



*The data, which are necessary for modeling of deflected mode of real casting, are received, and the developed model can be used for preventing of the defects of shrink origin at production of steel castings.*

Е. О. ОЛЬХОВИК, В. В. ДЕСНИЦКИЙ, Р. А. МОЛЧАНЮК,  
Санкт-Петербургский институт машиностроения

УДК 621.74.041

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ОТЛИВКОЙ И ФОРМОЙ В ПЕРИОД ЗАТВЕРДЕВАНИЯ МЕТАЛЛА

Проблема образования горячих трещин и обеспечения размерной точности в стальных отливках до сих пор не имеет полного обоснованного решения. Это объясняется сложностью и многофакторностью силового взаимодействия металла отливки и материала формы при затвердевании. Ярким примером группы отливок со склонностью к образованию горячих трещин являются отливки нефтегазовой арматуры, имеющие большие габаритные размеры при относительно небольшом сечении стенок.

В настоящее время для изготовления форм и стержней большое распространение в качестве связующих материалов в литейном производстве получают различные синтетические смолы. Они облегчают процесс формовки, обеспечивают легкое извлечение модели после формовки, улучшенную выбиваемость и меньшее содержание вредных выбросов в атмосферу.

Однако полное отсутствие сведений о деформационно-прочностных свойствах для материалов формы существенно затрудняет возможность прогнозирования результатов силового взаимодействия металла затвердевающей отливки и формы. Хорошо известно, что значительное увеличение прочностных свойств смесей при высоких температурах способствует возникновению таких дефектов, как горячие трещины. Поэтому наибольший интерес вызывает изучение деформационных процессов в системе отливка–форма с определением термокинетических зависимостей изменения податливости материала формы и стержня.

Конструкция экспериментальной установки для исследования деформационных свойств формы показана на рис. 1. Установка состоит из неподвижной плиты 1, закрепляющейся опокой 2, в которой находятся два исследуемых образца 3. Литниковая система находится в верхней полуформе, обеспечивающей одновременную заливку обоих образцов. Температуру измеряли при помощи вольфрам-рениевой термопары непосредственно в одном из образцов. Исследования построены по схеме затруднения усадки отливки опорной поверхностью, при этом один конец закрепляется в захватах, а другой имеет выступы в форме. Конструкция установки позволяет проводить одновременное измерение перемещения опорных частей отливки и усилий, возникающих в образце, при помощи пружинного динамометра и датчика перемещений 4. Конец отливки, который закреплен в захватах и является условно неподвижным, подпружинен динамометром и перемещается только при наличии усилия, развиваемого при усадке

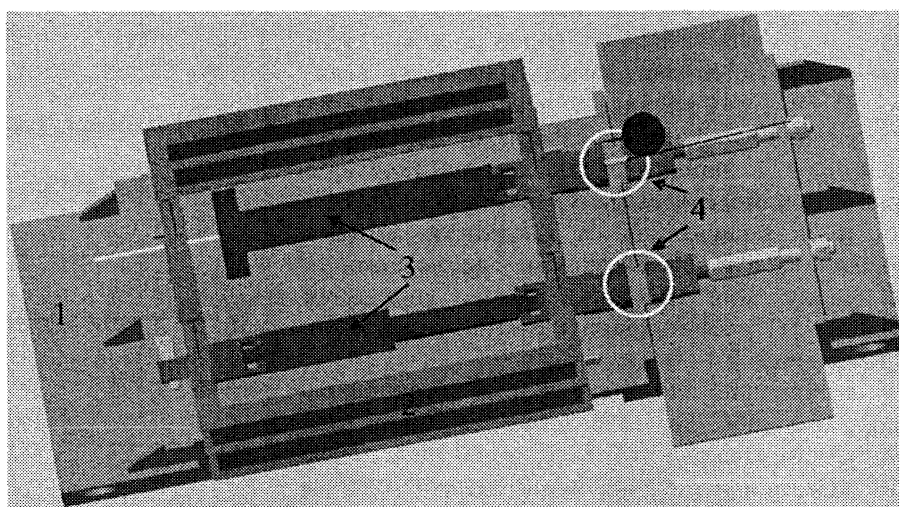


Рис. 1. Экспериментальная установка для изучения силового взаимодействия формы и металла отливки в период затвердевания

образца. Расшифровка записей с датчика перемещения и пружинного динамометра позволяет представить ход перемещения конца отливки с упорными частями. На этой основе строятся кинетика реализованной усадки от времени и кинетика развития усадочных напряжений.

Эксперименты выполняли для стали 25Л, а в качестве материала формы использовали песчано-глинистую смесь и смесь, подготовленную по alpha-set-процессу. Параллельно экспериментам выполняли компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния силового взаимодействия между отливкой и формой. Модель силового взаимодействия отливки и формы представляет собой сложную систему, постоянно определяющую баланс усилий и деформаций с течением времени.

После заливки формы металлом датчики перемещений фиксировали значительное предугадочное расширение, вызванное первоначальным разогревом формы, которое приводит к перемещению масс формы без образования напряжений в отливке и внедрения ее в форму. Численный эксперимент не предусматривает расчет предугадочного расширения, а использует данные по перемещению опорной стенки отливки-образца.

При затвердевании отливки за счет усадки металла происходит перемещение границы металл-форма, на каждом шаге по времени фиксируются величина перемещения опорной стенки образца и усилие затрудненной усадки.

Численными методами расчета по известным данным эксперимента отыскивается баланс усилий и деформаций, которые развиваются при силовом взаимодействии между отливкой и формой. При этом рассчитываются и выделяются только результаты поиска баланса усилий и деформаций. В результате на каждом шаге по времени имеем значения напряжений, перемещений, температуры, упругости металла отливки, плотности и упругости формы.

Для модели деформации отливки в условиях сопротивления перемещению опорной стенки используется зависимость изменения величины упругости металла от температуры. Упругие свойства формы зависят от множества факторов, а наиболее сильно от плотности. В расчетной модели задаются величина упругости и ее зависимость от плотности, которая увеличивается при внедрении опорной стенки в форму. Для набора заданных упругостей формы [1] рассчитывали кинетику усадки отливки (рис. 2).

Изменение плотности формы предполагалось от 1650 до 1750 кг/м<sup>3</sup>, а изменение упругости ступенчато – от 20 до 60 МПа, через 10 МПа. Усилия, возникающие при сокращении отливки, вызывают деформацию формы, которая зависит от упругости формовочного мате-

риала и степени его расширения от температуры. Величина деформации формы является неизвестной величиной и зависит от развития напряжений как в металле, так и в форме. Ее определение выполняется методом последовательного приближения. Искомые условия определяются равенством усилий сжатия со стороны отливки усилиям сопротивления деформации со стороны формы.

Для расчета распределения напряжений в форме используется экспериментально определенное перемещение границы раздела металл-форма, которое рассматривается вначале как перемещение стороны граничного элемента стержня, примыкающего к отливке. При перемещении стороны элемента в нем возникают сжимающие напряжения, изменяются плотность и упругость. Распределение напряжений в глубь вычисляется путем последовательного рассмотрения пар элементов, где рассматривается баланс их напряженного состояния и равновесие достигается перемещением общей границы между элементами.

На рис. 3 показано расчетное изменение напряжений в форме при затвердевании отливки-образца.

Деформация элементарных объемов материала формы проявляется при перемещении их границы. При этом меняются его плотность и соответственно упругость. Одновременно упругость материала стержня зависит от температуры и времени.

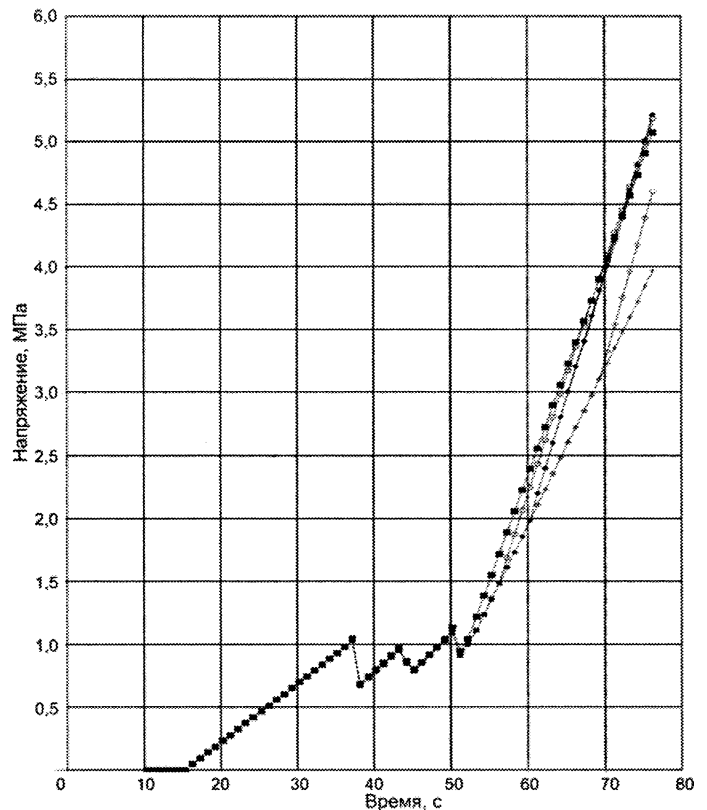


Рис. 2. Кинетика изменения напряжения в металле отливки образца при различных величинах упругости формы

По значениям напряжений, возникающих в элементарном объеме, определяются перемещение более удаленной границы объема и соответственно плотность, упругость и напряжение во втором слое материала формы.

Сопоставление экспериментов вычислительного и натурального позволяет определить значение упругости формы в условиях затвердевающей отливки. Сличение результатов показало, что имеется близкое соответствие расчетов и экспериментов без учета предусадочного расширения при упругости формы 40 МПа. Полученные в работе данные необходимы для моделирования напряженно-деформированного состояния реальных отливок, а разработанная модель может быть использована для предупреждения дефектов усадочного происхождения при производстве стальных отливок. Развитие усадки отливки и возникающих напряжений также зависит от длины отливки, увеличение габаритов отливки повышает опасность образования горячих трещин. Анализ деформационных процессов в отливке и форме, выполненный при разработке литейной технологии, позволит не допустить образования дефектов типа горячих трещин, снизить брак и затраты на исправление дефектов.

### Литература

1. Матвеев И.А., Желателева Р.В., Десницкая Л.В., Ольховик Е.О. Деформационные процессы при формировании размерной точности стальных отливок. Санкт-Петербург: Изд-во С.-Петербургского ин-та машиностроения, 2005.

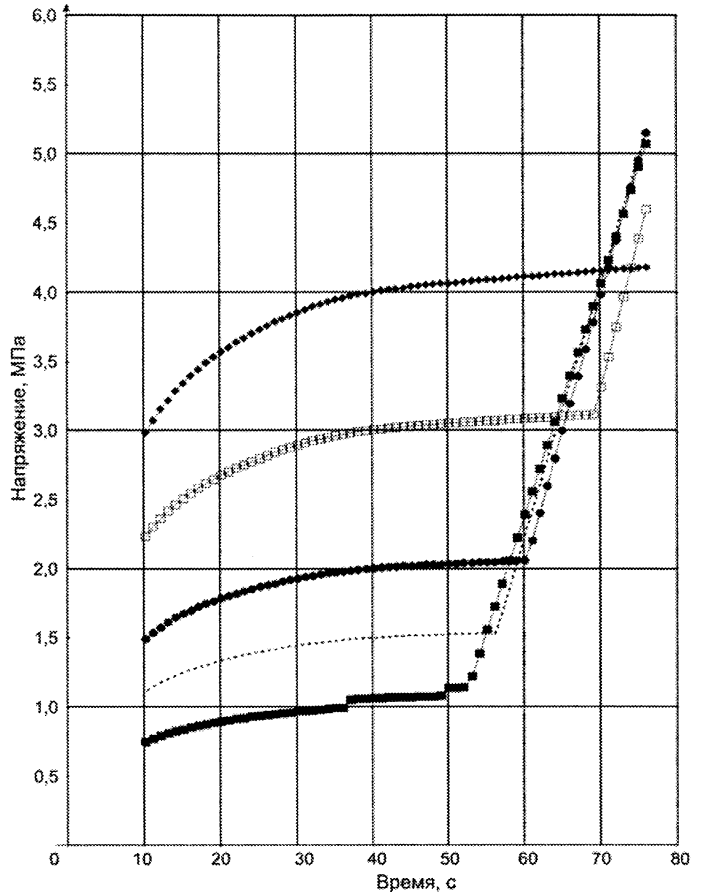


Рис. 3. Кинетика изменения напряжений в форме при различных величинах упругости (20, 30, 40, 50, 60 МПа снизу вверх)