

В. Ф. БЕВЗА, ИТМ НАН БЕЛАРУСИ,
В. А. ПОПКОВСКИЙ, МОГИЛЕВСКИЙ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ЖЕСТКОСТЬ ОТЛИВОК ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

УДК 621.74.073

При непрерывно-циклическом литье намораживанием стабильность процесса и качество заготовок во многом определяются прочностными характеристиками материала отливки при высоких температурах. Из стационарного кристаллизатора и расплава отливка извлекается вверх за затравочную часть, а затем удаляется из литейной машины и передается в зону вторичного охлаждения [1]. В случае, когда реальные напряжения, вызываемые в стенке отливки усилиями вытяжки, превышают предел прочности материала, происходит отрыв затравочной части от основного тела и процесс литья прекращается.

Особенностью метода непрерывно-циклического литья является также и то, что отливки извлекаются из кристаллизатора при высокой температуре. Например, при получении заготовок из серого чугуна температура наружной поверхности отливки в момент извлечения находится в пределах 850—950°C, а внутренней — равна температуре солидуса и составляет около 1140°C. После извлечения из кристаллизатора интенсивность отвода тепла от наружной поверхности отливки уменьшается более чем на порядок. Если перед извлечением из кристаллизатора коэффициент теплоотвода от отливки составляет около 2000 Вт/(м²·К), то на воздухе при температуре поверхности отливки 900—950°C он не превышает 140 Вт/(м²·К). В связи с этим после извлечения из кристаллизатора происходит перераспределение температуры по толщине стенки отливки и разогрев ее наружной поверхности за счет внутренних слоев до температуры около 1000°C. В таком состоянии отливка транспортируется к месту разгрузки и передается в зону вторичного охлаждения. Прочность серого чугуна при этих температурах составляет 0,98—4,4 Н/мм², в связи с этим отливка практически не может противостоять даже небольшим механическим воздействиям, особенно в радиальном направлении. Поэтому горизонтальное расположение отливок в этот момент при определенном соотношении толщины стенки и диаметра может вызывать остаточную деформацию даже от сил собственного веса, что приводит к их браку.

В связи с изложенным выше была поставлена задача определить сочетание геометрических пара-

In the article the author defines tensions in the wall of casting from gravity forces and range of geometrical parameters when permanent deformation values of castings at 1000°C do not exceed 1 mm.

метров отливок (наружного диаметра и толщины стенки), при которых остаточная деформация не превышает заданной величины. В настоящей работе было задано условие: коробление отливки из серого чугуна, расположенной горизонтально, не должно превышать 1 мм при температуре 1000°C.

Одним из путей решения поставленной задачи является математическое моделирование упруго-пластического деформирования отливок под действием сил собственного веса. Формирование и численный анализ модели осуществляли с использованием пакета прикладных программ "COSMOS", в котором реализован алгоритм метода конечных элементов.

При формировании конечно-элементной модели использовали объемные конечные элементы, представляющие собой восьмиузловые гексаэдры общего вида (рис.1). Массив исходных данных при проведении расчетов методом конечных элементов включает в себя следующую информацию:

- координаты узловых точек модели;
- механические свойства материалов;
- топологию сочленения отдельных элементов в единую модель;
- условия закрепления расчетной модели;
- данные о величине и месте приложения нагрузки.

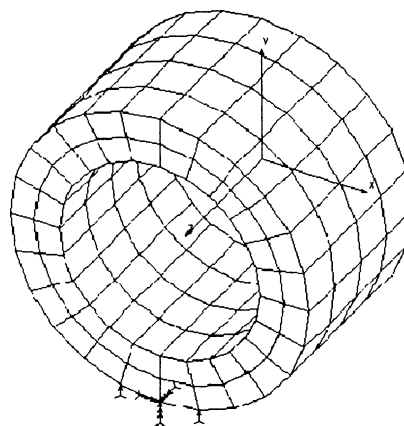


Рис. 1. Конечно-элементная модель отливки

Массив исходных данных к этой модели составляет около 30 кБайт. Указанная модель содержит 360 узловых точек, 1080 степеней свободы и 192 конечных элемента. Кроме того, в исходных данных приводятся свойства конечных элементов, условия закрепления конечно-элементной модели в пространстве, термомеханические свойства используемого материала.

Проверка разработанной модели путем проведения расчетов напряженно-деформированного состояния отливки под действием сил собственного веса при комнатной температуре показала полную адекватность модели реальным процессам деформирования.

Известно, что на величину деформаций отливки значительное влияние оказывают механические характеристики материала в момент действия нагрузки. Поскольку сведений о свойствах серого низколегированного чугуна при температуре около 1000°C практически нет, то их определяли по результатам численного эксперимента (методом подбора) до совпадения расчетных значений деформаций с данными эксперимента. Было установлено, что отливка диаметром 216 мм с толщиной стенки 17 мм при температуре 1000°C в горизонтальном положении приобретает остаточную деформацию в вертикальном направлении, равную 7 мм. На основании этих данных в результате численного эксперимента было получено значение предела текучести серого чугуна (σ_T) при температуре 1000°C, составляющее $0,17 \cdot 10^5$ Па.

На рис. 2 приведено распределение интенсивности напряжений по объему отливки. Следует отметить, что интенсивность напряжений является интегральным показателем, учитывающим все шесть компонент напряжений, действующих в точке тела, и наиболее информативным с точки зрения фиксации момента наступления пластического деформирования объекта. Величину интенсивности напряжений рассчитываем по выражению:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}.$$

В результате проведенного анализа было установлено, что практически все точки отливки при данном уровне предела текучести находятся в состоянии упругопластического деформирования (рис. 2).

Для определения закономерности влияния геометрических параметров на величину действующих в отливке напряжений вначале исследовали влияние диаметра и толщины стенки на уровень напряжений от сил собственного веса в холодном состоянии. При этом, исходя из соображений экономии трудозатрат на формирование базы исходных данных и машинного времени, расходуемого на проведение расчетов, при построении конечно-элементной модели использовали пластинчатые конечные

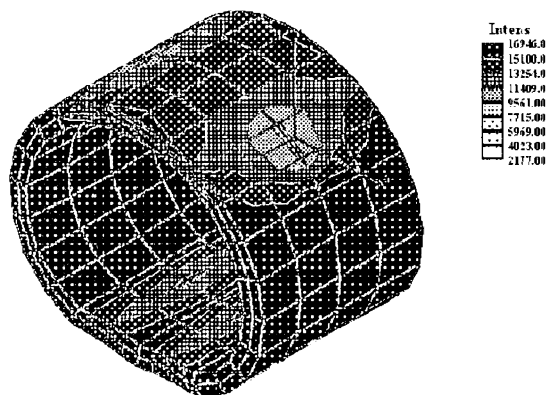


Рис. 2. Распределение интенсивности напряжений в отливке, Па

элементы (рис.3). В этом случае отливки одинакового диаметра описывались одной конечно-элементной моделью, а изменяемой частью исходных данных являлась только толщина пластинчатого элемента (толщина стенки отливки). Используемый пластинчатый конечный элемент имеет по шесть степеней свободы в каждом узле и описывает мембранные, сдвиговые и изгибные деформации в изделии. Сопоставление результатов расчетов по распределению интенсивности напряжений в моделях отливок, использующих пластинчатые и объемные конечные элементы, показало достаточно близкое совпадение.

Анализ, проведенный с использованием пластинчатых конечных элементов, показал, что влияние диаметра и толщины стенки на максимальные значения интенсивности напряжений, возникающих в отливке от сил собственного веса без учета упругопластического деформирования, носит нелинейный характер (рис. 4). При этом, чем больше диаметр отливки, тем больше влияние на уровень действующих напряжений оказывает ее толщина.

Расчеты показывают, что увеличение толщины стенки отливки на 20–25% может более чем в 2 раза уменьшить величину упругопластических деформаций. Например, остаточные деформации в

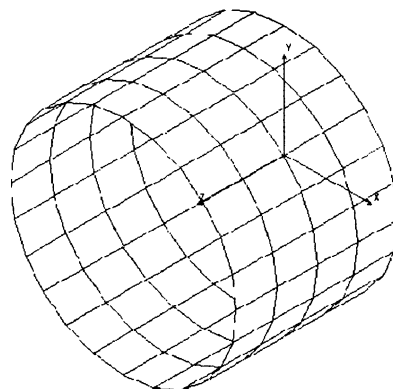


Рис. 3. Модель отливки, построенная с использованием пластинчатых конечных элементов

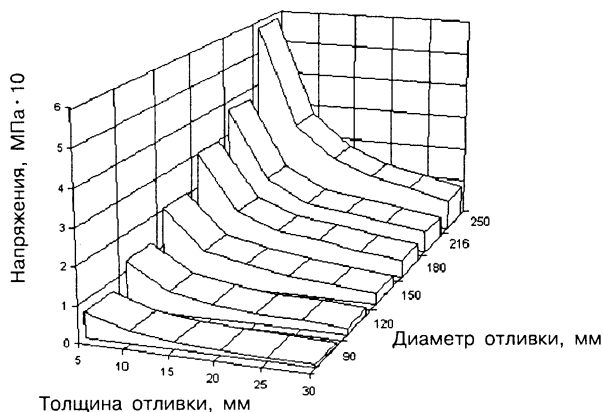


Рис. 4. Максимальные значения интенсивности напряжений в отливках без учета упругопластического деформирования

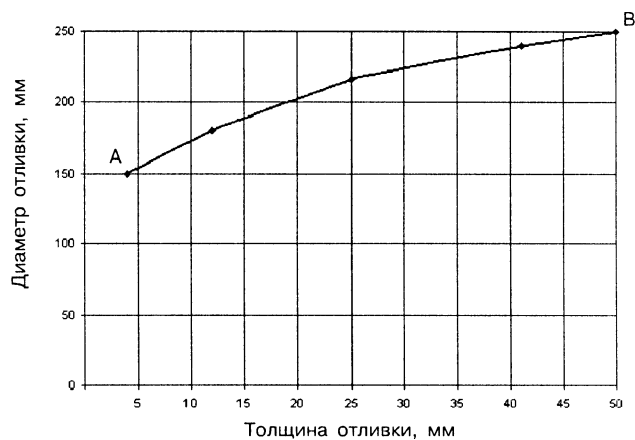


Рис. 6. График значений геометрических параметров отливок, величина остаточных деформаций в которых равна 1 мм

вертикальном направлении отливки диаметром 216 мм с толщиной стенки 20 мм составляют более 2,7 мм (рис. 5, *a*), а при толщине стенки отливки 25 мм эти деформации практически не превышают 1 мм (рис. 5, *б*) и вписываются в установленный допуск.

В результате проведенных исследований определена область геометрических параметров, при которых значения остаточных деформаций отливок, охлаждающихся в горизонтальном положении, не превышают 1 мм (рис. 6). Все отливки, характеризующиеся координатами "диаметр — толщина стенки", расположенные в области под кривой *AB*, будут иметь остаточные деформации менее 1 мм, а расположенные над этой кривой — более 1 мм.

Таким образом, полученные результаты позволяют оценить поведение отливок при высоких температурах в зависимости от соотношения диаметра и толщины стенки. Это дает возможность сформулировать в каждом конкретном случае требования к условиям разгрузки отливок из литейной машины и передачи их в зону вторичного охлаждения. Такие данные необходимы для проектирования литейного оборудования и разработки технологических процессов получения полых заготовок типа втулок методом намораживания.

Литература

1. Ефимов В. А., Анисович Г. А., Бабич В. Н. и др. Специальные способы литья: Справ. М.: Машиностроение, 1991.

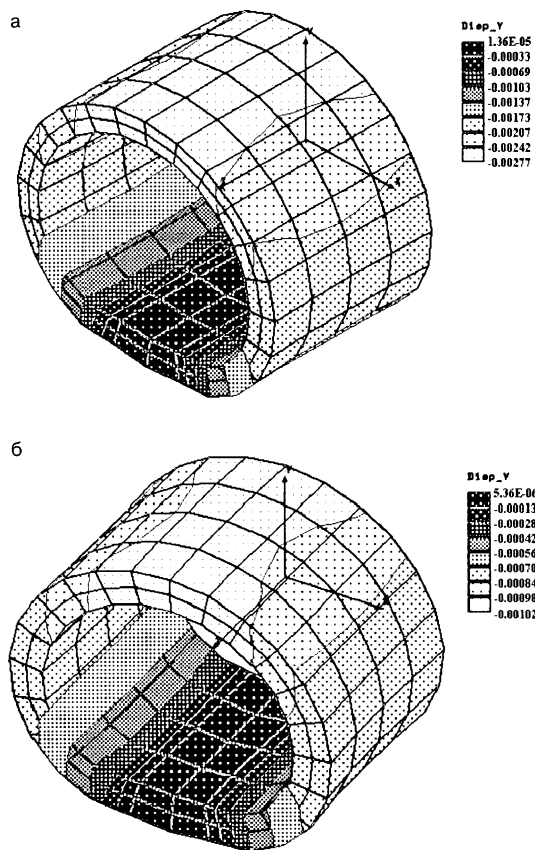


Рис. 5. Распределение остаточных деформаций в вертикальном направлении при толщине стенки отливки 20 мм (*a*) и 25 мм (*б*)