

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ИНСТИТУТ СТАЛИ и СПЛАВОВ
Технологический университет



Э.С. Зальцман, В.В. Шемякин

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ОТЛИВКАХ
И ФОРМАХ**

Практикум

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ИНСТИТУТ СТАЛИ и СПЛАВОВ
Технологический университет



Электростальский политехнический институт (филиал)

Э.С. Зальцман, В.В. Шемякин

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ОТЛИВКАХ И ФОРМАХ

Практикум

для студентов специальностей 1101 и 1104

Рекомендован
редакционно-издательским
советом института

УДК 669.2.001.573(076.5)

3-25

Зальцман Э.С., Шемякин В.В. Математическое моделирование тепловых процессов в отливках и формах: Практикум. – М.: МИСиС, 2001. – 84 с.

Практикум проводится по дисциплинам «Теплотехника», «Теория литейных процессов» и «Моделирование процессов и объектов в металлургии». В нем приведены необходимые для выполнения практических работ теоретические сведения, а также указания по компьютерному моделированию процесса затвердевания и охлаждения отливок типа пластин, цилиндров и шаров в однослойных и комбинированных формах и расчету термических напряжений в таких отливках.

Практикум предназначен для студентов, обучающихся по специальностям 1101 и 1104.

© Московский государственный
институт стали и сплавов
(Технологический университет), 2001
Электростальский политехнический
институт (филиал МИСиС), 2001

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
I. Компьютерная модель тепловых процессов в отливках и формах ..	7
1. Схемы тепловых процессов в отливках и формах.....	7
1.1. Теплообмен отливки и формы.....	7
1.2. Термические напряжения в отливке	10
2. Описание компьютерной модели	12
2.1. Структура и алгоритм работы компьютерной модели.....	12
2.2. Описание программы моделирования	18
2.3. Результаты тестирования компьютерной модели.....	21
2.4. Инструкция по использованию компьютерной модели.....	22
II. Выполнение заданий и особенности обработки	
результатов моделирования.....	24
III. Естественное охлаждение отливки	26
Практическое занятие 1. Охлаждение плоской стенки отливки	26
Практическое занятие 2. Влияние конфигурации отливки	
на ее температурный режим	29
Практическое занятие 3. Охлаждение отливок со стержнями	33
Практическое занятие 4. Температурный режим литейной формы ..	37
IV. Регулирование естественного охлаждения отливки	42
Практическое занятие 5. Влияние температуры заливки	
на температурный режим отливки	42
Практическое занятие 6. Влияние подогрева формы	
на температурный режим отливки	45
Практическое занятие 7. Влияние материала формы	
на температурный режим отливки	51
V. Искусственное охлаждение отливки.....	56
Практическое занятие 8. Влияние наружных холодильников	
на температурный режим отливки	56
Практическое занятие 9. Принудительное охлаждение формы	62
Практическое занятие 10. Интенсификация охлаждения	
отливки в результате освобождения от формы.....	67
Литература	73
Приложения	74
1. График вспомогательных функций v для расчета	
термических напряжений	74
2. Пример задания исходных данных для моделирования (файл in) ..	75

3. Пример вывода на печать результатов моделирования (файл out)..	77
4. Физические свойства металлов и сплавов	79
5. Теплофизические свойства формовочных смесей	80
6. Коэффициент теплопроводности красок.....	81
7. Теплофизические свойства воздуха.....	82
8. Механические свойства металлов и сплавов	83

ВВЕДЕНИЕ

Формирование отливки, ее конфигурации, структуры, эксплуатационных свойств и дефектов происходит в процессе ее теплообмена с формой и окружающей средой. Тепловые процессы – затвердевание, охлаждение отливки, образование в ней термических напряжений и нагрев литейной формы – оказывают определяющее влияние на качество отливки.

Широкие возможности для исследования теплового состояния отливки и формы создает математическое моделирование с использованием ЭВМ.

Благодаря обширной памяти и огромному быстродействию современных ЭВМ, можно на стадии проектирования литейной технологии рассматривать многочисленные варианты теплоотвода от отливки и выбирать наиболее целесообразные из них. Проведение вычислительных экспериментов позволяет упростить и ускорить разработку рациональной литейной технологии и уменьшить ее стоимость.

Основной целью практических занятий является определение эффективности регулирования температурного режима отливки и формы с помощью различных технологических средств.

В практикуме рассматриваются отливки типа пластины, длинного цилиндра и шара – сплошные и полые. Эти характерные теплотехнические конфигурации используются в тепловой теории литья для анализа особенностей температурных полей всего многообразия отливок.

Математическое моделирование выполняется с помощью разработанной инж. В.В. Шемякиным программы численного расчета TERM.

В расчетах затвердевания определяются толщина затвердевшего слоя и линейная скорость затвердевания, а в расчетах охлаждения – изменение температуры и скорости охлаждения в указанных точках отливки с течением времени.

Особенностью методики обработки результатов работы является сопоставление температурных режимов отливки в рассматриваемых вариантах теплоотвода с температурным режимом отливки-эталона, указываемой преподавателем.

В работе рассматриваются используемые на практике и теоретически возможные температурные режимы отливок при естественном охлаждении в песчаной форме и при искусственном охлаждении.

При проведении занятий преподаватель может широко варьировать теплофизические свойства отливок, форм и стержней и параметры процесса теплообмена, благодаря чему создается возможность комплексного изучения тепловых процессов в отливках, формах и способов воздействия на эти процессы. Практикум способствует закреплению навыков использования ПЭВМ при подготовке инженеров.

I. КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ОТЛИВКАХ И ФОРМАХ

1. Схемы тепловых процессов в отливках и формах

1.1. Теплообмен отливки и формы

В качестве основного механизма теплообмена в отливке и форме рассматривается процесс теплопроводности.

Используется уравнение теплопроводности

$$c_i(T)\rho_i(T)\frac{\partial T}{\partial t} = \operatorname{div}[\lambda_i(T)\operatorname{grad} T], \quad (\text{I.1})$$

где T – температура в точке в момент времени t ;

λ , c и ρ – коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость и плотность, соответственно.

Подстрочный индекс i обозначает следующие элементы отливки и формы: 1 – твердая фаза отливки; 2 – жидкая фаза отливки; 3 – форма или слой песчаной набивки, прилегающий к отливке; 4 – стержень; 5 – холодильник.

Процесс теплообмена залитого металла и отливки с формой и окружающей средой рассматривается как совокупность последовательно протекающих этапов: нагрева формы при заливке, затвердевания, охлаждения отливки в форме и вне формы.

Для учета прогрева формы и стержня перед заливкой и его воздействия на затвердевание и охлаждение отливки предусмотрена возможность задания произвольного начального распределения температуры формы и стержней

$$T_i(x,0) = T_{iH}(x), \quad i = 3; 4; 5. \quad (\text{I.2})$$