

В.И. Федотов

Л.Ф. Спесак

**РЕШЕНИЕ СВЯЗНЫХ  
ДИФфуЗИОННО-  
ДЕФОРМАЦИОННЫХ ЗАДАЧ  
НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ  
ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ**

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ

*В.П. Федотов, Л.Ф. Сневак*

РЕШЕНИЕ СВЯЗНЫХ  
ДИФФУЗИОННО-  
ДЕФОРМАЦИОННЫХ  
ЗАДАЧ НА ОСНОВЕ  
АЛГОРИТМОВ  
ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

ЕКАТЕРИНБУРГ, 2007

УДК 539.3

**Федотов В.П., Спесак Л.Ф. Решение связанных диффузионно-деформационных задач на основе алгоритмов параллельного действия.** Екатеринбург: УрО РАН, 2007. ISBN 5-7691-1807-5.

Монография посвящена актуальной проблеме – разработке математических моделей для расчетов на прочность элементов конструкций, находящихся под механическим и тепловым воздействием в условиях агрессивных водородосодержащих сред. Внимание уделено построению физических уравнений связи между термомеханическими параметрами, базирующихся на механизмах дислокационного упрочнения и накопления поврежденности, и созданию эффективных методов численного решения. Приведены определяющие уравнения, справедливые в широком диапазоне изменения температуры и концентрации примеси. Это позволило использовать единую функцию нагружения в различных точках рассматриваемой конструкции при разных температурах и концентрациях примеси. Для численного решения задач предложена модификация метода граничных интегральных уравнений. Использование исключительно аналитического интегрирования позволило построить универсальное виртуальное состояние для решения вариационной задачи. Предлагаемый подход имеет самостоятельное значение для решения задач методом граничных элементов. Показана возможность максимального распараллеливания решения задач. Проведены сравнения точности полученных решений с известными аналитическими для ряда задач, в том числе задач с особенностями.

Ответственный редактор член-корр. РАН В.Л. Колмогоров

Рецензент д. ф.-м. н. А.О. Иванов

ISBN 5-7691-1807-5

Ф  $\frac{\text{ППП} - 2007 - 26(07) - 282}{8П6(03)1998}$  ПВ - 2007

© ИМаш УрО РАН,  
2007 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

ВВЕДЕНИЕ .....	3
ГЛАВА 1. ВВЕДЕНИЕ В МЕТОД ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ .....	9
1.1. Классификация приближенных методов .....	9
1.1.1. Исходная формулировка метода взвешенных невязок .....	10
1.1.2. Слабая формулировка .....	12
1.1.3. Обратная формулировка. Метод граничных элементов для задач теории упругости .....	15
1.2. Метод граничных элементов для задач теории потенциала .....	19
1.3. Метод граничных элементов для решения задач тепломассопереноса ..	21
1.3.1. Метод граничных элементов для параболических задач .....	21
1.3.2. Осесимметричное течение .....	31
ГЛАВА 2. ГРАНИЧНЫЙ ВАРИАЦИОННЫЙ МЕТОД .....	34
2.1. Принцип виртуальных скоростей напряжений и скоростей перемещений .....	35
2.2. Корректность постановки вариационного принципа .....	39
2.3. Граничный вариационный метод .....	42
ГЛАВА 3. УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ УПРОЧНЯЮЩЕЙСЯ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОЙ СРЕДЫ .....	50
3.1. Определяющие уравнения .....	50
3.2. Деформационное упрочнение .....	55
3.3. Влияние структурных параметров и физических полей на деформационное упрочнение .....	68
ГЛАВА 4. ПРИМЕРЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМАЦИИ С УЧЕТОМ ДИФФУЗИИ ВОДОРОДА И ТЕРМООБРАБОТКИ .....	80
4.1. Влияние водорода на деформацию титановых сплавов .....	81
4.2. Деформация титанового образца после термообработки в различных режимах .....	95
4.3. Цилиндрическая деталь под нагрузкой в водородосодержащей среде .....	104
ГЛАВА 5. МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ .....	112
5.1. Алгоритм решения двумерных задач теории упругости .....	114
5.2. Аналитическое вычисление интегралов .....	116
5.2.1. Вычисление интегралов по отрезку прямой. Постоянная интерполяция на элементе .....	117

5.2.2. Вычисление интегралов по отрезку прямой. Линейная интерполяция на элементе .....	127
5.2.3. Вычисление интегралов по дуге окружности .....	137
5.3. Алгоритм решения двумерных задач теории потенциала .....	143
5.4. Исследование сходимости метода .....	148
5.5. Решение задач теории упругости для областей с особенностями .....	152
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	158
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	160