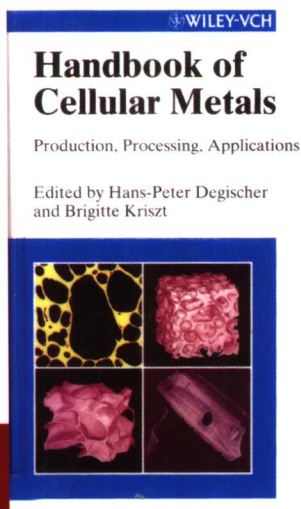


多孔泡沫金属

[奥] H.P. 蒂吉斯切 主编
B. 克雷兹特
左孝青 周 芸 译

Chemical Industry Press



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

多孔泡沫金属

[奥] H.P. 蒂吉斯切 主编
B. 克雷兹特
左孝青 周 芸 译



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

多孔泡沫金属/[奥] 蒂吉斯切 (Degischer, H. P.), [奥] 克雷兹特 (Kriszt, B.)
主编; 左孝青, 周芸译. —北京: 化学工业出版社, 2004. 8
书名原文: Handbook of Cellular Metals; Production, Processing, Applications
ISBN 7-5025-6032-7

I. 多… II. ①蒂…②克…③左…④周… III. 多孔性材料: 金属材料 IV. TG14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 083214 号

Handbook of Cellular Metals; Production, Processing, Applications/Edited by Hans-
Peter Degischer and Brigitte Kriszt
ISBN 3-527-30339-1

Copyright©2002 by Wiley-VCH. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by Wiley-VCH
Verlag GmbH, 69469 Weinheim.

本书中文简体字版由 Wiley-VCH 出版公司授权化学工业出版社独家出版发行。
未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2004-1424

多孔泡沫金属

[奥] H. P. 蒂吉斯切 主编
B. 克雷兹特

左孝青 周芸 译

责任编辑: 段志兵 姚晓敏

责任校对: 顾淑云 战河红

封面设计: 于兵

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
发行电话: (010) 64982530
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 19¼ 字数 351 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6032-7/TB·70

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

英文版序

近年来,各国科学家开展了大量的研究工作,如美国多学科研究机构(MURI)1996年开始进行的超轻金属结构项目,第4届和第5届欧洲研究项目(EU Framework Program)中的泡沫金属研究项目,1998年德国国家研究基金资助的重点研究项目(focussed research program)等。这些研究活动与先前很多机构(如德国不莱梅的IFAM、剑桥大学、奥地利的Ranshofen和Vienna、位于Bratislava的斯洛伐克科学院以及欧洲其他一些学术机构)的研究活动,构成了当今泡沫金属研究的主体,一些研究机构举办了多次国际学术会议,发表了大量的论文。其中一次会议由德国材料协会(DGM)举办,于2000年2月28日至29日在维也纳科技大学举行,会议论文主要来自于德国^[1],作者们普遍要求有机会能将自己的最新研究成果出版发行。而阅读这些最新研究成果的读者,除应具有一般的科学技术知识外,还应对相关领域有深入的了解,如经典的多孔泡沫文献[2,3],并对2000年以来有关泡沫金属的主要工艺过程、后处理、结构表征、性能、模拟和开发应用等有所了解。

维也纳“泡沫金属2000”国际会议的部分论文,加上其他泡沫金属最新研究成果,扩充后构成了本书的基本内容,扩充部分的内容都是在该领域专家的推荐、指导下完成的。泡沫金属在欧洲的研究活动非常活跃,因此对泡沫金属的研究报道也比其他多孔金属材料多。欧洲泡沫金属研究的目标是能将泡沫金属应用到对材料价格及质量要求都很苛刻的汽车行业。编著本书的目的在于为读者提供有关泡沫金属的最新研究发展动态。本书的特点是在泡沫金属的工艺过程、结构性能表征方面比已有的相关论著^[4]更为详尽。本书既可作为泡沫金属研究开发的起点,也可为泡沫金属研究开发领域专家提供重要的参考资料。对工程师和潜在用户而言,考虑更多的是泡沫金属的应用和材料的特性,因此也需要对工艺及材料性能有一定的了解。书中对各种泡沫金属的特性进行了描述。随着研究开发的深入,希望本书重点描述的应用等内容能得到进一步扩充。

在此,作者感谢为本书提供资料文献的科学家和工程师们,这些文献使我们能从欧洲的角度出发,完成对泡沫金属材料最新研究开发动态的精确描述。

B. Kriszt
H. P. Degischer

译 序

本书围绕多孔泡沫金属的制备、后处理、结构表征、性能、模拟及应用,对相关最新研究和发展进行了论述,是迄今为止有关多孔泡沫金属研究、发展最全面、最详细的专著。本书全面论述了多孔泡沫金属的制备方法,讨论了多样化的后处理手段,从不同层次研究了泡沫金属的结构性能关系,提供了大量的基础数据,对泡沫金属的应用和市场前景进行了描述和评价,系统而详尽地反映了目前多孔泡沫金属的进展状况和水平,并为今后的发展提出了许多建设性建议。

目前中国国内对多孔泡沫金属的研究和开发,不论在质量还是数量上都与国外有较大差距。国内从事泡沫金属研究开发的单位和部门日益增多,从20世纪80年代初的几家,增加到目前的几十家,国内泡沫金属的产业化进程也已进入了起步实施阶段。我国工业化进程的加快,必将为泡沫金属的高水平系统化研究和泡沫金属的规模化工业生产提供更好的发展机会。据译者所知,到目前为止,国内还没有泡沫金属的专著。因此,本书的翻译出版,译者希望能在以下几方面有积极的作用及实质性的贡献:全面介绍泡沫金属的研发动态,提升我国泡沫金属的研究开发水平,促进相关产业的产业化进程,最终实现我国泡沫金属的工业化应用。

本书由昆明理工大学左孝青教授组织翻译并审校。第1章至第4章由周芸教授翻译,第5章至第8章由左孝青教授翻译。

本书的翻译出版,是在云南省自然科学基金重点项目(项目编号:2000E003Z)的资助下完成的;并得到了化学工业出版社工业装备与信息工程出版中心编辑的大力支持。昆明理工大学潘晓亮、高芝、张志伟、冉绍兵参与部分章节的前期翻译工作;昆明理工大学张曙红教授、史庆南教授、张希俊教授进行了校对工作;刘登文进行了稿件处理工作。译者在此表示衷心的感谢。

本书内容多、涉及面广,是许多泡沫金属从业人员的成果总结和智慧结晶。译者虽多年从事相关研究,但难免有错误和不妥之处,敬请广大读者指正。

左孝青 周芸
2004年6月10日
于昆明理工大学

前 言

对泡沫金属开发研究的兴趣始于二十世纪四十年代，最早的报道是 Sosnick 发明的利用金属中低熔点物质汽化而得泡沫金属^[1]的专利技术。在随后的 20 年里，出现了另外一些泡沫金属的应用和专利技术，如将金属喷射到填料的空隙中，填料通过化学反应或热分解而去除。然而，二十世纪九十年代以前，泡沫金属的制备和研究工作都处于较低迷的状态。现在，泡沫金属的研究开发工作已处于高水平状态，已有了各种各样的工业应用，最新的信息可从相关网站^[2]上获得，最近也有了相关综述文献^[3]报道。

现有工艺技术所获得的泡沫金属材料或是性能指标不够，或是价格太高，因此还有待进一步改善。本书对泡沫金属材料的工艺-结构-性能关系，以及各种应用场合所需的性能组合进行了重点描述。与泡沫塑料相比，泡沫金属的刚度、使用温度范围及抗有机溶剂溶解能力都大大提高；而与泡沫陶瓷相比，其韧性、热性能、电性能及成型性都处于优势地位。当然，所有多孔材料都具有轻质、高比刚度特性。比刚度性能主要与孔隙率有关，而其他性能则依赖于孔的结构（孔单元结构和孔壁厚度）。然而，必须对通孔和闭孔泡沫区别对待，原因是它们的制备方法不同，应用场合也不同。

闭孔泡沫金属（通常是闭孔铝泡沫）由于制备成本低，因此在结构应用上受到了广泛的关注，如承受较低压载荷下的能量吸收件等。理论上讲，与实体金属相比，泡沫金属由于孔壁约束的减少，在应力-应变曲线上有很长的塑性应变平台段，具有显著的能量吸收特性。然而，实际构件的表现让人有点失望，如在剪切带中的过早失效，以及在弯曲导致的拉应力下的低拉伸强度。令人鼓舞的是，已经证明如果能在 0.1mm 尺度上获得均匀细小的泡沫孔结构，问题就可得到解决。因此，相应制备技术的研究开发就显得非常必要和迫切。另外，泡沫中存在脆性组元，如大的陶瓷颗粒和氧化物薄膜，这些组元是在泡沫金属制备过程中，为增加金属熔体的黏度和抑制泡沫孔的粗化和消失作用而加入的^[4]。近年来的研究工作，使人们对这些脆性组元对泡沫金属力学性能的不利作用和作用机制有了清楚的认识^[5]。下一步的研究工作，除了要对它们的危害进行更深入的研究外，还应开发研究不使用或少使用这些脆性组元的制备方法。闭孔泡沫的应用还在进一步扩展，如热障材料，尽管陶瓷在热障性能上更有优势。

通孔泡沫金属潜在或已有的应用有：过滤器、催化载体、热交换器、液流衰减控制设备（包括各种冲击波衰减设备）、生物医学移植材料、内冷却形状记忆

器件、空气电池以及保护渗透膜、盖等。通孔泡沫的制备成本较高，但产品的附加值也高。功能应用型通孔泡沫的孔径大小是很重要的结构参数，如过滤器和流体控制器。热交换器等则要求更细小的孔结构，而对于生物骨移植材料，由于存在孔堵塞的危险，要求较大孔径的孔结构。如果综合考虑材料应有的最小强度和韧性要求，那么相对细小、均匀、无缺陷的孔结构应该都是比较理想的。制备通孔金属泡沫所采用的金属材料很多，需对各种材料体系的工艺优化等进行深入研究。

T. W. Clyne

参 考 文 献

- 1 B. Sosnick, US Patent 2434775, 1948
- 2 <http://www.metalfoam.net>
<http://www.npl.co.uk/npl/cmmt/metalfoams/index.html>
<http://www.msm.cam.ac.uk/mmc>
- 3 J. Banhart, "Manufacture, Characterisation and Application of Cellular Metals and Metal Foams" *Progr. Mater. Sci.* 2001, 46, 559~632
- 4 V. Gergely, H. P. Degischer, T. W. Clyne, "Recycling of MMCs and Production of Metallic Foams" in *Comprehensive Composite Materials*, Vol. 3: Metal Matrix Composites, T. W. Clyne (ed.), Elsevier, Amsterdam 2000, p. 797~820
- 5 A. E. Markaki, T. W. Clyne, "The effect of cell wall microstructure on the deformation and fracture of aluminium-based foams" *Acta Mater.* 2001, 49, 1677~1686

目 录

第 1 章 奇妙的多孔泡沫金属世界.....	1
参考文献	4
第 2 章 材料的定义、工艺及回收.....	5
参考文献	7
2.1 铝的发泡工艺	7
2.1.1 气体注入法: Cymat/Alcan 和 Norsk Hydro 工艺	7
2.1.2 原位气体发生法: Shinko Wire 工艺和 FORMGRIP 工艺	9
2.1.2.1 Shinko Wire 工艺	9
2.1.2.2 FORMGRIP 工艺	10
参考文献	12
2.2 粉末致密化发泡技术的工业化	13
2.2.1 发泡原理	13
2.2.2 泡沫生产的实际过程	15
2.2.2.1 粉末的选择	15
2.2.2.2 混粉	15
2.2.2.3 致密化	16
2.2.2.4 发泡先驱体的进一步处理	16
2.2.2.5 发泡过程	16
2.2.3 工业化状况	17
参考文献	18
2.3 非铝多孔泡沫金属的制备	18
2.3.1 锌	18
2.3.2 铝	19
2.3.3 钛	19
2.3.4 钢	20
2.3.4.1 粉末致密化发泡技术	20
2.3.4.2 粉末-造孔剂混合物制备泡沫钢	23
参考文献	24
2.4 多孔泡沫金属的回收	24
2.4.1 多孔泡沫金属的重熔	24

2.4.2 多孔金属基复合材料的回收	25
2.4.3 结论	27
参考文献	27
2.5 发泡物理学：结构形成和稳定性	28
2.5.1 熔体中的单独气泡	29
2.5.2 气泡聚结：发泡	30
参考文献	36
2.6 渗流和复模工艺制备金属海绵	38
2.6.1 复模	38
2.6.2 复模工艺：基本原理	39
2.6.2.1 预制块的准备	39
2.6.2.2 渗流	41
2.6.2.3 预制块去除	42
2.6.3 金属海绵的物理性能和力学性能	43
2.6.3.1 连续耐火预制块	44
2.6.3.2 非连续耐火预制块	44
2.6.3.3 可燃烧预制块	45
2.6.3.4 可浸出预制块	45
2.6.4 结论	46
参考文献	47
2.7 固态法和沉积法	48
2.7.1 单孔成型：无芯法	49
2.7.1.1 雾化粉末空心球结构	49
2.7.1.2 同轴喷射浆料制备空心球结构	50
2.7.2 单孔成型：失芯法	50
2.7.2.1 置换烧结法制取空心球结构	50
2.7.2.2 电涂覆聚苯乙烯泡沫球制备空心球结构	51
2.7.2.3 流化床涂覆聚苯乙烯泡沫制备空心球结构	51
2.7.3 实体成型：无芯法	53
2.7.3.1 金属粉末及纤维的烧结	53
2.7.3.2 特殊烧结法	54
2.7.3.3 固态发泡法	55
2.7.3.4 粉浆发泡法	57
2.7.4 实体成型：失芯法	57
2.7.4.1 粉末冶金填料法	57
2.7.4.2 沉积法	57

参考文献	58
第3章 多孔泡沫金属的后处理	60
参考文献	63
3.1 成型、机加工和涂覆	63
3.1.1 高温成型	63
3.1.1.1 发泡成型过程中的特殊问题	63
3.1.1.2 制备铝泡沫芯 3D 复合材料的工艺	64
3.1.1.3 材料在固相线温度下的行为	65
3.1.1.4 高温下多孔泡沫金属的成型	65
3.1.2 机加工	66
3.1.3 涂覆	66
3.1.3.1 热喷涂涂层的力学性能	67
3.1.3.2 泡沫涂覆的困难	67
3.1.3.3 泡沫金属热喷涂复合材料	68
参考文献	69
3.2 泡沫铝结构的连接技术	69
3.2.1 简介	69
3.2.2 实用连接技术	70
3.2.2.1 机械连接元件	70
3.2.2.2 黏结剂连接	70
3.2.2.3 焊接	70
3.2.2.4 软钎焊和硬钎焊	71
3.2.3 泡沫-泡沫连接	72
3.2.4 泡沫-板连接	73
3.2.4.1 显微结构研究	73
3.2.4.2 泡沫-板材连接的力学性能	76
3.2.5 构件的适应性	82
3.2.5.1 管材	82
3.2.5.2 异型材	82
3.2.6 小结	84
参考文献	85
3.3 铸造嵌入	85
3.3.1 铸造嵌入泡沫芯	86
3.3.1.1 泡沫芯生产	86
3.3.1.2 泡沫芯连接	86

3.3.1.3	力学性能	87
3.3.1.4	泡沫芯表面涂覆	88
3.3.2	壳体铸造工艺	89
3.3.2.1	高压铸造工艺	89
3.3.2.2	壳体与泡沫芯间的连接	93
参考文献		93
3.4	夹层板	94
3.4.1	泡沫夹层板制备工艺	94
3.4.2	工业应用	96
3.4.2.1	技术优势	97
3.4.2.2	技术局限性	98
3.4.3	AFS的连接技术	98
3.4.3.1	激光焊接	99
3.4.3.2	TIG/MIG 焊接	99
3.4.3.3	螺栓/销焊接	100
3.4.3.4	冲铆连接	101
3.4.3.5	螺钉/螺母连接	102
3.4.3.6	流体钻孔连接	102
3.4.3.7	铆接	102
3.4.3.8	粘接	102
3.4.4	AFS 的切削	102
3.4.4.1	激光切削	103
3.4.4.2	水射流切削	103
参考文献		103
第4章	多孔金属的特征	105
参考文献		107
4.1	多孔泡沫金属的结构特征	107
4.1.1	多孔金属结构特征的定义及对性能的影响	107
4.1.1.1	孔的密度和体积百分数	108
4.1.1.2	孔的形状和尺寸	110
4.1.2	实际泡沫金属几何结构的表征方法	112
4.1.2.1	样品的制备	112
4.1.2.2	孔尺寸	113
4.1.2.3	孔形状	115
4.1.2.4	孔的取向	116

4.1.2.5	孔壁和孔棱的厚度	116
4.1.2.6	拓扑学特征	116
4.1.3	多孔材料的显微组织表征	117
4.1.4	结论	118
	参考文献	119
4.2	计算机 X 射线层析照相术 (XCT)	120
4.2.1	技术原理	120
4.2.1.1	X 射线照相术	120
4.2.1.2	X 射线层析照相术	121
4.2.2	设备配置	121
4.2.2.1	中等分辨率微观层析照相术	122
4.2.2.2	高分辨率微观层析照相术	122
4.2.2.3	研究金属泡沫所需的分辨率	122
4.2.2.4	图像重构方法	123
4.2.3	实验结果	123
4.2.3.1	初始孔结构	123
4.2.3.2	压缩过程中孔结构的变化	124
4.2.4	泡沫材料的有限元微观模拟	125
4.2.4.1	真实微观结构的直接网格法	125
4.2.4.2	结果	125
4.2.5	结论	127
	参考文献	128
4.3	质量特性判定	129
4.3.1	简介	129
4.3.2	多孔泡沫金属的不均匀性	129
4.3.3	宏观参数	131
4.3.3.1	多孔金属的类型	131
4.3.3.2	表面和尺寸	131
4.3.3.3	表观密度	132
4.3.3.4	性能	133
4.3.4	微观结构特征	133
4.3.4.1	金属的显微组织	133
4.3.4.2	几何特征	134
4.3.4.3	微观缺陷	135
4.3.5	介观结构特征	136
4.3.5.1	多孔结构的介观几何特征	136

4.3.5.2 介观密度分布	137
4.3.6 质量特征	137
4.3.7 多孔结构的连续介观近似	138
4.3.7.1 密度图计算	138
4.3.7.2 密度不均匀性的表示	141
4.3.7.3 材料模拟的介观基础	143
4.3.8 质量判定标准	143
参考文献	145
第5章 材料的性能	147
参考文献	150
5.1 力学性能及其测定	150
5.1.1 杨氏模量	150
5.1.1.1 泡沫结构的影响	151
5.1.1.2 泡沫密度的影响	151
5.1.1.3 变形的影响	152
5.1.2 压缩性能	153
5.1.3 能量吸收和抗冲击性	155
5.1.3.1 能量吸收性能	155
5.1.3.2 抗冲击性能	156
5.1.4 拉伸性能	157
5.1.4.1 拉伸性能	157
5.1.4.2 缺口效应	159
5.1.4.3 泡沫材料拉伸测试过程中的特殊问题	159
5.1.5 扭转性能	160
5.1.6 断裂性能	160
5.1.6.1 裂纹的形成及扩展	161
5.1.6.2 断裂韧性	162
5.1.6.3 因泡沫特性而导致的测试问题	164
参考文献	164
5.2 泡沫铝的疲劳性能和疲劳极限	165
5.2.1 疲劳数据的文献综述	165
5.2.2 高周疲劳性能和疲劳极限	169
5.2.2.1 材料和过程	169
5.2.2.2 实验结果	169
5.2.3 裂纹形成机理	171

5.2.4 结论	173
参考文献	175
5.3 多孔金属的电、热和声学性能	175
5.3.1 电性能	175
5.3.2 热性能	179
5.3.3 声学性能	183
5.3.3.1 隔声材料	183
5.3.3.2 吸声材料	185
5.3.3.3 结构阻尼	191
参考文献	195

第6章 模型和模拟..... 197

6.1 多孔金属的模型分析	198
6.1.1 动机	199
6.1.2 多孔材料的微观力学模型：基础理论	199
6.1.2.1 分析模型和数值模型	200
6.1.2.2 微观几何结构分类	201
6.1.2.3 微观力学信息	202
6.1.3 微观力学模拟结果	203
6.1.3.1 孔壁材料分布的影响	203
6.1.3.2 孔壁弯曲和褶皱的影响	206
6.1.3.3 不规则结点位置的影响	207
6.1.3.4 不同孔径结构的微观几何形态	208
6.1.3.5 空洞及固体填充孔的影响	210
6.1.3.6 孔壁破裂或缺缺的影响	211
6.1.3.7 屈服和坍塌面	211
6.1.3.8 泡沫金属的断裂模拟	214
6.1.4 介观密度不均匀性的模拟	217
6.1.5 宏观模拟	219
6.1.5.1 薄泡沫金属垫的低能冲击	220
6.1.5.2 泡沫填充件的变形分析	222
6.1.6 多孔泡沫金属的优化设计	222
6.1.7 展望	224
参考文献	225
6.2 真实多孔结构的介观模拟	227
6.2.1 简介	227

6.2.2 三维介观模型	229
6.2.2.1 弹性范围	230
6.2.2.2 塑性范围	230
6.2.3 单向压缩模拟	233
6.2.3.1 变形带	233
6.2.3.2 力学性能	235
6.2.4 讨论	235
6.2.5 结论	239
参考文献	239
第7章 使用性能和应用	241
7.1 泡沫金属和泡沫塑料的结构应用范围	241
7.1.1 简介	241
7.1.2 潜在的应用范围	241
7.1.3 材料性能	241
7.1.4 主要构件配置	242
7.1.5 应用和连接技术	243
7.1.5.1 铸造	244
7.1.5.2 热连接工艺	244
7.1.5.3 机械连接工艺	246
7.1.5.4 三维夹层件	246
7.1.5.5 聚合物基多孔材料	246
7.1.6 有效性	246
7.1.6.1 弯曲和扭转应力	246
7.1.6.2 冲击应力	248
7.1.6.3 轴向载荷	248
7.1.6.4 声学	249
7.1.7 展望	249
参考文献	251
7.2 功能应用	251
7.2.1 一般性考虑	251
7.2.2 生物医学移植材料	252
7.2.3 过滤和分离	253
7.2.4 热交换器和冷却器	253
7.2.5 催化剂载体	255
7.2.6 液体的存储和传输	255

7.2.7	液流控制	255
7.2.8	消声器	255
7.2.9	喷雾器	256
7.2.10	电池电极	256
7.2.11	电化学应用	256
7.2.12	阻火器	256
7.2.13	水净化	256
7.2.14	声音控制	257
	参考文献	257
7.3	机械工程应用	257
7.3.1	参数	258
7.3.1.1	热性能	258
7.3.1.2	可分离连接的连接强度	258
7.3.2	应用实例	259
7.3.2.1	泡沫填充钢管	259
7.3.2.2	机用台架	263
7.3.2.3	横向滑板	264
7.3.3	结论	264
	参考文献	265
7.4	粉末致密化发泡原型技术	265
7.4.1	简介	266
7.4.2	方法、设备、模具	266
7.4.2.1	发泡先驱体制备	267
7.4.2.2	发泡工艺	268
7.4.2.3	发泡炉	268
7.4.2.4	发泡模具	269
7.4.3	原型技术及其应用	270
7.4.3.1	汽车工业中的应用	270
7.4.3.2	建造业应用	271
7.4.3.3	其他技术领域的应用	272
7.4.3.4	不适合的应用	274
	参考文献	274
7.5	用材料投资法 (IMM) 评估泡沫铝	275
7.5.1	材料投资法 (IMM) 简介	275
7.5.2	泡沫铝潜在应用市场的初步分析	275
7.5.3	材料评估	276

7.5.3.1	技术性能	276
7.5.3.2	生产成本	276
7.5.3.3	能量吸收应用的最小体积和成本	277
7.5.4	市场预测	277
7.5.4.1	泡沫铝的市场规模	277
7.5.4.2	泡沫铝的市场周期	278
7.5.5	价值获得	279
7.5.5.1	工业结构	279
7.5.5.2	利润	280
7.5.6	结论：泡沫铝的材料投资方法评估	280
	参考文献	281
第8章	优势、不足和机遇	282
8.1	工艺	282
8.2	性能	283
8.3	设计和应用	285