пониженной температуре заливки

Литература

1. Чичко А.Н., Матюшинец Т.В., Марков Л.В. Алгоритмизация компьютерного проектирования литейных деталей с помощью CAD-систем // *Литье и металлургия*. 2005. №4. С. 35–37.
2. Чичко А.Н., Матюшинец Т.В., Марков Л.В., Соболев В. Ф. О путях автоматизированной обработки пространственной геометрии системы «Литник–отливка» для решения задач классификации // *Литье и металлургия*. 2007. №1. С. 76–81.
3. Матюшинец Т.В., Марков Л.В. О возможности использования метода нейронных сетей для автоматизированного проектирования кокильной оснастки // *Литье и металлургия*. 2006. №3. С. 125–129.
4. Чичко А.Н., Матюшинец Т.В., Сачек О.А., Ганжа В.А. О путях применения моделей нейросетевого программирования к решению задач классификации объектов «литниковая система–отливка» // *Литье и металлургия*. 2007. №4. С. 78–83.