

УДК 621.74.02:
621.74.072

V.S. Doroshenko

Физическое моделирование отливок оболочковых конструкций с целью металлосбережения Simulation of casting as a shell structures in order to save metal

В.С. Дорошенко (ФТИМС НАН Украины, г. Киев)

Аннотация

Совместное совершенствование оболочковых металлоконструкций и технологии их литья — важное условие металлосбережения и конструирования конкурентных литых деталей. Описаны новый способ моделирования оболочковых отливок и их примеры.

Ключевые слова

Моделирование, оболочковые конструкции, отливки, контейнеры, сбережение металла, литье по газифицируемым моделям.

Summary

Joint improvement of shell steel structures and technology of casting is an important condition for the metal and engineering savings competitive cast components. We describe a new method of modeling of shell castings and examples.

Key words

Modeling, shell construction, castings, containers, saving metal, Lost Foam Casting.

При создании новых материалов и технологий для современного машиностроения актуально существенное снижение материалоемкости и увеличение ресурса литых деталей, при одновременном сокращении материальных, энергетических затрат и экологической нагрузки на окружающую среду.

Сегодня имеется потребность реализации преимуществ разработанных во ФТИМС НАН Украины новых высокоэффективных литых материалов, методов их плавления и внепечной обработки путем повышения служебных характеристик отливок, при получении их в таких песчаных формах, которые позволяют существенно повысить их размерную точность, создать заданные условия для твердения и структурообразования металла отливок, при сокращении материало-, энергозатрат и вредных выбросов в окружающую среду.

К таким методам относятся разновидности литья по газифицируемым моделям (ЛГМ), в формы — замороженные, вакуумируемые и по ледяными моделями, научные и технологические основы которых, включая новейшее оборудование, постоянно совершенствуются научной школой проф. О.И. Шинского [1].

В статье рассмотрен один из методов физического моделирования отливок оболочковых конструкций как результат исследований по теме «Разработка научных и технологических основ по созданию литых конструкций из черных и цветных сплавов, оптимальных процессов их получения и автоматизированных методов проектирования».

Тема обоснована тем, что компьютерные программы известных компаний, таких, как MagmaSoft (Германия), ProCast (США, Франция),

Полигон (Россия), SolidCast (США) и др., были созданы для оценки процессов в литейной форме без должной оптимизации литых конструкций и воспринимали отливку как созданный конструктором готовый продукт.

Также эти программы не были адаптированы к таким специальным методам литья, как ЛГМ, литье по растворяемым и ледяным моделям, в сочетании с заливкой металла под избыточным давлением или гравитационной. Отсутствуют в этих программах и возможности оценки процессов в литейной форме с использованием низкотемпературных, оболочковых форм, при получении литых деталей с армирующей фазой в полости формы, что приближает отливки к изделиям из композитных материалов.

Многие методы расчета и конструирования литых деталей в странах СНГ, Украине и нормативная база для этого построены на эмпирических уравнениях, с учетом процессов формообразования, созданных еще в 60...70-е гг. прошлого века, что не позволяет реализовать сложные конструкции высокой размерной точности.

ГОСТ 26645-85, ГОСТ Р 53464-2009 для литых деталей габаритами 500...1500 мм при литье в песчаные формы устанавливают значительные допуски, что ведет к увеличению толщины стенок отливок и их массы почти на 50...80%, а также допусков в пределах 9...11 кв. этих ГОСТов и тормозят эффективное использование высокопрочных сплавов, поскольку уменьшение толщины отливок пропорционально повышению прочности металла нивелирует высокие допуски.

Поэтому современные литые конструкции в Украине и странах СНГ превышают рассчитанные по металлоемкости в 1,5–2 раза, а получаемые в Зап. Европе – 1,3–1,5 раза, что ведет к перерасходу энергоносителей, шихтовых материалов, трудоемкости их производства – в 1,5–2,0 раза.

Совместная оптимизация геометрии детали и технологии ее литья для достижения максимального коэффициента использования металла предложена на примере оболочковых конструкций. В зависимости от габаритных размеров, конструктивного оформления, характерных особенностей изготовления и эксплуатации, такие конструкции можно разделить на негабаритные емкости и сооружения, сосуды, работающие под давлением, трубы и трубопроводы.

Они обладают сквозными или закрытыми каналами. Их ребра часто можно представить в виде арок, а также применить моделирование методом

переворачивания цепной линии для поиска идеального очертания для арок и куполов по аналогии, известной в строительстве. Подобные арочные и оболочковые элементы имеют, кроме люков и корпусов контейнеров, например, такие массовые чугунные отливки, как канализационные и телефонные люки, дождеприемники, горизонтальные тротуарные решетки. Однородная арка в форме перевёрнутой цепной линии испытывает только деформации сжатия, но не изгиба.

На рис. 1 показаны примеры пенопластовых моделей отливок оболочковых конструкций, включая детали трубной арматуры, тиглей и других корпусных деталей. Для оптимизации оболочек в трехмерном измерении применяют метод инверсии гибких *висячих сетей*, формируемых из плоского положения действием силы тяготения. Метод физического моделирования опорной поверхности безмоментной сводчатой оболочки сложной криволинейной поверхности реализуют путем переворачивания *висячих сетей* [2]. Такую сеть-паутину, свисавшую с потолка, часто использовал архитектор А. Гауди (1852...1926 гг.).

Суть моделирования – в приравнении сил сжатия силам растяжения, когда купол имитируют в перевернутом виде. Ветки с грузами имитируют части купола, колонны, стены. Если стена была толщиной в полкирпича, то на веревке, через каждые 5 см, крепили свинцовые грузики по 10 г, если в полный кирпич, по 20 г. Получалась цепь из грузов. Если купол должен быть установлен на шесть разветвленных колонн, то к потолку подвешивали шесть таких масштабированных цепей и к их концам крепили веревки с грузами, пропорционально массе купола.

Получали «цепной» прогиб. Оставалось обрисовать конфигурацию, зафиксировать пропорции линейкой и перевернуть картинку. Если на купол надо поставить статую, к центру веревочной паутины подвешивали груз, соизмеримый по массе со статуей. Геометрия купола изменялась, он вытягивался, изменяя угол «колонны».

Однако предложенные сегодня *висячие сети* – это специальные, гибкие растягивающиеся, достаточно дорогие конструкции [2], из плоского положения которых часто сложно сформировать действием силы тяготения оболочку требуемой выпуклости при закреплении ее над отверстием произвольной формы. Поэтому для оболочковых конструкций, по аналогии с моделированием методом переворачивания *висячих сетей*, предложено моделирование *методом переворачивания* провисающей нагретой термопластичной пленки.



Рис. 1. Примеры моделей отливок оболочковых конструкций

Для испытаний использовали полиэтиленовую пленку или сэвilen марки 11304-075 (ТУ 6-05-1636-97), которую часто применяют при вакуумной формовке для облицовывания модельных комплектов при ее не менее шестикратном удлинении. Толщина пленки ~75...100 мкм. Пленка при нагревании до пластичного состояния в литейном цехе провисала под собственным весом.

Опробовали моделирование геометрии *крышки люка* полиэтиленовой пленкой, закрепив ее в проеме и нагревая ее решеткой из трубчатых электронагревателей (ТЭН). Когда пленка провисла на требуемое расстояние, ее фотографировали сбоку для обработки изображения на компьютере. Величину провисания регулировали изменением температуры ТЭНов или степени их приближения к пленке.

Для глубокого провисания допустимо применение инфракрасных или другого типа нагревателей. Пленка легко закрепляется по краю проема любой конфигурации, а подобная технология нагревания хорошо отработана для вакуумной формовки. Это упрощало моделирование без применения сетей особой конструкции со специальными свойствами и сложным процессом регулирования степени провисания.

Предложено физическое моделирование таким же методом деталей литого *контейнера* для захоронения радиоактивных отходов (РАО), описанного в работах [3...5]. Моделирование оптимальной геометрии стенок и каменных вставок в них, применение конструкций, армированных пространственными каркасами, позволит облегчить отливку снижением расхода металла, при сохранении служебных свойств *корпуса контейнера*. Рассмотрим эту тему подробнее.

С развитием атомной энергетики обостряется проблема изолирования РАО для предотвращения их влияния на окружающую среду, поэтому проблема экологически надежного и экономически оправданного обращения с РАО актуальна для всех стран.

Одним из возможных решений этой проблемы, к которому склоняются специалисты большинства стран, заключается в фиксировании радионуклидов в твердой матрице (контейнере) и захоронении их в геологической формации или специально построенном хранилище.

При этом, создаются два защитных барьера, препятствующие выносу радионуклидов: искусственный, в виде защитного контейнера, и естественный, в виде горной породы или стенок бе-

тонного хранилища, в сочетании с толстым слоем грунта. Такая стратегия предполагает использование новых материалов и технологий изготовления контейнеров, обеспечивающих экологически безопасное обращение с РАО.

Среди материалов, которые используют для изготовления *контейнеров*, чаще всего применяют чугунные, стальные литые или лито-сварные конструкции, армированные неметаллическими материалами, которые имеют ряд физико-химических и механических свойств, позволяющих нейтрализовать действия РАО. Как показал опыт нашего института, такие конструкции удобно и экономически выгодно получать методом ЛГМ, а работы по промышленному изготовлению и испытанию двух видов многослойных контейнеров выполнены в институте с патентованием *контейнеров* улучшенной конструкции и нового метода моделирования их конструкции.

В цикле работ по производству *контейнеров* группой под руководством проф. О.И. Шинского проведены приемные испытания опытных образцов *контейнеров* – транспортно-упаковочных комплектов (ТУК), предназначенных для безопасного транспортирования РАО. Эти контейнеры также могут быть использованы для выполнения работ на предприятиях, где необходимо исключение из употребления отработанных закрытых источников с изотопом ^{60}Co .

Испытания с привлечением специализированных организаций проводились на территории института. Выполнена проверка на соответствие требованиям технического задания для серийного производства комплектов по заказам предприятий.

Для проведения испытаний была разработана конструкторская документация на ванну для испытаний контейнеров на герметичность, загон для сбрасывания контейнеров с высоты для испытания конструкции в сборе, на автоклав для испытаний на герметичность при имитации погружения на 15 м. Также выполнен проект строительства специальной площадки для проведения сбрасывания контейнеров с высоты 1,5 и 9 м.

Результаты испытаний дали все основания рекомендовать опробованную технологию для промышленного изготовления лито-сварных ТУКов указанных марок, которые являются многослойными многоместными контейнерами.

Эти контейнеры по своим конструктивным особенностям (увеличение емкости при сохранении габаритов) не имеют аналогов в мировой практике, что также позволит рационально использовать



Рис. 2. Модель из пенопласта (а) и корпус малого контейнера (б), конструктор К.Х. Бердыев при сборке большого контейнера для испытаний (в)

площади хранилищ ядерных отходов [3]. На **рис. 2** показаны модель из пенопласта одного из контейнеров, его литой корпус и крышка контейнера при сборке для испытаний.

Предложено армирование конструкций контейнеров, в том числе в виде литых биметаллических конструкций [4], а также разработана конструкция литого корпуса контейнера для захоронения РАО со вставками из каменного материала в стенках контейнера.

Такие вставки подобны песчаным литейным стержням со всех сторон обливаются металлом и остаются в теле отливки. Материал этих вставок выполняет защитные функции не хуже металла, из которого отливают контейнер. Такая конструкция трехслойных стенок литого контейнера разработана для снижения массы отливки и запатентована [5]. Предложены варианты для дальнейшего совершенствования конструкции контейнера с помощью физического моделирования оболочковых конструкций.

Применение вакуумной формовки, повышающей жидкотекучесть металла почти на 20%, по сравнению с традиционной формовкой, позволяет отливать тонкостенные оболочковые металлоконструкции, а применение разовых моделей повышает точность отливок – оба этих фактора приводят к металлосбережению.

А снижение металлоемкости продукции и связанное с ним энергосбережение в экологически не-

безопасном литейно-металлургическом комплексе закономерно ведет к сокращению загрязнения окружающей среды и экономии энергоносителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Шинский О.И.** Снижение металлоемкости литейной продукции – основа развития отрасли // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2011. – №1. – С. 78–79.
2. **Козлов Д.Ю.** Топологический метод создания физических моделей точечных поверхностей // МАРХИ. – 2008. – №1. <http://www.marhi.ru/AMIT/2008/1kvart08/Kozlov/article.php>
3. **Здохненко В.В., Дорошенко В.С.** Литые контейнеры для захоронения радиоактивных отходов // Энергетика и промышленность России. – 2013. – №01-02. – С. 47.
4. **Дорошенко В.С.** Армированные конструкции для защиты от радиации, перевозки и захоронения радиоактивных отходов // Сотрудничество для решения проблемы отходов: Матер. VI Междунар. конф. (8–9.04.2009, Харьков). – Х.: ЭкоИнформ, 2009. – С. 51–52.
5. **Пат. 90494 UA**, МПК B22D 25/00, B22D 15/00, G01F 5/00. Спосіб виготовлення виливка корпусу контейнера для захоронення та транспортування радіоактивних відходів / Д.С. Козак, В.Б. Бубликов, А.А. Шейко та ін. – Опубл. 10.11.2009. – Бюл. №21.