

现代光塑性

朱明海 范 琳 编著

国防工业出版社

现代光塑性

朱明海 范琳 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

现代光塑性/朱明海,范琳编著. —北京:国防工业出版社,1995.8

ISBN 7-118-01308-0

I. 现… II. ①朱… ②范… III. 光塑性法-塑性加工-金属加工 IV. ①0734②TG115.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 05165 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京市怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 9 1/8 235 千字

1995 年 8 月第 1 版 1995 年 8 月北京第 1 次印刷

印数:1—2000 册 定价:14.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科技现代化和国防现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合科技现代化和国防现代化需要的新工艺、新材料内容的科技图书。
4. 填补目前我国科技领域空白的薄弱学科和边缘学科的科技图书。
5. 特别有价值的科技论文集、译著等。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版,随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金 第二届评审委员会组成人员

名誉主任委员 怀国模

主任委员 黄 宁

副主任委员 殷鹤龄 高景德 陈芳允
曾 铎

秘书长 刘琯德

委员 尤子平 朱森元 朵英贤

(按姓氏笔划为序) 刘 仁 何庆芝 何国伟

何新贵 宋家树 张汝果

范学虹 胡万忱 柯有安

侯 迁 侯正明 莫梧生

崔尔杰

序

光塑性又称光测塑性力学,是实验力学中光测力学的一个重要分支。它是以晶体光学和现代光学为物理基础,用单色光或白光研究物体在塑性变形状态下力学行为和力学分析的现代实验方法。可以通俗地说:凡是用光测力学方法研究和解决塑性问题的原理、方法和测试技术,都可统称为光塑性技术。

在 50 年代对光塑性技术已有研究,但因受当时模型材料性能的限制,在 60 年代无大发展。70 年代陆续出现了对新的模型材料——聚碳酸酯等力学性能研究结果的报道。到 80 年代初,国内外已有一些以聚碳酸酯或拉密那克(Laminac)作模型材料,用光塑性方法研究圆柱微粗、圆环微粗、棒料剪断的应变场的报道。但要将光塑性方法较广泛地用于各种塑性加工工艺的研究,尚需对光塑性方法从理论到实验方法的各个环节进行系统的探索和研究。本书作者经过多年的努力和反复实践,到 1989 年完成了光塑性基本理论推导、模型材料性能研究、制模、制样、计测等一整套塑性加工光塑性实验方法,并成功地用于各种塑性加工工艺的研究中,对复杂形状零件成形工艺的开发和新工艺方法的研究起到了重要的指导作用,使光塑性方法能直接为工艺性塑性加工工艺服务。本书就是作者在阅读、总结大量文献的基础上,结合自己多年实际工作经验和科研成果后写成的。它是我国第一本以晶体光学为物理基础、阐述有关光塑性方法和应用的专著。书中较为详尽地反映了我国近十年来光塑性领域、特别是金属塑性加工模拟方法的新成就。可以预料,本书的出版将对普及和提高我国光塑性的水平和应用有所裨益。

朱明海是一位有为的青年科学家,难能可贵的是他潜心致力

于艰苦的实验研究工作。功夫不负有心人,他的成就是他及他的合作者长期在实验力学和计测技术领域中的辛勤劳动的结果。谨借本书出版之际向他们表示祝贺。

研究金属材料的塑性力学和在塑性加工工艺中的行为和规律,对进一步合理使用材料和充分发挥它的潜力,对国民经济建设有重大意义。现有的成就已初步实现了对塑性应变场的模拟和分析,对优化模具结构和坯件的形状尺寸已开始起指导作用,但对求解塑性变形中的残余应力场和成形后对零件使用寿命的影响,尚待进一步研究,这将是一项内容十分丰富、难度很大的研究课题。最后谨以“百尺竿头、更进一步”这句名言与作者共勉。

大连理工大学

云大真

前 言

光塑性方法是本世纪 50 年代发展起来的一门比较年轻、内容十分丰富的学科。1957 年,苏联学者古勃金(ГУ БКИН С И)和他的合作者出版了世界上第一本专著《光塑性》^[1](1962 年我国出版了中译本)。而后,1974 年捷克科学院杰瓦尼克(Javornicky' Jan)等在总结 442 篇有关文献资料的基础上,出版了第二本专著《光塑性》^[2]。迄今为止,这两本书仍然是世界上仅有的关于光塑性方法的专著。遗憾的是,可以说至今还缺乏一本像光弹性论著那样,在原理、方法和技术上全面、系统、能指导实际应用的光塑性方面的论著。鉴此,作者在总结前人研究工作的基础上,结合我国近十年来的研究成果,撰写了这本包括中国学者成就在内的《现代光塑性》。

本书具有以下的特点:

1. 以聚碳酸酯材料作为讨论的重点,在实践的基础上,修正了平面光塑性应变-光学定律,较系统地论述了三维光塑性理论及求解三维塑性问题的方法,进一步完善了关于应用于金属塑性加工的光塑性理论;
2. 比较完整地总结了金属塑性加工的光塑性实验技术,包括材料性能实验、定标实验、制坯、制模、制样及计测技术等,从而使光塑性能为工程实际所用;
3. 阐述了用于研究塑性流变行为的一种新方法:记忆光塑性法;
4. 重点介绍了光塑性方法在金属塑性加工领域中应用的若干实例。它涉及镦粗、模锻、挤压、轧制、摆动辗压及旋压等塑性加工工艺。对其它工艺过程应力和变形的模拟技术也作了相应的介

绍。

5. 对我国工程结构弹塑性分析的光塑性方法方面的成就也作了简要的介绍。

至于光粘性的塑性力学问题、蠕变和松弛的研究、晶形模型材料的研究与应用等,若读者需要,可参考文献[1~2],本书不再赘述。

至今,光塑性方法尚欠精确和完善,还远不能满足实际需要,特别是以现代光学为物理基础的光塑性方法尚处于起步阶段,有很多问题有待探索和扩展,所以撰写本书的目的在于抛砖引玉。由于水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

在我们的研究工作和撰写本书的过程中,得到了中国兵器工业第 59 研究所及许多兄弟单位领导和同志的热情支持和帮助。特别是大连理工大学云大真教授、航空航天部 606 研究所董本涵研究员、中国兵器工业第 59 研究所所长王德富、副所长陈汝舟和郑光宇研究员不辞辛劳审阅了全书,提出了宝贵意见。工作中还得到了清华大学徐秉业教授、北京机械研究总院赖曾美研究员、西安交通大学赵静远教授、西北工业大学罗子健教授、重庆大学苏长清教授、哈尔滨工业大学裴兴华教授以及国防工业出版社杜豪年的指导和帮助。借此机会,我们表示衷心的感谢!

本书由云大真教授主审。

作 者

1993. 8. 重庆

内 容 简 介

本书较系统地叙述了以晶体光学为物理基础的光塑性方法的基本原理与计测技术,并重点介绍了光塑性方法在金属塑性加工及弹塑性应力分析中的实验技术及应用情况。

全书共十一章。主要内容包括:光塑性的基本任务和基本特性、光学基础知识、模型材料及其性能试验方法、光塑性应变-光学定律及实验技术、记忆光塑性法和光敏薄层贴片法以及诸多的工程应用实例。

全书内容新颖,通俗易懂,实用性强,可供从事塑性加工、工程力学、机械制造、地球物理等专业的科技人员以及各大专院校有关专业的师生阅读参考,特别适合熟悉光弹性方法和从事实验力学研究的工作人员阅读。

ISBN 7-118-01308-0/O · 101

定价:14.00 元

目 录

符号定义	(1)
第一章 概述	(4)
1.1 光弹性简介	(4)
1.2 发展光塑性技术的必要性和重要性	(7)
1.3 光塑性的基本任务	(10)
1.4 光塑性的基本特性	(12)
1.5 光塑性方法的历史与现状	(14)
第二章 光学基础知识	(18)
2.1 光学基础知识	(18)
2.2 几种常用的实验装置	(26)
2.3 成形件切片在平面偏振场中的光学效应	(30)
2.4 成形件切片在圆偏振场中的光学效应	(35)
第三章 模型材料	(41)
3.1 光弹性对模型材料的理想要求	(41)
3.2 光塑性对模型材料的理想要求	(42)
3.3 模型材料的分类及基本特性	(43)
3.4 聚碳酸酯材料	(62)
3.5 小结	(75)
第四章 光塑性实验技术	(77)
4.1 光塑性试件的制取	(77)
4.2 光塑性材料性能实验方法	(84)
第五章 平面光塑性实验的基本原理与计测技术	(101)
5.1 聚碳酸酯的平面光塑性应变-光学定律	(101)
5.2 平面应变问题光塑性应变分量的求解	(109)
5.3 平面应变问题主应变求解	(111)

5.4	定向等差线条纹级数的确定	(111)
5.5	等倾线测绘和主应变判别	(114)
5.6	主应变迹线与最大剪应变迹线	(116)
5.7	计测中应注意的事项	(118)
第六章	三维光塑性实验的基本原理与计测技术	(120)
6.1	塑性加工光塑性的三维应变-光学定律	(120)
6.2	成形件中三维应变的求解	(122)
6.3	主切片中三维主应变的求解	(131)
6.4	等效应变	(134)
第七章	记忆光塑性法	(135)
7.1	热塑性材料成形件在高温下的形变恢复特征	(136)
7.2	形变恢复实验技术	(140)
7.3	应用实例	(141)
7.4	小结	(144)
第八章	光塑性在金属塑性加工等领域中的应用	(146)
8.1	锻粗	(146)
8.2	模锻	(164)
8.3	挤压	(171)
8.4	摆动辗压	(184)
8.5	强力旋压	(204)
8.6	楔横轧	(210)
8.7	身管机械自紧的光塑性研究	(218)
8.8	光塑性方法在其它方面的应用	(224)
第九章	光敏薄层贴片法	(229)
9.1	反射式偏光仪系统	(229)
9.2	光敏薄层贴片法的基本原理	(231)
9.3	光敏薄层贴片法在弹-塑性应力分析中的实验方法	(233)
9.4	光敏薄层贴片法在薄壁圆筒残余应力测定中的实验方法	(237)
9.5	光敏贴片材料及粘贴工艺	(243)
9.6	影响实验精度的主要因素	(247)
9.7	光敏薄层贴片法的应用概况	(250)
第十章	弹塑性分析中的光塑性方法	(257)

10.1	小弹塑性分析的模型理论	(257)
10.2	模型材料	(260)
10.3	小弹塑性分析的应力-光学特征	(261)
10.4	光塑性实验与数值计算相结合的混合法	(261)
10.5	小弹塑性分析的剪应力差法	(266)
第十一章	现代光塑性方法应用前景	(270)
参考文献		(273)

符号定义

σ_s 抗拉屈服强度

σ_c 压缩屈服强度

σ_b 抗拉强度极限

σ_{FC} 拉伸断裂应力

$\sigma_{\text{压}}$ 定应变压缩应力

σ_e 材料对变形的抗力

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 主应力

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ 与 x, y, z 轴相垂直平面上的法向应力

σ_T 真实应力

$\bar{\sigma}$ 平均应力

τ 剪应力

ϵ 工程应变

ϵ 真实应变(对数应变)

$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ 主应变

$\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ 沿 x, y, z 方向的法向应变

$\bar{\epsilon}, \bar{\epsilon}$ 等效应变

ϵ'_1, ϵ'_2 次主应变

γ 剪应变

$\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$ xy, yz 和 zx 平面上的剪应变

ϵ_H 变形程度

$\dot{\epsilon}$ 应变速率

E 弹性模量

E' 割线模量

- ν 泊松比
- δ 断裂伸长率
- φ_0 相对力学蠕变值
- $\omega_{0.5}$ 相对光学蠕变值
- P 集中载荷
- q 分布载荷
- Δ_r 由 $\sigma_1 \neq \sigma_2$ 引起的相对光程差
- Δ_e 由 $\epsilon_1 \neq \epsilon_2$ 引起的相对光程差
- C_σ 材料的相对应力光学系数
- C_ϵ 材料的相对应变光学系数
- f_σ 材料的应力条纹值
- f_ϵ, f_ϵ 材料的应变条纹值
- f_ϵ^* 贴片材料在弹性状态下的应变条纹值
- ξ, η 变形修正系数
- n, n_e, n_p 等差线条纹级数
- n_0, n_1, n_2 折射率
- θ 主应变方向角
- θ' 等倾线角度
- h 厚度
- λ 光波波长
- a 振幅
- ω 圆频率; 表征塑性的函数
- ϕ 相位、相位差
- φ 偏振光入射角
- u 位移
- V 速度
- T 温度
- t 时间
- x 材料的化学成分
- c 材料的结构; 常数

$g(\sigma_i)$ 材料的塑性系数

S 标准偏差;贴片的灵敏度系数

l, m, n 新旧坐标轴之间的夹角余弦

脚标:

- ① e 代表弹性状态, p 代表塑性状态
- ② c 代表贴片, S 代表构件
- ③ y 代表原型, m 代表模型
- ④ 0 代表初始状态, t 代表时刻 t 状态