



*The outfit and method allowing to carry out three-dimensional modeling of the mode filling process at casting under pressure are described. This method can be used for identification of numerical models and directly for working out of the technology of the new types of products casting.*

Е. И. МАРУКОВИЧ, А. М. БРАНОВИЦКИЙ, И. Л. ЗАХАРОВ, ИТМ НАН Беларуси  
Ки-Йонг ЧОЙ, БГУ

УДК 621.74.047.001.57+681.327

## АНАЛОГОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Водное аналоговое моделирование может быть с успехом применено для разработки и оптимизации процессов непрерывного литья и литья под давлением [1, 2]. Гидромоделирование широко используется для идентификации математических моделей, при конструировании литейных форм и решении проблем появления дефектов, связанных с некачественным заполнением формы расплавом металла.

Литье под давлением является экономичным и перспективным способом производства большого числа сложных и недорогих деталей автомобилестроения, таких, как, колесные диски, компоненты двигателя, коробки передач, подвески и др. Преимущество использования гидромоделирования при проектировании процесса литья под давлением — существенная экономия временных и материальных затрат. Водное моделирование потоков расплава алюминия при заполнении литейной формы является достаточно точным при перепадах температуры расплава в литниковой системе, обеспечивающих незначительное изменение его вязкости. По своим гидродинамическим параметрам вода хорошо подходит для моделирования процесса заполнения формы при литье алюминиевых сплавов. Для соответствия вязкости в воду добавляют до 20% глицерина.

При заполнении геометрически сложных литейных форм (например, головка блока цилиндров) потоки расплава внутри формы представляют собой весьма сложную картину, поэтому для получения хороших результатов моделирование должно быть трехмерным. Установка для водного моделирования показана на рис. 1. Основными компонентами установки являются: насос для создания требуемого давления жидкости с микропроцессорным блоком управления; форма для моделирования, выполненная из прозрачного пластика (акрила); система освещения; несколько синхронизированных видеокамер, подключенных к компьютерам [3]. Для улучшения возможностей регистрации изображений при моделировании

использовали окрашенную воду. При заполнении водой геометрически сложных форм происходит многократное преломление и отражение света, вследствие чего на регистрируемых изображениях образуются искажения и блики (рис. 2). Для устранения этих недостатков применяли методы предварительной обработки изображений: фильтрация шумов и сегментация [3].

Каждая из видеокамер регистрирует двухмерную картину заполнения. Точное распределение потоков жидкости дает их объемное, т.е. трехмерное восстановление. Чтобы восстановить трехмерную картину по зарегистрированным двухмерным изображениям, необходима реализация процедуры пространственной калибровки видеосистемы [4]. Данная процедура позволяет связать трехмерные координаты модельной формы с координатами каждой видеокамеры, учитывая параметры камер (фокусное расстояние, размер пикселей и др.). В результате калибровки двумерные изображения, полученные с каждой из камер, могут использоваться для формирования трехмерной картины заполнения.

Для задач проектирования процесса литья использовали точную копию литейной формы,

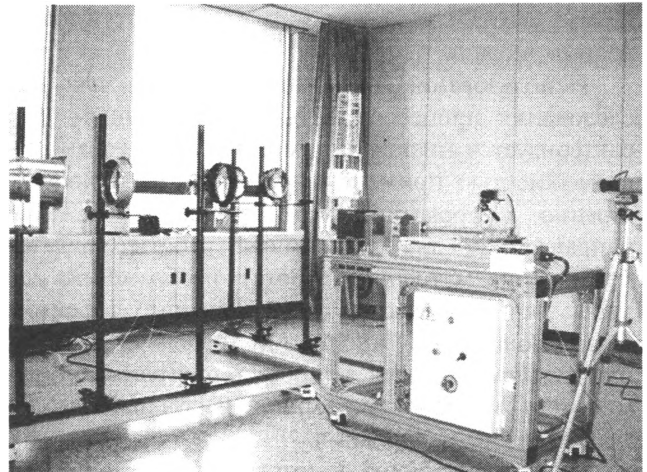


Рис. 1. Установка для водного аналогового моделирования процессов литья под давлением

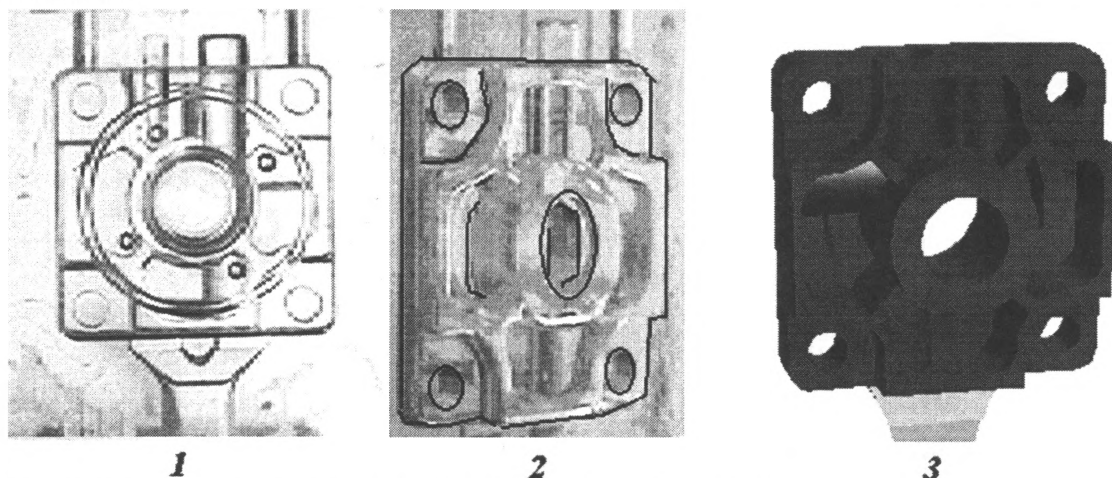


Рис. 2. Регистрируемые изображения модельной формы (1, 2); изображение модельной формы, полученное из файла AUTOCAD (3)

изготовленную из прозрачного пластика (рис. 2). Гидро моделирование позволяет обнаружить возможные дефекты (полости), образующиеся в процессе заполнения формы (рис. 3), в случае, когда внутренние детали формы очень мелкие, или расположены так, что в форме могут появиться области с давлением, препятствующим дальнейшему заполнению. При аналоговом моделировании этого можно избежать, регулируя скорость заполнения формы.

Разработка математических моделей и их идентификация при помощи гидро моделирования позволяет существенно сэкономить средства на проектирование процесса литья под давлением в сравнении с проведением натурных экспериментов. Кроме того, заполнение в реальном процессе литья очень трудно визуализировать, поскольку известные методы термометрии и рентгенографии обладают множеством недостатков и высокой стоимостью экспериментального оборудования.

Сравнение аналоговых экспериментов с результатами численного моделирования на программе AD-STEФAN показано на рис. 4. При проведении численного моделирования в программу закладывали параметры, соответствующие водной модели.

Использование гидро моделирования для исследования процессов литья под давлением характеризуется низкой стоимостью оборудования и возможностью применения результатов непосредственно к промышленным процессам. Важным направлением для дальнейшей работы является применение методов обработки изображений для задач автоматического распознавания дефектов, возникающих при заполнении модельной формы. Актуальным остается вопрос о программной реализации методов трехмерной визуализации результатов моделирования.

Работа выполнена в сотрудничестве с Корейским институтом промышленных технологий (KITECH).

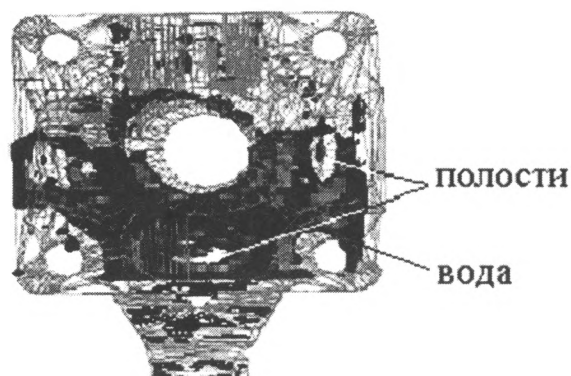


Рис. 3. Вид дефектов, образующихся в процессе заполнения формы

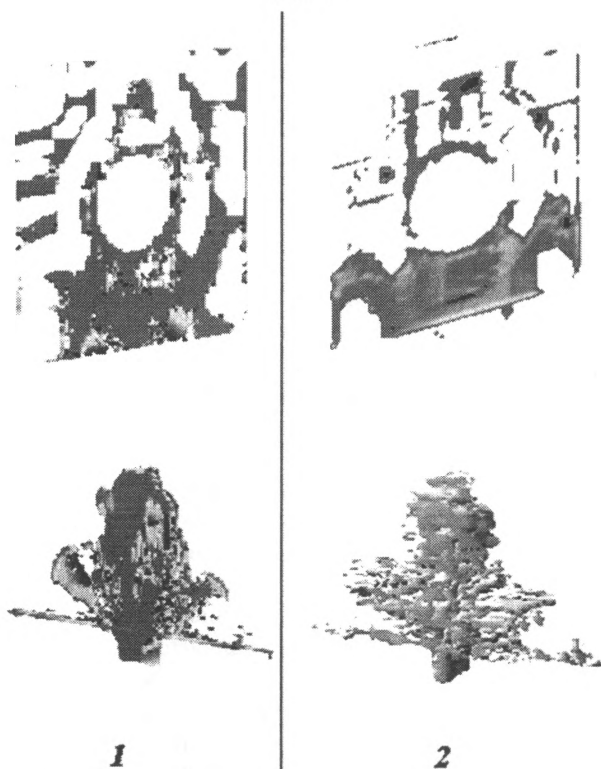


Рис. 4. Сравнение аналоговых экспериментов с результатами численного моделирования на программе AD-STEФAN: 1 – результат численного моделирования; 2 – результат водного аналогового моделирования

**Літэратура**

1. Marukovich E.I., Branovitsky A.M., Three-dimensional thermal model of solidification of continuous cast rectangular billets // In Proc. of 4<sup>th</sup> International Scientific & Technical Conference Simulation, Designing and Control of Foundry Processes, Krakow, Aachen, Sofia, 1999.

2. J. Ha and P.W. Cleary. Comparison of SPH simulations of High Pressure Die Casting with the experiments and VOF simulations of Schmid and Klein. Int. J. Cast Metals Res. 2000.

3. Choi Jeong-Kil, Choi Ki-Young, Hwang Ho-Young et al. Three-dimensional image reconstruction for water modelling of metal casting processes // In Proc. International Conference On Modelling And Simulation MS'2004, 27-29 April 2004, Minsk, Belarus. P. 216–219.

4. Hwang Ho-Young, Choi Jeong-Kil, Choi Ki-Young et al. The Technique of Calibration Multi-Camera Imaging System for Fast Water Flow Registration and Reconstruction // In Proc. of 8<sup>th</sup> International Conference on Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'05), May 18-20, Minsk, Belarus, 2005.