

*Бройтман О.А., Бабков Д.С., Белозёров С.А., Петров А.И., Иоффе М.А.  
(ООО «ВНИЦТТ», г. Санкт-Петербург;  
АО «ТВСЗ», г. Тихвин; СПбПУ, г. Санкт-Петербург)*

### **Исследование процессов формирования свойств песчаных стержней**

Плотность литейных форм и стержней является ключевым показателем их качества и основой комплекса рабочих характеристик. На основе известного поля плотности удаётся выполнить прогноз [1] неравномерно распределённых в объёме формы или стержня тепловых и фильтрационных свойств, а для некоторых материалов – характеристик механических свойств. Упомянутые свойства материалов являются частью информационного обеспечения численных расчётов формирования отливок в системах компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП), поэтому наличие сведений о распределении плотности смеси в объёме песчаных стержней и форм, в конечном счёте, позволяет повысить точность моделирования литейной технологии [2].

Выполненные авторами ранее работы по расчёту структуры и свойств материалов форм при уплотнении прессованием получили развитие в исследовании условий надува песчаной смеси в стержневые ящики. При помощи программного пакета Flow-3D [3] производили численное моделирование процессов надува для оптимизации конструкции стержневого ящика. Получаемый по технологии cold-box-amin стержень (рис. 1, а) используется при изготовлении отливки рамы боковой тележки грузового вагона. В составе Flow-3D реализованы математические модели отдельного течения, в частности, модель потока дрейфа, позволяющая рассчитывать двухфазное движение твёрдых частиц и воздушной среды.

По результатам расчётов условий надува появляется возможность наблюдать движение песчано-воздушной смеси при заполнении стержневого ящика, отследить причины возникновения незаполненных или ослабленных участков стержня, оценить, насколько рационально расположены вентры, надувные сопла, выбраны параметры работы стержневого автомата. По завершении некоторого числа вычислительных итераций устанавливаются оптимальная конструкция стержневого ящика и параметры работы стержневого автомата.

Расчётные поля плотности смеси в готовом стержне, рассматриваемом в настоящей работе (значения в пределах 1380-1620 кг/м<sup>3</sup>), свидетельствуют о заметном разбросе физических свойств дисперсного материала по его объёму. Неравномерность тепловых и фильтрационных свойств в объёме форм и стержней целесообразно учитывать при выполнении численных расчётов формирования отливок для повышения точности прогноза усадочных и газовых дефектов отливок. При известной плотности и составе смеси свойства эти могут быть вычислены по известным моделям [4, 5]. На рис. 1, б представлен перенесённый в постпроцессорный модуль СКМ ЛП «ПолигонСофт» результат расчёта коэффициента газопроницаемости в объёме исследуемого стержня, выполненный при помощи специально подготовленного в рамках проведения

работы конвертера. Установленное распределение характеристики газопроницаемости подлежит использованию при расчётах газового режима форм и стержней в процессе формирования отливки рамы.

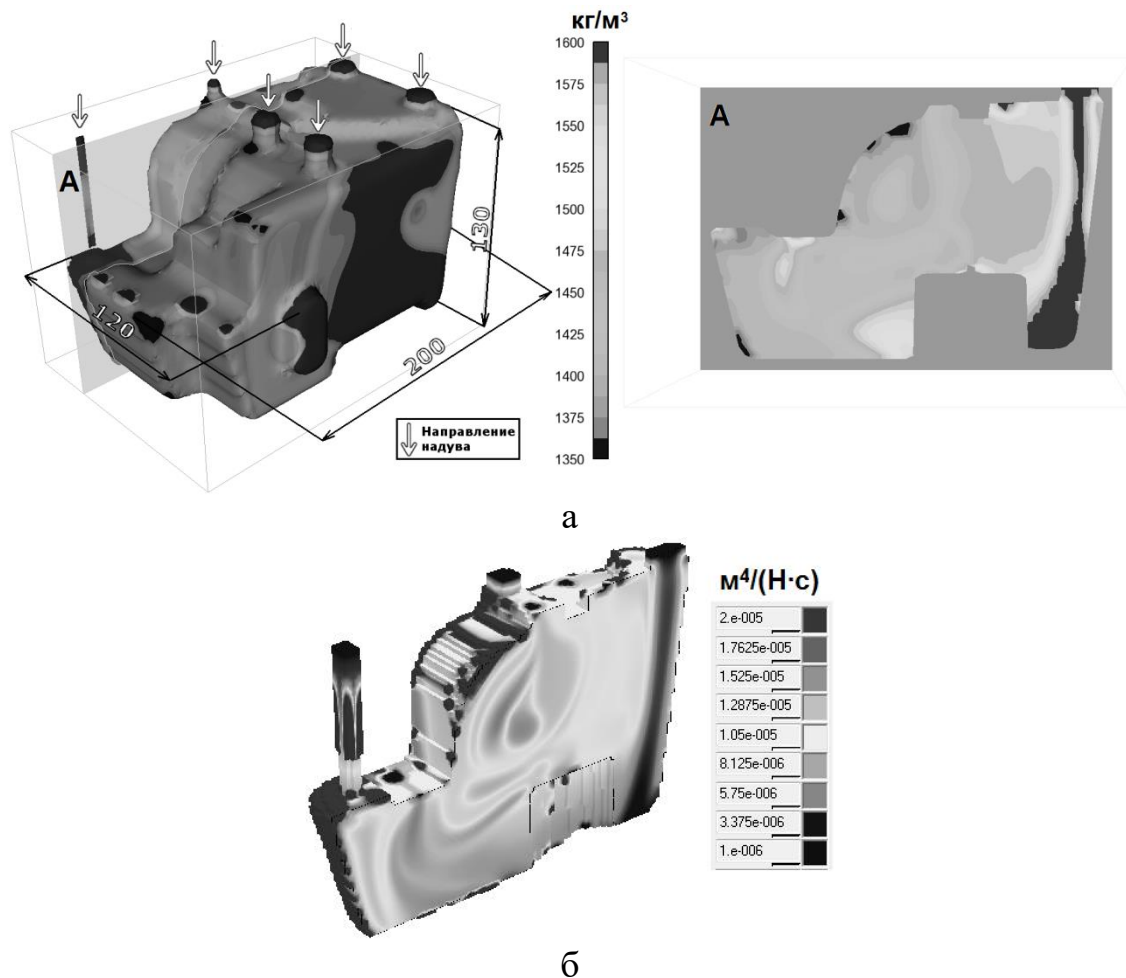


Рис. 1. Конструкция исследуемого стержня и прогноз его свойств:

а – геометрия стержня, плотность смеси в поверхностных слоях и в сечении А, рассчитанная с помощью Flow-3D;

б – результат расчёта коэффициента газопроницаемости, импортированный в «ПолигонСофт» (показано сечение А)

Для верификации расчётной модели выполняли натурные исследования на песчаном стержне, из которого получали образцы для последующего измерения плотности взвешиванием. Методика и инструментарий для послойной вырезки цилиндрических образцов заданного объёма с целью установления плотности путём взвешивания известны для условий работы с песчано-глинистыми смесями [6]. Однако с помощью прибора предложенной конструкции, действие которого основано на отборе фрагментов смеси при перемещении (вдавливании) трубы с режущей кромкой вглубь испытуемой формы, получить пробы из отверждённого стержня на смоляной связке невозможно в силу приобретения им высокой прочности и твёрдости сразу после продувки газообразным катализатором. Для получения необходимых цилиндрических проб (рис. 2, а) при помощи установленной на пневматическую дрель коронки

выполняли сверловку разных стержней рассматриваемой конструкции в идентичных зонах. Зная фактические геометрические размеры проб и их массу (составляла 50-120 г), рассчитывали среднюю плотность смеси в объёме образца (рис. 3).

Для плотности образцов, отобранных в идентичных зонах от разных стержней, получены весьма близкие значения, что свидетельствует о рациональном выборе размеров этих образцов. При попытке разделения образцов на три равные части путём распиловки для последующей оценки плотности по высоте разброс ожидаемо возрастал в связи с большей чувствительностью к качеству пробоподготовки (состоянию поверхностной границы, а также её протяжённости по отношению к объёму), измерений размеров и массы, поэтому данные оказывались не релевантны. Оценку плотности в образцах смеси массой до 30 г необходимо проводить при повышении точности измерений и качества вырезки.

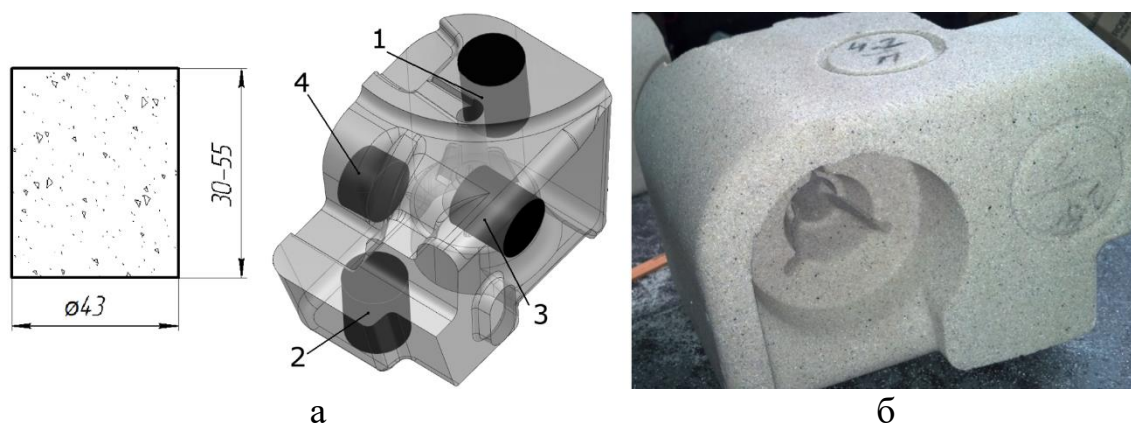


Рис. 2. Получение образцов смеси из стержней:  
а – габариты образцов и места их вырезки; б – фотография одного из стержней с нанесённой разметкой в местах последующей вырезки

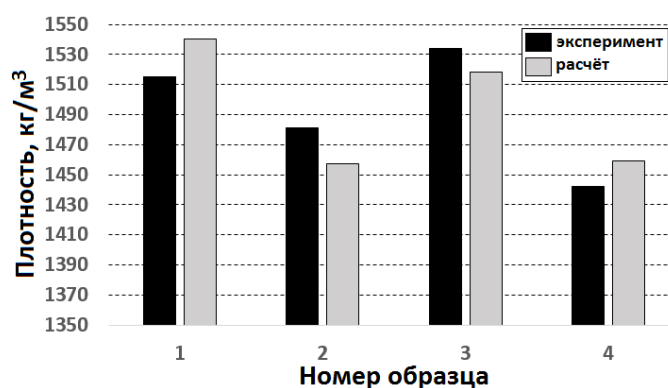


Рис. 3. Осреднённые экспериментально установленные значения плотности в образцах смеси (номера см. рис. 2) в сравнении с полученными расчётным способом

Сравнение вычисленных и экспериментально установленных плотностей проводили после необходимого преобразования расчётных полей посредством специально разработанного программного обработчика, который позволяет

выделять внутри сеточной модели стержня «виртуальные» цилиндрические пробы, идентичные натурным, и усреднять для них значение плотности. Получено хорошее качественное и количественное согласование расчётных и экспериментальных данных.

Результаты модельных расчётов условий надува стержней показали адекватность натуре, причём получаемый подобным способом прогноз качества и плотности стержней, форм может быть использован не только при решении относительно узкого вопроса поиска оптимальной конструкции модельно-стержневой оснастки, но и учтён при дальнейших расчётах формирования отливок в песчаных формах с неравномерной структурой.

#### Список литературы

1. Broytman O.A., Babkov D.S., Ioffe M.A. Computer Modeling of Castings Quality With Taking into Account the Differentiation of Structure-Dependent Cores and Molds Material Properties. //Int. Journ. Machines, Technologies, Materials, 2015 – 4, p. 15-18
2. Бройтман О.А., Бабков Д.С., Шварц Д.Р., Иоффе М.А. Разработка технологии изготовления отливок в песчаных формах с неравномерной плотностью. //Труды XII съезда литейщиков России. Нижний Новгород, 2015, с. 412-416
3. Yao G.F., Hirt C.W., Barkhudarov M. Development of a Numerical Approach for Simulation of Sand Blowing and Core Formation. //Modeling of Casting, Welding, and Advanced Solidification Processes: Proceedings from the X Int. Conference, 2003, p. 633-639
4. Серебро В.С. Основы теории газовых процессов в литейной форме. – М.: Машиностроение, 1991. – 208 с.
5. Бройтман О.А. Моделирование структуры и распространения тепла в дисперсных формовочных материалах для прогноза их теплофизических свойств. //Сб. Компьютерный анализ литейной технологии: проблемы и перспективы. СПб: ЦНТИ Прогресс, 2007, с. 15-25
6. Шацких М.И. Формовочные и стержневые смеси. – Л.: Машиностроение, 1969, 96 с.