

热应力

〔日〕竹内洋一郎 著

科学出版社

热 应 力

[日] 竹内洋一郎 著

郭廷玮 李安定 译

张质贤 校

科 学 出 版 社

1977

内 容 简 介

本书主要论述热应力的基础理论,介绍各种常用的解析方法,同时也涉及到了热传导、热应力测定、材料的常数和温度的关系,以及热冲击等方面的问题。

本书阐述深入浅出,通俗易懂,系统性较强,并有许多工程中常见的实例。

本书可供高温结构的设计人员、从事热应力分析的研究人员及高等院校有关专业师生参考。

竹内洋一郎著

热 应 力

日 新 出 版

1 9 7 1

热 应 力

〔日〕竹内洋一郎 著

郭廷玮 李安定 译

张质贤 校

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1977年8月第一版 开本: 787×1092 1/32
1977年8月第一次印刷 印张: 14 5/8
印数: 0001—7,480 字数: 325,000

统一书号: 13031·586

本社书号: 857·13-2

定 价: 1.50 元



初始失配状态(室温 26.7°C)

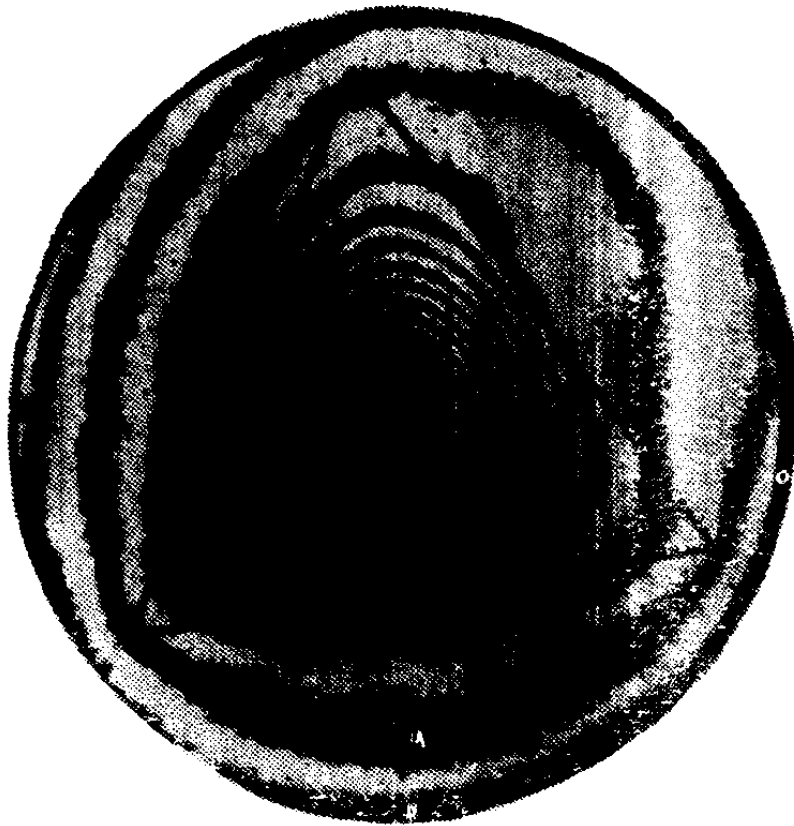


外面加热到 604°C 里面加热到 493°C 后的状态

根据莫尔法测定不锈钢空心圆筒的热应力



带有同心圆孔的圆板受到均布载荷作用产生弯曲时的应力条纹图



正三角形板受到集中载荷作用产生弯曲时的应力条纹图

利用光波干涉法的板的弯曲挠度与热应力函数相似解的测定结果

译 序

本书从阐述热应力基础理论出发,着重地介绍了求解热应力问题的各种解析方法,同时还涉及了简单的热传导、热应力测定、材料常数同温度之间的关系以及热冲击等方面的内容。它基本上包括了弹性界限内的全部热应力问题,是一本有关热应力的专门著作。

热应力现象普遍地发生在机械制造、航空、冶金、建筑业和其他许多国防及民用工业部门。由于热应力与各种工程结构,特别是高温结构的材料寿命密切相关,已愈来愈为人们所关注。随着我国原子动力、火箭技术、宇宙航行、高速飞机的迅速发展,以及燃气轮机在工业上的应用和磁流体发电的研究等,结构的热应力分析也就日益显示出它的重要性。因此我们本着“洋为中用”的精神,向读者推荐此书,以便了解国外热应力领域中的研究情况。

本书在理论阐述上深入浅出,通俗易懂,条理清楚,系统性较强。在介绍解析方法时,对于工程实际中常遇到热应力问题,采用了各种不同的方法求解,并且加以比较,使读者易于掌握各种解法的特点。另外,书中所举之例,具有一定的实用价值。因此,可供从事高温结构设计的工程技术人员、热应力分析的研究人员、高等院校有关专业的教师与学生参考。

由于时间比较匆促,加上译者水平有限,译文中难免有疏漏之处,谨请读者批评指正。

译 者

1974年5月

原 序

二次世界大战以后,随着原子核动力的发展,火箭等高速宇宙飞行的实现,电子计算机的出现以及所有机械、构件的性能的提高,使用规模的扩大,而由在这些机构中引起的不均等温度分布所产生的高温强度问题已成为工程学上的重大问题。结果,与材料寿命问题有关的热应力分析在设计中已经占据着首要位置。随着这种发展趋势,促使人们进行了许多热应力问题的研究。二次世界大战前,世界上热应力的专著连一本也没有,而最近十余年间仅以热应力为标题的书籍在国外就发行将近三十种之多。可是,遗憾的是,在日本国内一本尚未出版。著者专门从事热应力的研究,虽然能力有限,还是以系统地汇集本人已发表的著作及研究成果为主,并参考了国外有关书籍写成此书。也就是说,本书以热应力的基础理论及其解析方法为中心,同时还简单地论述了热传导、应力测定、材料常数和温度、热冲击等方面的内容,大体包括了弹性界限内的全部热应力的问题。尽管叙述中难免有不完美之处,但象这样的专著还是没有的。本书适合作工程技术人员的参考书以及研究生和大学高年级学生的弹性力学的教科书、参考书之用。(下略)

著 者

1969年7月

主要符号

- A ——功
- B_i ——比奥数(无量纲放热系数)
- C, C_i, C_{ij} ——常数
- D ——弯曲刚度
- E ——纵弹性系数
- F ——等温问题的艾瑞应力函数
- G ——剪切弹性模量; 格林函数
- H ——海威赛德跳跃函数(也称单位阶跃函数)
- I ——截面惯性矩
- Im ——虚数部分
- J_n, J_ν ——贝塞尔函数
- K ——常数; 材料常数: $(1+\nu)\alpha$ (平面应变), α (平面应力)
- \bar{K} ——约束系数
- L ——长度; 勒夫位移函数
- M ——弯矩
- N ——正整数; 材料常数: $(3-4\nu)$ (平面应变), $(3-\nu)/(1+\nu)$ (平面应力); b/a
- N_i, N_{ij} ——截面力
- P ——力; 位置的函数; 解析函数
- Q —— $c\rho$ 为单位的发热量($=W/c\rho$); 横剪力
- Q_x, Q_y ——横剪力
- R, Θ, Z ——体积力分量(柱坐标)

R, Θ, Φ ——体积力分量(球坐标)
 Re ——实数部分
 R_0 ——保角映射常数
 S ——面积, 区域
 T ——温度
 U ——重调和函数
 V ——体积; $\Delta V = k\tau$ 的特解; 电压
 W ——单位时间每单位体积的发热量; 解析函数
 X, Y, Z ——体积力分量(直角坐标)
 X_s, Y_s, Z_s ——表面力分量
 Z ——截面系数
 a ——内半径
 b ——宽; 外半径
 c ——比热
 e —— $\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}$
 e_{ij} ——应变分量
 f ——热弹性势
 g, g_s ——固有值
 h ——相对放热系数; 板的厚度
 h_t ——映射放大率
 k ——材料常数: $\alpha E / (1 - \nu)$ (平面应变); αE (平面应力)
 l ——伸长量; 长度
 l, m, n ——方向余弦; 整数
 m ——泊松数; $(1 + \nu)\alpha / (1 - \nu)$
 m_0 —— $\beta / (\lambda + 2G)$
 \bar{m} —— $(2\gamma / \lambda_t \delta)^{1/2}$
 n ——法线
 n' ——边界上与切线不一致的任意方向

p ——内压; 垂直分布载荷
 p_s ——固有值
 q ——单位面积单位时间的发热量
 q_0 ——热量, 一定的发热量
 r, θ ——极坐标
 s ——曲线微元
 t ——时间
 t_1, t' ——无量纲时间($t/\delta^2, t/b^2$)
 u_i ——位移
 v ——速度; 位移
 w ——垂直挠度; 位移
 x, y, z ——直角坐标
 Γ ——无量纲温度
 Θ ——角度的函数, 体积力分量
 Θ_s ——正应力的和
 E, H, Z ——曲线坐标中的体积力分量
 Φ ——热弹性位移势
 Ψ ——热弹性位移势(只限平面应力)
 Ψ_t ——初始温度分布
 Ω ——二维正应力的和
 α ——热膨胀系数; 角度; 固有值
 β ——热应力系数: $\alpha E/(1-2\nu) = \alpha(3\lambda + 2G)$; 角度; 固有值
 γ ——放热系数
 γ_s ——剪应变
 δ ——板厚; 得耳塔函数
 δ_{ij} ——克鲁尼彻 δ 函数
 ε_{ij} ——应变张量

- ζ ——坐标($\zeta = \xi + i\eta$)
 ξ, η ——曲线坐标; 坐标; 常数
 κ ——导温系数($=\lambda_t/c\rho$)
 λ ——拉梅常数
 λ_t ——导热系数
 μ ——拉梅常数($=G$)
 ν ——泊松比
 ρ ——密度; 曲率半径; 半径
 σ ——应力; 单位圆上的点; v/κ
 σ_{ij} ——应力张量
 τ ——由标准状态的温升
 $\bar{\tau}$ ——温度梯度; 与周围介质的温差
 φ, ψ ——复数应力函数; 角度
 λ ——热应力函数
 ω ——映射函数; 旋转分量; 复数函数

目 录

第一章 简单热应力问题

§1.1. 应力、应变、虎克定律	1
§1.2. 热应力	2
§1.2.1. 热膨胀	4
§1.2.2. 棒的全约束热应力问题	5
§1.3. 几个简单的热应力问题	14
§1.3.1. 上下表面有温差周边固定板的热应力	14
§1.3.2. 梁的一维热应力	16
§1.3.3. 厚板的热应力	18
§1.3.4. 板的一维非定常热应力	19
§1.3.5. 球的简单热应力	21

第二章 热 传 导

§2.1. 热传导的微分方程	23
§2.2. 初始条件和边界条件	24
§2.3. 热传导的分离变量解法(固有函数法)	25
§2.4. 热传导的格林函数解法	29
〔应用1〕 平板的一维热传导	30
〔应用2〕 在温度为 0° 的介质中, 初始温度为 $\Psi_i(r)$, 放热系数为 h 的实心圆柱的温度分布	31
§2.5. 热传导的数值解法	32
(A) 定常热传导的数值解法	35
(B) 非定常热传导的数值解法	36

§2.6. 热传导的相似解法	39
§2.6.1. 用传导纸相似法求定常热传导的相似解	39
(A) 直流电压法	39
(B) 交流电压法	40
§2.6.2. 热传导的模拟计算机解法	41
§2.7. 边点法——热传导的近似理论解法	42

第三章 热弹性理论的基本关系式

§3.1. 三维应力和应变状态	46
§3.2. 热应力的基本关系式(广义虎克定律)	49
§3.3. 热弹性运动方程	51
§3.4. 柱坐标和球坐标	52
§3.5. 边界条件	56
§3.6. 杜阿梅尔(Duhamel)相似定理	57
§3.7. 应力函数	59
§3.8. 热弹性位移势	59
§3.9. 非定常热应力问题	61
§3.10. 一般正交曲线坐标中的热应力的基本关系式	64

第四章 平面热应力问题

§4.1. 平面问题	67
§4.2. 平面热应力问题和热应力函数	68
§4.3. 位错和米歇尔(Michell)条件式	74
§4.4. 不产生热应力的平面温度场	80
§4.5. 用复变数表示的平面热应力一般式	85
§4.6. 二维热应力问题中的热弹性位移势	92
§4.6.1. 平面应变问题中的热弹性位移势	92

§4.6.2. 平面应力问题中的热弹性位移势	94
§4.6.3. 表面上有热耗散的板的定常热应力	96
§4.7. 散热片的热应力	98
§4.8. 表面上有热耗散的无限长带状板的定常热应力	98
§4.9. 周期性温度场的热应力	102
§4.10. 极坐标系的热弹性位移势	103

第五章 热应力问题的解法和空心圆筒的热应力

§5.1. 圆筒的热应力	105
§5.2. 第一种解法(位移法)	105
〔应用1〕 空心圆板的热应力	109
〔应用2〕 实心圆板的热应力	109
〔应用3〕 实心圆柱的热应力	110
§5.3. 第二种解法(应力函数法)	113
§5.4. 第三种解法(热应力函数法)	115
〔应用〕 热流被圆孔扰乱时产生的热应力	121
§5.5. 第四种解法(对称热应力函数法)	122
§5.6. 第五种解法(热弹性位移势法)	124
§5.7. 第六种解法(五种函数法)	126
§5.8. 第七种解法(复变函数法)	131
§5.8.1. 由单位圆映射函数导出的一般理论	131
§5.8.2. 用复变函数法求空心圆筒的热应力	133
§5.9. 第八种解法(马依泽尔法)	136
〔应用〕 无限空间内的圆柱空洞的热应力	139
§5.10. 第九种解法(杜阿梅尔相似解法)	140
§5.11. 第十种解法(位错法)	141
§5.12. 一般温度分布情况下的圆环热应力计算图表	144
〔应用〕 温度分布为 $\tau = \tau_0(r/a)^2(1 - \cos\theta) + \tau_1$ 的 圆环的热应力	145

§5.13. 考虑弹性系数、线膨胀系数受温度影响的空心圆筒的定常热应力	154
§5.14. 有内热源的空心圆筒的定常热应力	158
§5.15. 空心圆筒的端面效应	168

第六章 用柱坐标解热应力问题

§6.1. 概述	166
§6.2. 表面有热耗散的圆板的热应力	166
§6.3. 在内边界上有热量输入, 而在表面上有热耗散的圆环的热应力	168
§6.4. 具有圆孔的无限大板的热应力, 已知沿孔的内侧有热量输入而在板的表面有热量耗散	171
§6.5. 实心圆柱的非定常热应力的基本分析	171
§6.6. 热传导问题的柱坐标级数解法	172
§6.7. 实心圆柱的非定常热应力诸例	178
§6.7.1. 初始温度为 T_0 的圆柱表面被冷却到零度时的非定常热应力	178
§6.7.2. 初始温度为零度的圆柱放入温度为 T_A 的介质中的非定常热应力	179
§6.7.3. 初始温度为零度的圆柱体表面温度变成 T_B 时的非定常热应力	181
§6.8. 瞬间圆筒面热源在实心圆柱中产生的热应力	182
§6.8.1. 用 δ 函数表示瞬间热源	182
§6.8.2. 瞬间圆筒面热源在实心圆柱中产生的非定常热应力	183
§6.9. 温度分布为轴对称且在轴方向有变化的热应力问题的解法	184
§6.10. 表面温度为 z 的函数时的厚壁圆管的热应力	188

§6.11. 圆弧梁的热应力·····	193
---------------------	-----

第七章 积分变换和非定常热应力

§7.1. 积分变换·····	196
§7.2. 拉普拉斯变换和富里叶变换·····	199
(1) 拉普拉斯变换·····	199
(2) 富里叶正弦变换·····	200
§7.3. 汉克尔变换, 梅林变换, 复数富里叶变换·····	201
(1) 汉克尔变换·····	201
〔应用1〕 $z > 0, 0 \leq r < \infty$ 的半无限体, 仅仅在 $0 \leq r \leq a$ 面上有一强度为定值 q 的热源, 研究这种情况下的定常热传导·····	201
〔应用2〕 初始温度分布为 $f(r)$ 的无限区域的非定常热传导·····	202
(2) 梅林变换·····	203
(3) 复数富里叶变换·····	203
〔应用3〕 初始温度为 $f(x)$ 的无限体的非定常热传导·····	204
§7.4. 有限积分变换·····	204
a. 有限正弦变换·····	205
b. 有限余弦变换·····	205
〔应用〕 有热源非定常热传导的有限汉克尔变换解法·····	206
§7.5. 逐次积分变换·····	207
§7.6. 平面问题的非定常热弹性位移势·····	208
§7.7. 空心圆筒的非定常热传导(拉普拉斯变换法)·····	210
§7.8. 由两侧边界传热的空心圆筒的非定常热应力·····	212
§7.9. 中心有热源的圆板的热应力·····	215
§7.10. 有限长空心圆筒的非定常热应力·····	216
〔应用〕 一般边界条件的无限长空心圆筒的非定常热应力·····	221

§7.11. 有限长实心圆柱的非定常热应力·····	223
§7.12. 只在部分侧面加热的实心圆柱的非定常热 应力·····	228
§7.13. 圆周方向受到不均匀加热的实心圆柱的非 定常热应力·····	232
§7.14. 动态热应力问题(半无限体)·····	238
〔应用〕 带有有限温度梯度的热冲击在半无限体 中产生的动态热应力 ·····	242
〔应用〕 无限长圆柱的动态热应力·····	244

第八章 由热源产生的热应力问题

§8.1. 由热源产生的热应力问题 ·····	248
§8.2. 无限弹性体内点热源产生的非定常热应力 ·····	248
〔应用〕 无限体中瞬间点热源产生的温度分布(无 限体的格林函数)·····	252
§8.3. 半无限体中点热源产生的非定常热应力 ·····	253
§8.4. 中心有点热源的圆板的定常热应力 ·····	256
§8.5. 半无限板中由于一个与边缘距离为 a 的点热 源所产生的定常热应力 ·····	258
§8.6. 瞬间点热源在圆板中产生的热应力 ·····	263
§8.7. 瞬间线热源在圆板中产生的热应力 ·····	271
§8.8. 由移动热源产生的准定常热应力 ·····	276
〔应用〕 移动点热源在圆板中产生的热应力 ·····	281
§8.9. 用格林函数解固定热源作用下的板的热应力 ·····	282

第九章 球体中的热应力

§9.1. 沿半径方向有温度变化的球体的热应力 ·····	287
§9.2. 空心球的定常热应力 ·····	289