

В. В. Ушенин,  
С.Ю. Горбунова (студ.),  
Н. А. Файзрахманова (студ.)

## **К РАСЧЕТУ КИНЕТИКИ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ КРУПНЫХ ПОЛЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОТЛИВОК В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФОРМАХ**

С помощью математического моделирования проведено исследование влияния на расчетную кинетику затвердевания литых заготовок бандажей прокатных валков пластических и упругих деформаций корочки под воздействием статического напора расплава, а также естественной конвекции расплава.

Моделирование кинетики затвердевания заготовок проводилось в одномерном приближении решения задачи, что обусловлено значительными градиентами температур по толщине отливок и малыми - по их протяженности. Решение задачи проводилось по явной схеме конечно-разностного метода, сущность которого заключается в замене производных конечными разностями. В результате этого система дифференциальных уравнений заменяется системой алгебраических уравнений.

Расчеты выполнялись для литья в кокиль. Материалом отливки служила заэвтектоидная сталь 150ХНМ. Внутренняя поверхность оформлялась песчано-глинистым стержнем.

Для исследования влияния упругих и пластических деформаций корочки отливки на ее формирование расчет кинетики затвердевания проводился по трем вариантам учета коэффициента теплопередачи от отливки к окрашенной форме: 1) отсутствие зазора между отливкой и металлической формой; 2) образование зазора только за счет усадки отливки и теплового расширения формы; 3) образование зазора с учетом усадки отливки и теплового расширения формы при влиянии пластических и упругих деформаций корочки отливки. При этом выполнялось условие мгновенного заполнения формы. Расчетный уровень вертикально расположенной отливки соответствовал половине ее высоты.

Основываясь на результатах расчетов, следует отметить, что на процесс затвердевания поверхностных слоев оказывает существенное влияние не только изменение литейных размеров отливки и формы за счет их термического сжатия или расширения, но и возникновение пластических и упругих деформаций затвердевшей корочки отливки. При этом у поверхности отливки наблюдается приоритет закономерности отсутствия зазора, поскольку газовая прослойка на

границе отливки с формой появляется не сразу (вариант 1). С увеличением глубины слоя влияния упругих и пластических деформаций ослабевает и начинает преобладать термическое изменение линейных размеров контактирующих тел (вариант 2).

Продолжение расчета до момента затвердевания отливки целиком показывает несущественное влияние учета деформаций ее корочки на кинетику и полное время затвердевания отливки. Причина этого - значительная величина возникающего между отливкой и формой зазора, общее термическое сопротивление которого намного больше изменения сопротивления, обусловленного упругими и пластическими деформациями.

Степень влияния учета естественной конвекции расплава на расчетную кинетику затвердевания определялась с помощью эффективного коэффициента теплопроводности материала подвижной области отливки. Следует отметить, что конвективные потоки оказывают незначительное влияние на продолжительность затвердевания полый цилиндрической отливки. Однако наибольшее различие в кинетике затвердевания соответствует поверхностным слоям отливки. Причем в начале процесса охлаждения отливки естественная конвекция замедляет кинетику ее затвердевания, а в конце - несколько ускоряет. Замедление затвердевания поверхностных слоев объясняется активизацией подвода к ним тепла из внутренних зон отливки, что в свою очередь несколько сокращает время ее полного затвердевания. Ослабление влияния естественной конвекции на формирование внутренних зон отливки обусловлено возрастанием термического сопротивления между подвижной областью отливки и ее поверхностью вследствие постоянного увеличения затвердевшего слоя.

Из приведенного выше следует, что на кинетику затвердевания поверхностных слоев отливки, предназначенной для изготовления бандажей прокатных валков из широкоинтервальных заэвтектоидных сталей, оказывают существенное влияние деформация корочки отливки под действием статического напора расплава и его естественная конвекция. Поэтому при изучении формирования поверхностных слоев необходимо учитывать их деформацию и конвективное воздействие расплава.

Кроме того, при исследовании кинетики затвердевания литых заготовок бандажей целиком необязательно учитывать влияние деформаций ее корочки, а также естественной конвекции подвижной области отливки.

Существуют сведения о значительном сокращении в ряде случаев продолжительности затвердевания отливки под действием естественной конвекции расплава. Однако вопрос о степени влияния конвекции на затвердевание отлив-

ки остается в настоящее время открытым. Это обусловлено сложностью процесса теплового взаимодействия отливки с формой, которое в значительной мере зависит от величины отливки, ее конфигурации и материала.

В. М. Миляев,  
М. Л. Котлова (студ.),  
Е. А. Молодых (студ.)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ОТЛИВОК ПРИ ЦЕНТРОБЕЖНОМ ЛИТЬЕ**

Центробежное литье является одним из прогрессивных специальных способов литья. Заготовки под детали, имеющие геометрическую форму тел вращения, экономически целесообразно отливать в поле действия центробежных сил. Однако этот способ может успешно применяться и в серийном производстве других фасонных отливок. Вместе с тем качество центробежных отливок в значительной степени определяется точностью выбранных технологических параметров, к которым прежде всего необходимо отнести скорость вращения формы, объемную скорость заливки, физические свойства расплава, согласованные с геометрическими параметрами отливки.

Большинство формул для расчета этих параметров, и прежде всего скорости вращения формы, носят эмпирический характер и, как правило, не учитывают взаимосвязь между технологическими параметрами. Скорость же вращения формы оказывает существенное влияние на гидродинамические процессы формирования тела отливки, в том числе на условия захвата расплава вращающейся формой, на течение его вдоль формы при получении длинных изделий, например, труд, на относительное движение в слоях вращающегося расплава, характерное для толстостенных отливок, на направление течения и скорость заполнения тонкостенных частей фасонных отливок и т.д.

Установить взаимосвязь технологических параметров на реальных сплавах практически возможно, но при этом требуется проведение большого количества экспериментов, что требует значительных материальных затрат, а результаты не могут быть использованы при изготовлении другой геометрической формы. Вместе с тем вращение формы не позволяет с помощью датчиков делать точные замеры параметров и тем более наблюдать за процессами в форме. Применение моделирования процессов формирования отливок в поле дей-