

先进材料制备技术

姚广春 刘宜汉 等编著



東北大學出版社
Northeastern University Press



东北大学资助

© 2005 年 12 月 1 日 出版

ISBN 7-311-01118-7

东北大学出版 2005 年 12 月 1 日 出版

ISBN 7-311-01118-7

先进材料制备技术

姚广春 刘宜汉 等编著

东北大学出版社

沈阳市和平区南京路 11 号

110006

电话: (024) 83591111 (发行部) (024) 83591111

电邮: hndup@163.com (发行部) (024) 83591111

http://www.hndup.com

http://www.hndup.com

东北大学出版社

东北大学出版社

110006

电话: (024) 83591111

电邮: hndup@163.com

http://www.hndup.com

http://www.hndup.com

电话: (024) 83591111

电邮: hndup@163.com

http://www.hndup.com

http://www.hndup.com

东北大学出版社

ISBN 7-311-01118-7

· 沈阳 ·

© 姚广春 刘宜汉 等 2006

图书在版编目(CIP)数据



图书在版编目(CIP)数据

先进材料制备技术 / 姚广春, 刘宜汉等编著. — 沈阳: 东北大学出版社, 2006.12
ISBN 7-81102-347-4

I. 先… II. ①姚… ②刘… III. 材料—制备 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 161975 号

出版者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路3号巷11号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph@neupress.com

http://www.neupress.com

印刷者: 沈阳农业大学印刷厂

发行者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 184mm×260mm

印张: 15.75

字数: 403千字

出版时间: 2006年12月第1版

印刷时间: 2006年12月第1次印刷

责任编辑: 冯淑琴 孟颖

责任校对: 张丽萍

封面设计: 唐敏智

责任出版: 杨华宁

定 价: 30.00 元



作者简介

姚广春，东北大学教授，博士生导师，享受国务院特殊津贴，国家级有突出贡献的中青年科技专家，拥有发明专利5项、实用新型专利4项，曾获国家科技进步一等奖、国家自然科学基金三等奖、国家教育部科技进步一等奖等多项国家、部级奖励。承担了国家“863”、国家“973”、国家自然科学基金等课题十余项。主要研究成果有，铝电解镍铁尖晶石基惰性阳极制备新技术、直流电弧炉电热法制备铝硅合金技术、泡沫铝材料制备技术、碳纤维增强飞机蒙皮铝合金材料制备技术、石墨/铝合金复合材料制备技术等。出版了《冶金炭素材料性能及生产工艺》《电热法制取铝硅合金》两部专著，参撰了《铝电解界面现象及界面反应》《材料先进制备及轧制成型技术》专著；发表论文200余篇，被EI、SCI检索系统收录90余篇。

前 言

先进材料在人类社会的发展中具有不可替代的作用与地位。先进材料的发展与应用水平是衡量一个国家国力的强弱、科学技术进步程度和国民生活水准高低的标准。先进材料是一切科学技术尤其是高新技术发展的基础和柱石。

先进材料与传统材料一样，分类方法很多，通常按组成、结构特点进行分类。一般划分为先进金属材料、先进无机非金属材料、先进高分子材料、先进复合材料及先进化工材料等。本书重点介绍多孔金属材料制备技术、铝基复合材料制备技术、镁锂超轻金属材料制备技术、金属陶瓷材料制备技术、纳米材料制备技术等。

本书收集了国内外研究资料，结合作者多年承担的国家“973”“863”等重大项目研究结果撰写而成。

本书可作为冶金、材料、加工专业的本科生、硕士研究生和博士研究生教学用书，也可作为从事先进材料研究人员的参考书。

参加本书撰写的人员有：姚广春（第1章）、刘宜汉（第5章）、翟秀静（第6章）、魏丽（第2章）、吴林丽（第3、4章）。罗洪杰，李红斌，罗天骄博士参加了本书的部分编写工作。本书由姚广春统审并修改全书，担任主编，刘宜汉任副主编。

由于作者水平有限，书中难免存在缺点和错误，敬请读者给予批评指正。

作者

2006年9月

目 录

前 言

第 1 章 先进材料与材料科学	1
1.1 先进材料的地位与作用	1
1.2 先进材料种类	4
1.2.1 先进钢铁材料	5
1.2.2 先进铝合金材料	5
1.2.3 先进镁合金材料	6
1.2.4 特殊金属材料	7
1.2.5 先进陶瓷材料	8
1.2.6 先进高分子材料	9
1.2.7 树脂基复合材料	9
1.2.8 陶瓷基复合材料	10
1.2.9 金属基复合材料	10
1.2.10 纳米粉体材料	11
1.3 材料科学与先进材料的发展趋势	12
1.4 先进材料制备工艺	13
1.4.1 材料的组成与结构	13
1.4.2 材料的结构与性能关系	13
1.4.3 先进材料制备方法	14
第 2 章 多孔金属材料制备技术	16
2.1 多孔金属材料的特性和用途	16
2.1.1 多孔金属材料的特性	16
2.1.2 多孔金属材料的用途	19
2.2 多孔金属材料的发展状况	24
2.2.1 国外多孔金属材料的研究进展	24
2.2.2 国内多孔金属材料的研究现状	25
2.2.3 多孔金属材料的发展趋势	25
2.3 多孔金属材料制备的基础理论	26
2.3.1 TiH_2 热分解	26
2.3.2 熔体的黏度	29

2.3.3	泡沫熔体的表面张力	30
2.3.4	液体中气泡特性	31
2.4	熔体直接发泡法制备多孔金属材料技术	36
2.4.1	直接发泡法制备多孔金属材料的国内外研究现状	36
2.4.2	直接发泡法制备多孔金属材料的基本原理	37
2.4.3	熔体直接发泡制备泡沫铝材料的主要方法	38
2.4.4	直接发泡法制备泡沫铝材料工艺	38
2.4.5	工程化中易出现的问题与抑制措施	52
2.5	粉末冶金法制备多孔金属材料技术	54
2.5.1	粉末冶金法制备多孔金属材料的国内外研究现状	54
2.5.2	粉末冶金法制备多孔金属材料的特点	55
2.5.3	粉末冶金法制备多孔金属材料的基本原理	55
2.5.4	几种粉末冶金法制备泡沫铝零件工艺	56
2.5.5	粉末冶金法制备泡沫铝材料的影响因素	57
2.5.6	粉末冶金法制备泡沫铝发泡过程	63
2.5.7	气泡的形核	66
2.5.8	气泡的上浮	69
2.6	其他制备多孔金属材料的方法	70
2.6.1	渗流铸造法	70
2.6.2	注气发泡法	72
2.6.3	熔模铸造法	73
2.6.4	电沉积法	74
第3章	铝基复合材料制备技术	79
3.1	铝基复合材料的分类	79
3.1.1	按强化的几何形状及强化机理分类	80
3.1.2	按增强相的形式分类	81
3.2	铝基复合材料的特性与用途	86
3.2.1	铝基复合材料的特性	86
3.2.2	铝基复合材料的用途	91
3.2.3	铝基复合材料主要应用领域	94
3.3	铝基复合材料国内外发展状况	95
3.3.1	铝基复合材料的设计与制备	96
3.3.2	铝基复合材料的界面研究	103
3.4	铝基复合材料制备的基础理论	108
3.5	熔铸法制备铝基复合材料技术	115
3.5.1	搅拌铸造法的起源与发展	115
3.5.2	搅拌铸造法的改进	116
3.5.3	搅拌铸造法各种问题的研究状况	117

3.5.4	其他熔铸制备铝基复合材料方法	118
3.6	粉末冶金法制备铝基复合材料技术	121
第4章	超轻镁合金材料制备技术	125
4.1	超轻金属材料的特性和用途	126
4.2	超轻镁合金材料国内外发展状况	130
4.2.1	超轻镁合金的研究历史	130
4.2.2	超轻镁合金的研究现状	131
4.3	超轻镁合金材料制备的基础理论	133
4.3.1	镁锂合金熔液与周围介质的作用	134
4.3.2	镁合金熔液的处理	138
4.4	真空熔炼法制备超轻镁合金材料技术	141
4.5	熔剂保护法制备超轻镁合金材料技术	142
4.6	常压下无溶剂法制备超轻镁合金材料技术	144
4.6.1	添加 Be, Ca 元素熔炼技术	144
4.6.2	SF ₆ 气体保护熔炼技术	146
第5章	金属陶瓷材料制备技术	151
5.1	金属陶瓷材料概述	151
5.1.1	金属陶瓷材料的定义	151
5.1.2	金属陶瓷材料的分类	152
5.2	金属陶瓷材料的特性与用途	152
5.2.1	金属陶瓷材料的力学性能与应用	152
5.2.2	金属陶瓷材料的物理性能与应用	158
5.3	金属陶瓷材料的发展	161
5.4	金属陶瓷材料制备基础	162
5.4.1	金属陶瓷复合原理	162
5.4.2	复合材料的古典法则	162
5.4.3	金属陶瓷材料的界面相容性	164
5.5	金属陶瓷材料的选择	166
5.5.1	金属陶瓷基体材料的选择	166
5.5.2	金属陶瓷对于陶瓷粉体原料的要求	170
5.6	金属陶瓷基体材料的合成	171
5.6.1	固相化学法	173
5.6.2	自蔓延高温燃烧合成法	173
5.6.3	固态置换方法	174
5.6.4	粉体的液相法合成	174
5.6.5	化学气相法合成	176
5.7	金属陶瓷材料的制备方法	177

5.7.1	传统金属陶瓷制备工艺	177
5.7.2	金属陶瓷新制备方法	182
5.8	金属陶瓷铝电解惰性阳极材料的研究	183
5.8.1	铝电解工艺对惰性阳极材料的要求	184
5.8.2	铝电解惰性阳极材料的发展	184
5.9	金属陶瓷惰性阳极制备的新技术	186
5.9.1	镍铁尖晶石陶瓷材料的合成	186
5.9.2	镍铁尖晶石陶瓷合成促进烧结技术	187
5.9.3	制备镍铁尖晶石基惰性阳极的配料	191
5.9.4	碳化硅纤维和晶须对惰性阳极性能的改善作用	194
5.9.5	碳化硅纤维增强镍铁尖晶石基惰性阳极制备工艺	197
第6章 纳米材料制备技术		203
6.1	零维纳米材料制备技术	203
6.1.1	气体蒸发法	204
6.1.2	溅射法制备纳米粉	208
6.1.3	微波合成纳米粉	209
6.1.4	水热合成法	212
6.1.5	激光技术制备纳米粉	214
6.2	一维纳米材料制备技术	215
6.2.1	碳纳米管的制备技术	215
6.2.2	碳纳米管分离提纯技术	225
6.3	二维纳米材料制备技术	230
6.3.1	溶胶-凝胶法	231
6.3.2	溅射镀膜法	232
6.3.3	化学气相沉积法 (CVD)	233
6.4	三维纳米材料制备技术	236
6.4.1	惰性气体蒸发、原位加压制备法	236
6.4.2	高能球磨法结合加压成块法	237
6.4.3	非晶晶化法	238
6.4.4	高压、高温固相淬火法	238

第 1 章 先进材料与材料科学

1.1 先进材料的地位与作用

先进材料 (Advanced Materials) 是新材料 (New Materials) 和具有高性能的传统材料的总称, 既包括具有优良性能的新材料, 又包括具有高性能的传统材料。

材料是人类赖以生存的必需品, 是社会发展的基础, 是现代文明的重要支柱。而先进材料对人类生活质量的提高, 对社会的发展, 对其他技术的发展都起着重要的促进作用。

人们知道, 宇宙飞船是靠运载火箭送入太空的, 在火箭发射时喷出的高速烈焰温度超过 2000℃。用什么样的材料制作火焰喷嘴, 才能承受这样的高温呢? 需要能抗 2000℃ 以上高温的先进材料。

现代记录声像信息技术发展迅速, 用十年左右的时间, 从录音磁带到 CD 光盘, 再发展到 VCD 光盘, 接着是密度更高的 DVD 光盘。记录声像技术的发展主要依赖于先进的记录磁盘和磁头材料的发展。

材料的发展促进了人类文明, 促进了社会发展。古代炼铁技术和制造技术的发展, 开创了人类文明的新时代。蒸汽机是在 1769 年由铁匠纽可门发明的, 他集铅管匠、锡匠等技术于一身。第一台蒸汽机用于煤矿排水, 但是效率极低, 只利用了热能的 1%。后来, 在 1777 年机匠瓦特对蒸汽机进行了重大改进, 热能利用率大大提高。到 18 世纪后期, 由于蒸汽机的发明与应用, 使高炉、转炉、平炉炼制优质钢材工业化, 并引发了纺织、冶金、机械、造船等工业大革命, 从此人类从手工工艺阶段跃进到机器工业时代, 开创了工业社会的文明。

第二次技术革命是在 19 世纪末期, 以电的发明和应用为标志, 由于远距离送电材料以及通讯、照明用的各种材料的工业化, 实现了电气化。电气化带来石油开采、化学工业、钢铁冶炼、飞机制造业、电报电话业等迅猛发展, 形成了现代产业群, 使人类跨进了一个新时代, 实现了向现代社会的转变。

第三次技术革命开始于 20 世纪中期, 以原子能为主要标志。1942 年美国建立了第一个核反应堆, 实现了控制核裂变, 使核能利用有了可能, 实现了合成材料、半导体材料等大规模工业化, 极大地促进了工业文明, 开启了信息社会文明的大门。

第四次技术革命是从 20 世纪 70 年代开始, 以计算机、微电子技术、生物工程技术和空间技术为主要标志, 以先进材料、新能源、生物化工、航天工业及海洋开发等新兴技术为主攻方向。最早的计算机用 18000 多个电子管, 总质量达 30 余吨, 运算速度为每秒 5000 次。由于半导体材料和大规模集成电路的发展, 现代计算机不但体积小, 而且运算速度快, 一般台式个人计算机每秒可运算 4.5 亿次, 最快的计算机每秒可运算 1 万亿次。在生物工程方面, 人类实现了 DNA 的人工合成, “克隆”羊、牛。在航天方面也飞速发展, 人类已经遨游太空, 登上月球和火星。

在人类社会的发展过程中，金属材料曾经有过辉煌，以钢铁为代表的金属材料占统治地位。近代由于无机非金属材料、高分子材料和先进复合材料的发展，钢铁材料的地位受到挑战。20世纪末期，塑料的产量已超过1亿吨，按体积计算，已超过钢铁材料产量。过去衡量一个国家的综合实力以钢铁产量为代表，现在是以塑钢比来衡量。美国的塑钢比为40%左右，中国的塑钢比约为15%。

汽车工业是一个国家的支柱产业，汽车工业是大型的、综合性的加工产业，它可以带动和促进系列相关工业和相关社会服务行业的发展。相关的工业有冶金、石油化工、机械、电子电器、轻工、纺织等。相关的服务行业有交通运输、保险、维修、商业等。这些工业和服务行业所涉及的经济效益和社会效益十分巨大。在材料方面，汽车工业需用11大类材料，分别为钢板、特种钢、结构用塑料和复合材料、非结构用塑料和复合材料、橡胶、涂料、有色金属合金（主要为铝合金材料）、铸件、陶瓷和玻璃、金属基复合材料。汽车工业对材料的需求量很大，仅美国每年需用6000万吨以上。随着现代汽车向轻量化、节能、环保、安全、舒适方向发展，需要传统材料提高性能，同时需要具有高性能的新型材料代替部分传统材料。例如，采用IF钢板和抗拉强度超过400MPa的超级钢作汽车钢板，可以减薄，减轻汽车车体质量；采用新型的铝基复合材料代替铸铁件，用深冲铝合金板代替钢板，都显著减轻汽车质量。自20世纪60年代以后，塑料件在汽车中的应用逐渐增多，以工程塑料和复合材料为主，目前，在单台轿车上的塑料件用量已接近120kg。由于先进材料的发展，汽车上使用的原材料结构组成比逐年发生变化，如表1-1所示。

表 1-1 一般轿车使用的原材料所占比例(%)

年 份		1973	1977	1980	1983	1986	1989	1992	1997
黑色金属	铸 铁	3.2	3.2	2.8	2.2	1.7	1.7	2.1	1.8
	普通钢材	60.4	61.4	60.5	59.5	57.7	56.9	54.9	52.1
	特种钢材	17.5	16.1	14.7	14.3	15.0	15.1	15.3	16.9
有色金属	电解铜	1.0	0.9	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
	铝合金	0.6	0.6	0.8	0.9	1.2	1.0	1.1	1.9
	锌合金	0.5	0.5	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2
	铝合金	2.8	2.6	3.3	3.5	3.9	4.9	6.0	7.5
	其 他	0.1	0.1	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
非金属合金	酚醛塑料(PF)	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
	聚氨酯塑料(PUR)	0.5	0.5	0.8	0.9	1.2	1.0	1.1	0.9
	聚氯乙烯塑料(PVC)	0.9	1.1	1.4	1.7	1.7	1.6	1.1	1.1
	聚乙烯塑料(PE)	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.4
	聚丙烯塑料(PP)	0.5	0.5	0.9	1.2	2.0	2.4	2.5	2.8
	工程塑料(ABS)	0.4	0.7	0.5	0.5	0.7	0.8	0.7	0.6
	其他塑料	0.3	0.4	0.7	0.6	0.4	0.3	0.4	0.3
	高性能塑料				0.2	0.7	0.9	1.1	1.3
	涂料	2.1	1.6	1.8	1.7	1.7	1.4	1.5	1.7
	橡胶	4.8	4.3	3.7	3.5	3.0	2.7	3.1	3.3
	玻璃	2.8	2.7	3.1	3.2	3.3	3.0	2.8	2.8
	纤维		0.7	1.2	1.3	1.4	1.2	1.2	1.1
	木材			0.2	0.3	0.5	0.4	0.4	0.3
	其他	1.3	1.6	1.7	2.7	2.3	2.7	3.4	2.9
合计	13.9	14.4	16.4	18.4	19.5	18.9	19.7	19.6	

表 1-3 美国商业部对 12 项新兴技术产值预测

项 目	产值/亿美元	所占比例/%	分 类
先进材料*	1500	42.1	新兴材料
超导材料	50	1.4	
先进材料	750	21.1	
数字图像技术	40	1.1	
高密度数据存储器	150	4.2	新兴电子与信息技术
高性能计算机	500	14.0	
光电子	40	1.1	
人工智能	50	1.4	
柔性集成加工	200	5.6	新兴生产系统
传感技术	50	1.4	
生物技术	150	4.2	
医疗与诊断装置	80	2.3	新兴生命科学系统
合 计	3560	100	

* 先进材料包括特种陶瓷、陶瓷基和金属基复合材料、金属间化合物与轻合金、先进塑料、表面改性材料、金刚石薄膜、膜材料及生物材料等。

国际标准化组织委员会在全世界 40 个国家的 2744 名科技人员中，对 149 项科技专业的重要程度进行调查，超过 2500 票的专业中，位居前 4 项的分别是先进材料技术、信息技术、生命科学技术和航天技术。全世界 2000 多位科学家认定先进材料技术处在各项重要技术的首位，是各国首先发展的技术。我国对先进材料制备技术的研究开发也十分重视，把它列入“863”高技术研究发展计划中，为重点研究发展的领域。

1.2 先进材料种类

先进材料与传统材料一样，分类方法很多，通常按组成、结构特点进行分类。一般划分为先进金属材料、先进无机非金属材料、先进高分子材料、先进复合材料及先进粉体材料等。每一大类又可以分为若干类，如表 1-4 所示。

表 1-4 先进材料分类

先进材料	先进金属材料	先进钢铁材料	IF 钢板
			超级钢
		先进中厚钢板	
		先进铝合金材料	高强高韧性铝合金
			半固态铸造成型铝合金
			深冲铝板材料
		先进镁合金材料	铸造镁合金
			变形镁合金
		特殊金属材料	多孔金属材料
			记忆合金材料
			先进磁性材料

续表 1-4

先进材料	先进无机非金属材料	先进陶瓷材料
		先进耐火材料
		先进玻璃材料
	先进高分子材料	先进合成塑料
		反渗透材料
		先进光导材料
		树脂基复合材料
	先进复合材料	金属基复合材料
		陶瓷基复合材料
		碳-碳基复合材料
		先进微粉矿物材料
	先进粉体材料	纳米粉体材料
		晶须材料

1.2.1 先进钢铁材料

钢铁材料具有资源丰富、生产规模大、易于加工、性能多样可靠、价格低廉、使用方便和便于回收等特点，是工业生产、人民生活中广泛使用的材料。进入 21 世纪的今天，钢铁材料仍然以其极具竞争力的特性而处于结构材料主体的地位。但是，随着社会经济的发展，钢铁工业所面临的节省资源、节约能源、保护环境压力越来越大，而目前生产的大多数钢铁材料其强度只有理论强度的 $1/6 \sim 1/7$ ，还有巨大的性能潜力。所以，对传统的钢铁材料采用特殊的加工工艺，以大幅度提高其性能，生产先进钢铁材料，已经成为目前钢铁材料研究领域的热点。

日本、韩国相继于 1997 年和 1998 年启动了面向 21 世纪的结构材料研究计划，其目标就是在成分基本不变的前提下将现有钢材的实用强度和结构寿命提高一倍，经过几年来的研究工作，目前在 C-Mn 钢 TMCP 理论和工业生产技术方面已取得重要进展。为了满足我国经济和社会发展对钢铁材料的需求和解决钢铁工业面临的可持续发展问题，我国从 1998 年启动了国家重点基础研究发展规划项目（“973”）——新一代钢铁材料的重大基础研究，提出了开发下一代钢铁材料的思想。其含义是在充分考虑经济性的条件下，钢材具有高洁净度、超细晶粒、高均匀度的特征，强度韧性比常用钢材提高一倍。现已取得突破性进展，率先在工业生产条件下生产出铁素体晶粒为 $4\mu\text{m}$ 左右，屈服强度达到 400MPa 的超级结构钢带，并成功地应用于汽车工业。围绕新一代钢铁材料的国际竞争已经开始。

超级钢（新一代钢铁材料）的研究是我国在 1998 年启动的国家重点基础研究发展规划（“973”）项目。其目的是开发以高洁净度、超细晶粒、高均匀度为特征的新一代钢铁材料。我国已经开发出铁素体晶粒接近 $4\mu\text{m}$ 左右，屈服强度达到 400MPa 的新一代碳素结构钢带产品，实现了使普通碳钢在保证韧性前提下屈服强度翻番的目标，开辟了节省合金元素、降低钢材成本、大幅度提高性能、促进钢材品种更新换代的新途径。在此基础上，2001 年使屈服强度超过 500MPa，更先进的碳素结构钢列入“863”高技术研究发展计划。

1.2.2 先进铝合金材料

先进铝合金材料包括高强高韧性铝合金材料、半固态铸造成型铝合金材料和耐腐蚀铝合金材料等。

高强高韧性铝合金不仅具有超强的比强度和良好的韧性,而且还有合格的抗蚀性,是首选的飞机和火箭用轻质结构材料。采用常规铸锭冶金法生产,通过在铸锭、多级均匀化、压力加工、中间处理,可使高强高韧性铝合金的抗拉强度和屈服强度分别大于 600MPa 和 660MPa,其延伸率和断面收缩率分别大于 12% 和 37%,并且具有合格的抗应力腐蚀和抗剥落腐蚀性能。这种高比强度轻质合金材料不仅在航空航天工业中起到重要作用,同时在兵器工业、交通运输业、建筑业等领域也有广泛的前景。国家把此项研究列入“973”国家重点基础研究发展计划和“十五”、“863”高技术研究发展计划。

铝合金半固态铸造成型是国际上最为活跃的研究领域之一。国际上大量应用铝合金半固态成型制造汽车等运载工具的零部件。

所谓“金属半固态加工”,就是将金属加热到固液两相区后进行压力(压铸、挤压、模锻等)成型的一种加工方法。其特点是洁净型、短流程、高效、节能,被誉为 21 世纪最具发展潜力的现代冶金新技术之一。铝合金铸件与传统的液态金属或固态金属成型相比,充型无湍流与激射,加工温度低,模具使用寿命长,生产成本低,接近或相当于铸造;金属凝固时间短,生产效率高;铸件表面质量好,凝固收缩小,内部组织致密,无气孔、夹杂、偏析等缺陷,晶粒细小,力学性能高,性能接近或达到锻件;铸件尺寸精度高,机械加工量大大降低;节约能源,铝合金半固态成型比普通铸造节能 15% 左右;适用合金范围宽,半固态加工技术既可用于铸造合金,又可用于变形合金,同时又适用于难加工合金以及复合材料等;可生产热处理强化铝合金及厚壁件,替代汽车上的部分钢结构件。

铝合金板材应用在汽车制造冲压件方面,存在强度、成型性及焊接性能不如钢板的问题。为了解决这些问题,提高铝合金这些性能,国内外都开展了深冲铝板材的研究,无论在新型铝合金材料的研制,还是在冲压件的成型方法及连接技术等方面都取得了可喜的成果,并已广泛地应用于轿车上。

目前用于汽车冲压件的铝合金板材主要是 5000 系和 6000 系合金。其中 5000 系合金有最好的成形性和抗蚀性。日本主要以 5000 系的 5018 合金为基础开发满足汽车冲压件用新型铝合金材料。但该合金属于非热处理强化型合金,以退火状态使用,存在强度不足问题,且易产生拉伸应变线痕,影响表面质量,不适合制作车身外板。日本主要通过调整 Mg、微量元素含量和控制加工过程,进行适当的热处理,提高成形性,消除拉伸应变线痕。采用新的成形方法,使铝板材的成形性达到甚至超过钢板的成形性。加入适量的 Cu 在不降低成形性的前提下,提高合金的强度,保证涂装烤漆处理时不软化。

美国主要以可热处理强化的 6000 系合金为基础开发新材料。该系合金的成形性不如 5000 系,但冲压时不产生拉伸应变线痕,而且以 T4 状态使用还有烘烤硬化特性,成品强度可与钢板媲美。关于 6000 系合金的主要研究目标是,进一步提高成形性,并使烘烤硬化温度降低(在 160~180℃ 之间)及所需时间缩短(小于 30min)。

1.2.3 先进镁合金材料

由于镁合金具有优良的铸造性能,容易进行机械加工和焊接,镁合金又是非磁性物质,在冲击作用下不产生火花,另外镁合金密度比铝合金还小。这些优良性能是镁合金能够应用于航天航空工业、汽车及摩托车工业、仪器制造业、电子工业、机器制造业等。

传统材料中大量应用的是铸造镁合金,以生产压铸件为主,另外一部分为热变形镁合

金。由于摩托车、轿车以及火车向轻量化方向发展,逐渐增加镁合金铸造零部件的应用,在电子工业方面,采用压铸镁合金制作电脑、手机等电器外壳,既轻质、坚固,又可以屏蔽电磁波。热变形镁合金主要用于生产镁合金板材。

与铝合金半固态铸造相同,半固态铸造镁合金也是一种新技术,与常规铸造相比,结晶颗粒细小、内部组织致密,力学性能高。目前,已在进行铸造摩托车轮毂、轿车轮毂、轿车表盘、火车列车的行李架等的试验研究;另外,正在开发半固态铸造电器外壳的应用。

Mg-Li系变形镁合金是一种先进材料,具有十分诱人的开发前景。这种合金可以进行冷加工变形,克服普通镁合金滑晶的弱点。Mg-Li系变形镁合金是目前最轻的合金材料,其二元合金的密度为 $0.9\sim 1.6\text{g}/\text{cm}^3$ 。由于这种合金具有密度小的特性,“Apollo”宇宙飞船的启动火箭“萨图尔恩V”中,电气仪器的框架和外壳、防宇宙尘壁板都是用Mg-Li合金材料制造的。

由于Mg-Li系列合金的延伸率和延展性好,可以进行冷加工轧制,制造航天器部件、笔记本计算机、录像机等电器外壳,与铸造合金相比,既坚固,又薄,节省原料。

1.2.4 特殊金属材料

特殊金属材料包括具有特殊性能的多孔金属材料、记忆合金材料和先进磁性材料等。

典型的多孔金属材料包括泡沫铝、泡沫镁、泡沫镍等。

由于多孔金属材料具有体积密度小、隔声、吸声、减震、隔热、屏蔽电磁波和不燃烧等多种特殊功能,一些发达国家已将多孔金属材料广泛应用于交通、运输工具、机械、建筑、电子和通讯等行业上。例如,将泡沫铝材料应用于汽车、坦克、装甲车、机动战车、军用汽车、地铁列车、高速火车上制作地板、壳体及间隔墙,起到隔声、减震和隔热效果;应用于潜艇上,可以吸声和隔声,使潜艇运行时无声,不易被敌人发现;应用其制作汽车保险杠,可以吸收冲撞力,受撞击时能够保护人和汽车免遭伤害,提高安全性;应用其制作高架铁轨、高速公路和铁路的隔声屏,减少噪声对环境的污染。

制造泡沫铝材料主要有三种方法:渗流铸造法、粉末制造法和铝直接熔化发泡法。渗流铸造法制造通孔泡沫铝材料,其隔声能力较低,密度较大,适于用作高温液体和气体的过滤。粉末冶金法可以用作生产孔隙很小的泡沫铝材料,可以制作轿车发动机和行李箱盖板,轿车零件等。铝直接熔化发泡法可以用于制备低密度、隔声能力强、热导率小的泡沫铝材料,适于作为隔声、隔热、吸能材料。这种方法生产成本低,适于大规模生产。

铝直接熔化发泡法制备泡沫铝材料已被列为国家“863”高技术规划发展项目。研究开发内容既包括制备泡沫铝基本材料,又包括泡沫铝深加工制品的开发,如:泡沫铝轿车保险杠,轨道、公路两旁泡沫铝隔声屏;高楼泡沫铝幕墙板;地铁列车泡沫铝复合地板;高速列车泡沫铝复合地板;建筑用泡沫铝夹心板;泡沫铝夹心地铁车门;潜艇泡沫铝隔声墙;导弹驱逐舰泡沫铝隔声墙和间隔墙;民用和军用泡沫铝夹心板活动营房等。

形状记忆合金是在20世纪60年代初创造出来新材料。美国海军费城实验室的人员偶然发现镍钛合金具有“形状记忆”的特性,在一定的温度下具有一定的形状,当温度下降时,变成另一种形状,当它恢复到原来温度时,又恢复到原来的形状。目前,已经发现具有“记忆”功能的合金有镍-钛合金、镍-锌合金、铜-铝合金、铜-金-锌合金等,其中,以1:1的镍与钛组成“镍钛锆”合金应用最多。

形状记忆合金具有的第一个特性是有确定的转变温度，达到转变温度，立即有记忆，还原本来面目；第二个特性是超弹性，在外力作用下，能发生很大的形变，变形量可以超过4%，甚至更高。但当温度达到转变温度时，它像突然“醒”了一样，会狠狠地弹回到原来的形状；第三个特性是具有抗疲劳性，它的记忆变形本领可以反复使用500万次。

形状记忆合金有很多美妙的实用价值。美国阿波罗登月舱在月球上安置的直径数米的半球形天线，就是利用形状记忆合金材料制造的，先降低温度，把它压成一团，装入登月舱飞上月球，然后利用阳光的温度，使天线重新展开，恢复本来形状。在航空、航天、核工业和海底输油管等危险场合，为了保证系统万无一失，管道连接处常采用记忆合金套管。用形状记忆合金加工成内径比欲连接管的外径小4%的套管，然后在低温下把套管两端插入，当温度升到常温时，套管恢复原形，形成紧密结合。

在生活中，可将记忆合金用于开启门窗装置，达到自动调节温度的目的。人们深信，形状记忆合金的应用前景会是广阔的。

1.2.5 先进陶瓷材料

先进陶瓷材料是用精选或人工合成的原料，精确的化学成分，通过严格控制成形工艺及结构先进烧结合成方法制得的，具有优越的光电、热、磁、力及耐高温、抗腐蚀、耐辐射等特征，广泛用于电子、信息、宇航等新技术领域，成为许多高新技术的关键材料。

氧化锆增韧陶瓷，克服了普通陶瓷脆性大、易碎、抗拉强度低的缺点。氧化锆在1170℃时为单斜晶体结构，1170~2370℃为四方晶体结构，2370~2706℃为立方结构。氧化锆从四方晶体结构冷却到单斜晶体结构时会有8%的体积膨胀。氧化锆增韧陶瓷是利用由四方晶体结构转变成立方结构的相变时膨胀效应来克服陶瓷的脆性的。

另外，用纤维均匀地分布在陶瓷基体中，也可以提高陶瓷的强度和韧性，克服陶瓷的脆性。

透明陶瓷材料广泛应用于光源。高压钠灯的发光管温度超过1000℃，并伴随强烈的钠蒸气腐蚀，利用透明氧化锆陶瓷材料制成的发光管才能担此重任，而普通玻璃灯管无法承受。

1957年，世界上第一块透明陶瓷被制成，它的熔点高达2500℃，能在1600℃的环境中不受钠蒸气腐蚀，透光率达到95%。有了透明氧化锆陶瓷之后，高压钠灯才在实际生活中得到应用。

目前，透明陶瓷材料已有几十种，氧化物陶瓷方面有氧化镁、氧化钇等，在复合氧化物方面有铝镁尖晶石、锆钛铅镧透明铁电陶瓷等。

有些陶瓷的强度可以胜过钢铁。用陶瓷制成的刀具可以切削钢铁材料。人类从1905年就开始使用 Al_2O_3 陶瓷刀具，由于材料的强度和韧性较差，抗热性也不好，所以它的发展和应用受到了很大的限制；直到1970年， $Al_2O_3 + Ti$ 系统复合材料刀具研究成功，才得以广泛应用；后来又研究成功热压氮化硅陶瓷刀具。

使用陶瓷刀具可以切削加工超硬的材料。随着科学技术的发展，越来越多高强度、高硬度、耐腐蚀和耐高温的工程材料被采用，传统的高速钢刀具和硬质合金刀具已无法胜任，使用陶瓷刀具获得数倍乃至百倍的切削效果和使用寿命。陶瓷刀具由于耐磨性和耐热性好，切削效果可比硬质合金刀具高3~10倍甚至更高。英国的用户调查结果显示，采用氮化硅刀具