

研究生规划教材

Advanced Processing Technologies and Theories of Materials

先进材料成形 技术与理论

樊自田 等编著

魏华胜 主审

 化学工业出版社

研 究 生 规 划 教 材

先进材料成形技术与理论

Advanced Processing Technologies and
Theories of Materials

樊自田 王从军 熊建钢 王桂兰 张海鸥 编著
魏华胜 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书概述了材料的分类及其成形加工方法的选择、先进材料成形技术在先进制造技术中的作用、21世纪材料成形加工技术的发展趋势,重点介绍了以精密成形、复合成形、材料制备与成形一体化、数字化成形等技术为代表的新一代材料成形技术的原理及应用,其主要内容包括液态金属精密成形理论及应用、金属材料塑性精确成形工艺及理论、先进连接技术理论及应用、复合化成形加工方法及技术基础、粉末材料及其成形技术五部分。

本书主要用作材料加工工程、数字化材料成形、材料学等专业的研究生和高年级本科生教材,也可供从事材料科学与工程科技工作者及相关专业的本科生、研究生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

先进材料成形技术与理论/樊自田等编著. —北京:化学工业出版社, 2006. 7

研究生规划教材

ISBN 7-5025-8752-7

I. 先… II. 樊… III. 工程材料-成形-研究生-教材
IV. TB3

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第088188号

研究生规划教材 先进材料成形技术与理论

樊自田 王从军 熊建钢 王桂兰 张海鸥 编著
魏华胜 主审

责任编辑:彭喜英 杨菁

责任校对:李林

封面设计:韩飞

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码100029)

购书咨询:(010)64982530

(010)64918013

购书传真:(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 17¼ 字数 435千字

2006年9月第1版 2006年9月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-8752-7

定价:35.00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

前 言

“先进材料成形技术与理论”课程是研究生培养计划修订后（2004）设立的新课程，它是材料加工工程专业和材料数字化成形专业研究生的专业核心课程之一。它的前身为“精密塑性成形工艺及理论”、“液态金属精密成形理论及应用”、“先进材料连接技术”、“材料精确成形工艺及理论”。近十年来，这些课程为研究生选修课。

本课程的主要内容有材料的分类及其加工方法概述、液态金属精密成形理论及应用、金属材料塑性精确成形工艺及理论、先进连接技术理论及应用、复合化成形加工方法及技术基础、粉末材料及其成形技术。它将概述各种材料的分类及其成形加工方法的选择、先进材料成形技术在先进制造技术中的作用、21世纪材料成形加工技术的发展趋势，重点介绍了以精密成形、复合成形、材料制备与成形一体化、数字化成形等技术为代表的新一代材料成形技术的原理及应用。本课程作为“材料加工工程”及“材料数字化成形”专业的重要专业课程，将使研究生对材料加工的新技术与新理论有个全面的了解，引导研究生在大材料学科领域进行思考与分析，为从事材料加工工程及成形新技术的研究与开发奠定基础。

在实施的“机械大类”的本科生教学新型课程体系中，将“材料成形理论基础”、“材料成形工艺”、“材料成形装备及自动化”、“模具 CAD/CAM”列为“材料成形及控制工程”专业的四门核心课程，它们构成了“材料成形及控制工程”专业的特色和必需。但在研究生的培养中，我国还未见出版相应的“材料加工工程”及“材料数字化成形”专业的特色教材。因此，本教材的编写与出版，将填补我国“材料加工工程”及“材料数字化成形”专业研究生培养中专业教材建设的空白，为培养新型高级专业人才做出贡献。

近年来，随着科学技术的快速发展，新材料、材料成形加工新技术不断出现。由于材料的种类繁多，其加工成形方法各异，本书不可能涉及所有材料成形新技术、新方法、新理论。它将重点介绍液态金属精密成形中的消失模精密铸造技术与理论、精密砂型铸造技术及应用、压力铸造技术及应用、半固态技术与理论、反重力铸造技术、熔模精密铸造技术、特殊凝固技术、金属零件数字化快速铸造等，金属材料塑性精确成形中的超塑性及超塑成形、复杂零件精密模锻及复杂管件的精密成形、板料精密成形、模具数字化制造技术等，金属先进连接成形技术中的激光焊接、电子束焊接、摩擦焊接技术、扩散连接技术、微连接技术等，材料复合成形技术中的连铸连轧技术、高能束熔积快速成形与铣削复合精密制造金属零件、复合能量场成

形、新材料制备与成形一体化、汽车覆盖件模具的 CAD/CAE/CAM 及其并行工程等，粉末材料及其成形新技术，阐述材料加工中的共性与一体化技术。

全书共分 6 章，由华中科技大学的樊自田等五位教授编著，具体编写分工为：第 1 章、第 2 章、第 6 章，樊自田教授；第 3 章，王从军副教授；第 4 章，熊建钢副教授；第 5 章，王桂兰教授、张海鸥教授。全书由华中科技大学的魏华胜教授担任主审。

由于作者水平有限，加之涉及的内容繁多、时间较仓促，在内容的取舍、论述方面，难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

本书由华中科技大学研究生教育发展基金支持出版。

编 者

2006.5.12 于武汉

目 录

第 1 章 材料及其成形加工方法概述	1
1.1 材料的分类及其成形加工方法概述	2
1.1.1 材料的分类	2
1.1.2 材料的成形方法分类及概述	3
1.2 材料加工成形的作用、特点及精确成形技术	4
1.2.1 作用	4
1.2.2 特点	4
1.2.3 精确成形技术	5
1.3 材料成形加工方法的选择及不同加工方法的精度比较	5
1.3.1 主要成形加工方法比较	5
1.3.2 成形加工方法选用原则	5
1.3.3 典型零件毛坯的成形方法举例	5
1.4 从“夕阳工业”到“先进制造技术”	6
1.4.1 “先进制造技术”的缘起	6
1.4.2 先进制造技术的定义及发展趋势	7
1.4.3 新一代材料加工成形技术在先进制造技术中的地位	7
1.5 21 世纪材料成形加工技术的发展趋势	8
1.5.1 精密成形	8
1.5.2 材料制备与成形一体化	8
1.5.3 复合成形	8
1.5.4 数字化成形	8
1.5.5 材料成形自动化	9
1.5.6 绿色清洁生产	9
参考文献	9
第 2 章 液态金属精密成形技术与理论	10
2.1 液态金属成形的范畴及概述	10
2.1.1 砂型铸造	10
2.1.2 特种铸造	10
2.1.3 消失模铸造	12
2.2 消失模精密铸造技术	12
2.2.1 消失模铸造的工艺流程及特点	12
2.2.2 消失模铸造成形理论基础	13
2.2.3 消失模铸造的充型特征及界面作用	17
2.2.4 消失模铸造的关键技术	23
2.2.5 散砂的振动紧实原理	27
2.2.6 消失模铸造的工艺参数及其铸件的缺陷防治	31

2.2.7	典型消失模铸造车间布置举例	33
2.2.8	铝、镁合金消失模铸造新技术	35
2.3	高密度黏土砂紧实机理及其成形技术	42
2.3.1	静压造型	42
2.3.2	气冲造型	43
2.4	化学黏结剂砂型及 crowsworth process 新技术	45
2.4.1	自硬树脂砂型原理及应用	46
2.4.2	crowsworth process 新技术	48
2.5	半固态铸造成形原理与技术	53
2.5.1	半固态铸造成形的原理及特点	53
2.5.2	半固态金属铸造关键技术	57
2.5.3	半固态金属成形新技术	60
2.5.4	半固态铸造生产线及自动化	63
2.6	压力铸造技术	65
2.6.1	压力铸造技术的特点、原理与种类	65
2.6.2	冷室压力铸造概述	68
2.6.3	热室压力铸造概述	70
2.6.4	压力铸造技术的新发展	70
2.6.5	典型压铸零件举例	73
2.7	反重力铸造技术	74
2.7.1	低压铸造	74
2.7.2	差压铸造	75
2.7.3	反重力铸造技术的发展	76
2.8	熔模精密铸造	78
2.8.1	熔模精密铸造特点及工艺过程	78
2.8.2	模样材料及熔模的制造	80
2.8.3	壳型材料及壳型工艺	81
2.8.4	熔模铸造型芯	85
2.9	特殊凝固技术	87
2.9.1	快速凝固	87
2.9.2	定向凝固	90
2.9.3	其他特殊条件下的凝固	92
2.10	金属零件的数字化快速铸造	95
2.10.1	液态金属数字化成形过程工艺过程	95
2.10.2	液态金属数字化成形过程举例	95
2.10.3	产品快速试制	96
2.10.4	工业化生产	96
	参考文献	97

第3章 金属材料塑性精确成形工艺及理论 98

3.1	金属塑性成形种类与概述	98
3.1.1	金属塑性成形在国民经济中的地位	98

3.1.2	金属塑性成形方法的分类	98
3.1.3	金属塑性成形方法的现状	98
3.1.4	金属塑性成形方法的最新进展	98
3.1.5	金属塑性成形方法的发展方向	100
3.2	金属材料的超塑性及超塑成形	103
3.2.1	金属超塑性的定义	103
3.2.2	超塑性的历史及发展	103
3.2.3	超塑性的分类	104
3.2.4	典型的超塑性材料	105
3.2.5	超塑性的应用	106
3.3	复杂零件的精密模锻及复杂管件的精密成形	107
3.3.1	精密塑性体积成形	107
3.3.2	精密塑性体积成形的方法	108
3.4	板料精密成形	116
3.4.1	精冲技术的发展与应用	116
3.4.2	液压成形技术	120
3.4.3	金属板料数字化成形技术	122
3.5	模具数字化制造技术	130
3.5.1	模具的高速切削加工技术	130
3.5.2	基于逆向工程的模具 CAD/CAM/DNC 技术	133
	参考文献	136

第4章 先进连接技术理论及应用 137

4.1	激光焊接	138
4.1.1	激光的产生与激光束	138
4.1.2	激光加工设备	142
4.1.3	激光与材料的相互作用	147
4.1.4	激光焊接质量的实时监测与控制	171
4.2	电子束焊接	176
4.2.1	引言	176
4.2.2	电子束焊基本原理	177
4.2.3	电子束焊接的应用实例	180
4.3	摩擦焊接技术	182
4.3.1	摩擦焊接原理	182
4.3.2	摩擦焊接的特点	183
4.4	扩散连接技术	184
4.4.1	扩散连接原理及特点	184
4.4.2	扩散连接时材料间的相互作用	185
4.4.3	材料的扩散连接工艺	186
4.5	微连接技术	189
4.5.1	定义和分类	189
4.5.2	微电子器件内引线连接中的微连接技术	190

4.5.3	印刷电路板组装中的微连接技术	193
4.5.4	导电胶粘接	197
	参考文献	199
第5章	复合化成形加工方法及技术基础	200
5.1	材料成形加工技术的复合化	200
5.2	连铸连轧技术	200
5.2.1	定义及产生背景	200
5.2.2	技术优点与经济效益	202
5.2.3	典型的连铸连轧生产线组成	203
5.2.4	连铸连轧关键技术	206
5.2.5	连铸连轧技术的发展趋势	209
5.2.6	连铸连轧技术在我国的技术应用现状与前景	211
5.2.7	连铸连轧技术前沿	212
5.3	高能束熔积快速成形与铣削复合精密制造金属零件	212
5.3.1	快速金属零件复合精密制造技术的提出	212
5.3.2	快速金属零件复合精密制造的基本原理	213
5.3.3	关键技术问题	215
5.3.4	激光铣削复合快速精密制造金属零件实例	216
5.3.5	快速金属零件复合直接原型制造技术工艺特点及其应用前景	217
5.4	复合能量场成形	218
5.4.1	电磁连续铸造	218
5.4.2	等离子激光复合喷涂	220
5.5	新材料制备与成形一体化	222
5.5.1	激光快速成形技术制备功能梯度零件	223
5.5.2	喷射成形法制备金属基复合材料	229
5.6	汽车覆盖件模具的CAD/CAE/CAM及其并行工程	233
5.6.1	CAD/CAE/CAM技术在汽车覆盖件模具中的应用与发展	233
5.6.2	基于并行工程的模具设计及制造	236
	参考文献	239
第6章	粉末材料及其成形技术	241
6.1	金属粉末材料的制备	241
6.1.1	金属粉末制备概述	241
6.1.2	金属粉末的常用制备方法	241
6.2	普通粉末冶金技术原理及方法	248
6.2.1	粉末冶金工艺过程	248
6.2.2	粉末冶金成形的特点	248
6.2.3	粉末的主要成形方法	249
6.3	粉末材料及其成形新技术	251
6.3.1	等静压成形	252
6.3.2	粉末注射成形原理及应用	254
6.3.3	激光快速烧结成形	258

6.4 粉末成形料坯的烧结及气体保护	261
6.4.1 钟罩式烧结	262
6.4.2 网带传送式烧结炉	262
6.4.3 保护气体发生装置	262
参考文献	265

第 1 章 材料及其成形加工方法概述

材料 (materials) 通常是指可以用来制造有用的物品、构件、器件等的物质。材料是人类生存和发展的基础, 材料技术的发展是人类社会进步的基础。从石器时代到青铜器时代, 再到铁器时代, 人类社会每一次飞跃性的进步, 都与材料技术的发展密切相关。

材料技术还没有确切的定义, 它可理解为有关材料的制备、成形与加工、表征与评价、材料的使用和保护、经验和诀窍等。材料技术的种类很多, 主要包括制备技术 (如高分子材料合成、材料复合、粉体材料制备等), 成形与加工技术 (如液态成形、塑性加工、连接成形等), 改质改性技术 (如热处理、改性等), 防护技术 (如涂层和镀层处理等), 评价表征技术 (如力学性能试验、微观组织分析等), 模拟仿真技术 (如性能预报、过程仿真) 等。本课程主要介绍先进的材料成形与加工技术。

日本学者町田辉史等将材料技术进步概括为 5 次革命 (飞跃), 其基本特征如表 1-1。从表 1-1 中可以看出, 材料技术的进步带来了人类社会发展的飞跃。公元 1500 年前后的材料合金化技术 (第三次革命) 和 20 世纪初期的材料合成技术的出现与发展, 推动了近代和现代工业的快速发展, 为人类现代文明做出了巨大的贡献。

表 1-1 材料技术进步的 5 次革命 (飞跃) 及其特征

名称	开始时间	时代特征	技术发展契机	对技术和产业的促进和带动作用举例
第一次革命	公元前 4000 年 (中国: 公元前 2000 年)	从漫长的石器时代进入青铜器时代	1. 铜的熔炼; 2. 铸造技术	1. 自然资源加工技术; 2. 器具、工具的发达; 3. 农业和畜牧业的发展
第二次革命	公元前 1350~1400 年 (中国: 公元前 500~600 年)	从青铜器时代进入铁器时代	1. 铁的规模冶炼; 2. 锻造技术	1. 低熔点合金的钎焊; 2. 武器的发达; 3. 铸铁技术、大规模铸铁产品; 4. 混凝土等
第三次革命	公元 1500 年	从铁器时代进入合金化时代	1. 高炉技术的发展和成熟; 2. 纯金属的精炼与合金化	1. 钢结构 (军舰、铁桥); 2. 蒸汽机、内燃机、机床; 3. 电镀、电解铝; 4. 不锈钢、铜、铝等有色合金等
第四次革命	20 世纪初期	合成材料时代的到来	1. 酚醛树脂、尼龙等塑料合成技术; 2. 陶瓷材料合成制备技术	1. 结构材料轻质化; 2. 材料复合技术; 3. 航空航天技术迅速发展; 4. 陶瓷材料的发展与应用; 5. 人造金刚石; 6. 超导材料与技术; 7. 计算机技术和信息技术; 8. 新材料大量涌现和应用
第五次革命	20 世纪末期	新材料设计与制备加工工艺时代的开始	1. “资源-材料-制品”界限的弱化与消失; 2. 性能设计与工艺设计的一体化要求	1. 生物工程; 2. 环境工程; 3. 可持续发展; 4. 太空时代

1.1 材料的分类及其成形加工方法概述

1.1.1 材料的分类

材料的分类多种多样，主要分类方法有如下几种。

1.1.1.1 根据化学组成和显微结构特点分类

根据化学组成和显微结构特点，材料可分类为金属材料 (metal materials)、无机非金属材料 (inorganic non-metallic materials)、有机高分子材料 (polymeric materials) 三大类，而不同的金属材料、无机非金属材料 and 有机高分子材料，又可互相组成不同的复合材料 (composite materials or composites)，如图 1-1 所示。

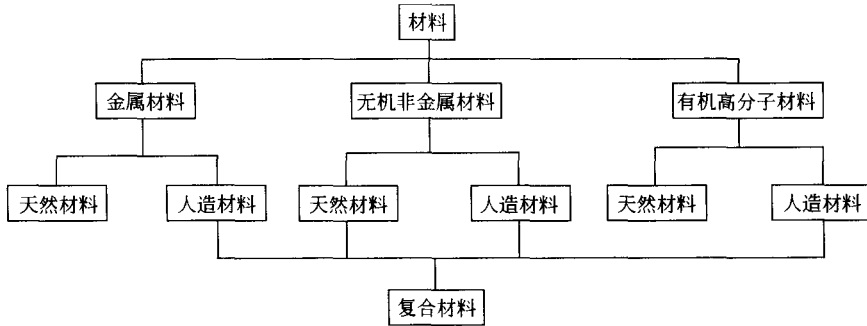


图 1-1 材料的分类

金属材料包括钢铁、铜合金、铝合金、镁合金等。有机高分子材料包括塑料、树脂、橡胶等。无机非金属材料几乎包括除金属材料、高分子材料以外的所有材料，主要有陶瓷，玻璃，胶凝材料（水泥、石灰和石膏等），混凝土，耐火材料，天然矿物材料等。

复合材料 (GB 3961) 是“由两个或两个以上独立的物理相，包括黏结材料（基体）和粒料、纤维或片状材料所组成的一种固体产物”。复合材料的组成为两大部分：基体与增强材料。其中，基体是构成复合材料连续相的单一材料（玻璃钢中的树脂），增强材料是复合材料中不构成连续相的材料（玻璃钢中的玻璃纤维）。

复合材料根据其基体材料的不同，又可分为聚合物基复合材料（如树脂基复合材料）、金属基复合材料、无机非金属基复合材料（如陶瓷基复合材料）三种。在复合材料中，以树脂基复合材料用量最大，占有复合材料用量的 90%；而在树脂基复合材料中，又以玻璃纤维增强塑料（“玻璃钢”）用量最大，占树脂基复合材料的 90%。

1.1.1.2 根据性能特征分类

根据性能特征的不同，材料可分类为结构材料 (structure materials)、功能材料 (function materials)。前者以力学性能为主要要求指标，用于制造以受力为主的构件；后者以物理、化学特性为主要要求，如导电性、耐热性、耐蚀性等，同时对力学性能也有一定的要求。

1.1.1.3 根据用途分类

根据用途的不同，材料可分类为建筑材料 (building materials)、航空材料 (aviation materials)、电子材料 (electronic materials)、半导体材料 (semiconductor materials)、能源材料 (energy materials)、生物材料 (biology materials) 等。它通常表示该类材料使用较多

的应用领域，定义不够严谨。

1.1.1.4 根据状态分类

根据状态的不同，材料还可分类为固体材料 (solid materials)、液体材料 (liquid materials)、粉末材料 (powder materials) 等。这种分类，在讨论材料的成形加工方法中经常采用。例如，金属材料的液态铸造成形、固态塑性成形、粉末冶金成形等。

1.1.2 材料的成形方法分类及概述

1.1.2.1 根据化学组成和显微结构特点分类

根据化学组成和显微结构特点，材料的成形方法可分类为如下几种。

(1) 金属材料的精确成形 它包括液态金属精确成形 (铸)、金属材料塑性精确成形 (锻)、金属材料的精确连接成形 (焊)。热处理是一种相变，以改变材料的组织性能，不属于“成形”。金属材料的成形方法分类如图 1-2 所示。

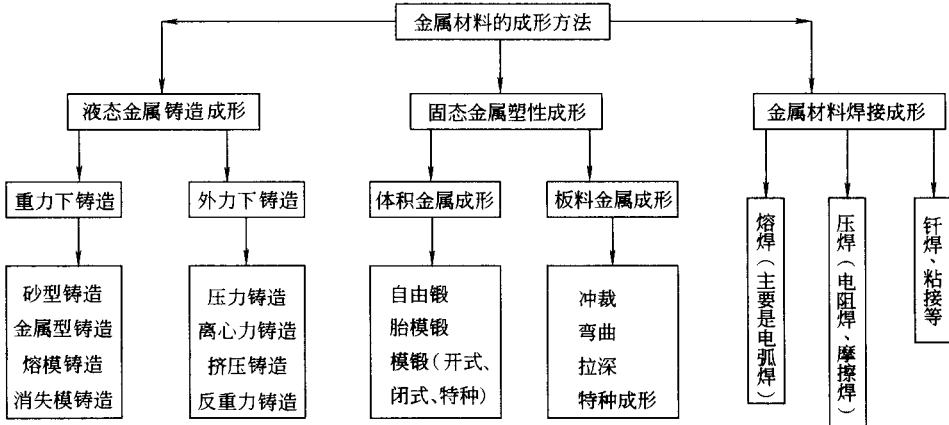


图 1-2 金属材料的精确成形

(2) 无机非金属材料的精确成形 它包括陶瓷精确成形 (塑性滚压成形法、注浆成形法、粉料压力成形法和特种成形法四种)、玻璃精确成形 (吹制法、拉制法、压制法和吹-压制法四种) 等。

(3) 高分子材料的精确成形 它包括液态高分子材料精确成形 (如环氧树脂的浇注成形等)，固态高分子材料精确成形 (如塑料的注射成形、挤出成形等)。高分子材料主要有塑料、橡胶，它们的成形方法可归纳如图 1-3 所示。

(4) 复合材料的成形 主要指树脂基复合材料精确成形 (如玻璃纤维增强塑料) 等。

1.1.2.2 根据材料被加工成形时所处的状态分类

根据材料被加工成形时所处的状态，材料的成形方法可分类为液体材料成形 (如液态金属成形的铸造、焊接)，固体 (板、块) 材料成形 (如固体金属塑性成形的锻压)，半固态成形 (如半固态金属的铸造或液态模锻成形等)，粉末材料成形 (如粉末材料的注射成形、喷射成形、粉末冶金成形等)。这在金属材料加工成形中是常用的分类方法。

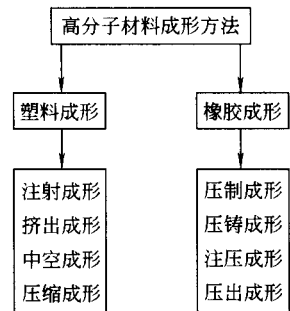


图 1-3 高分子材料成形方法

1.2 材料加工成形的作用、特点及精确成形技术

1.2.1 作用

材料加工成形技术 (materials processing technology) 通常是指铸造、连接、塑性加工、粉末冶金等单元或复合技术的总称 (热加工)。此外还有机械切削加工 (冷加工), 但机械加工通常也是上述材料加工成形的下一步工序 (精加工)。

几乎所有的材料都要进行加工后才能使用, 不经加工的材料直接利用很少。在汽车、农用机械、工程机械、动力机械、起重机械、石油化工机械、桥梁、冶金、机床、航空航天、兵器、仪器仪表、轻工家电等制造业中, 材料成形加工技术起着极为重要的作用, 它是这些行业中的铸件、锻件、钣金件、焊接件、塑料件和橡胶件等生产的主要加工成形技术与方法。

采用铸造方法可以生产各种类型和大小金属零件。铸件的比例在机床、内燃机、重型机械中占 70%~90%, 在风机、压缩机中占 60%~80%, 在农业机械中占 40%~70%, 在汽车中占 20%~30%。综合起来, 铸件在一般机器生产中占总质量的 40%~80%。

采用塑性成形方法, 可以生产钢锻件、钢板冲压件、各类有色金属的锻件和板冲压件, 还可生产塑料件与橡胶制品。各类塑性加工零件的比例, 在汽车与摩托车行业中占 70%~80%, 在农业机械中约占 50%, 在航空航天飞行器中占 50%~60%, 在仪表和家用电器中约占 90%, 在工程与动力机械中占 20%~40%。

焊接成形技术的应用也极为广泛, 在钢铁、汽车和铁路车辆、船舶、航空航天飞行器、原子能反应堆及电站、石油化工设备、机床和工程机械、电子电器产品及家电等众多现代工业产品与桥梁、高层建筑、城市高架路或地铁、油和气远距离输送管道、高能粒子加速器等许多重大工程中, 焊接或连接成形技术都占有十分重要的地位。

材料加工成形也是制造技术的一个重要领域, 金属材料有 70% 以上需要经过铸、锻、焊成形加工才能获得所需零件, 非金属材料也主要依靠成形才能加工成半成品或最终产品。一辆汽车有 80%~90% 的零件为各种成形加工方法所生产, 例如, 发动机的缸体、缸盖用

铸造方法生产, 曲轴、连杆采用模锻工艺生产, 车门、顶棚采用冲压和焊接联合生产, 方向盘、灯罩为注塑件, 轮胎为橡胶压制件。

材料的成分与结构、材料的性质、材料的制备与加工、材料的使用性能, 被认为是现代材料科学与工程四个基本要素, 它们之间的相互关系如图 1-4 所示。从图 1-4 中可以看出, 材料的制备与加工对其他三要素都有直接的影响。先进的材料制备与加工技术, 既对新材料的研究开发与实际应用具有决定性的作用, 也可有效地改进和提高传统材料的使用性能, 对传统材料的更新改造具有重要作用。

关于材料的制备与加工技术的研究和开发, 也是目前材料科学技术中最活跃的领域之一。

1.2.2 特点

与机械切削加工比较, 材料成形加工有如下特点。

- ① 通常, 材料在热态下通过模具或模型而成形。

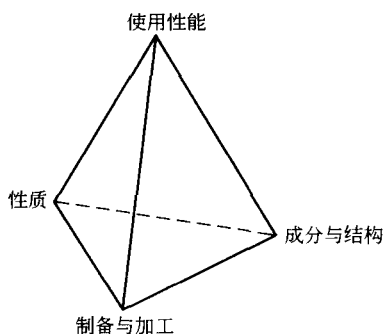


图 1-4 材料科学与工程四个基本要素

② 材料利用率高。以生产锥齿轮为例，切削加工的材料利用率约为 41%，采用铸造、锻造成形的材料利用率约为 68%，采用精铸或精锻的材料利用率约为 83%，材料利用率分别提高了 27% 和 42%。通常零件越复杂，采用成形加工的材料利用率越高。

③ 劳动生产率高。可实现机械化、自动化生产。

④ 产品尺寸规格的一致性较好。

⑤ 产品性能好。由成形产生的金属纤维具有连续性，其强度和疲劳寿命提高，而切削加工会破坏金属纤维的连续性，降低强度和疲劳寿命约 20%。

⑥ 但通常成形加工零件的尺寸精度较切削加工低，表面粗糙度较切削加工高。

1.2.3 精确成形技术

精确成形技术是相对于原来的成形毛坯的概念而提出的。精确成形是指被形成的零件无需进行精加工而直接使用，“精确成形 (net shape process)” 有时又称为“近净成形 (near net shape process)” 或近精确成形。意思是目前完全不需精加工还很难达到，只能是接近达到。材料加工中精确成形技术的目标是实现少机械切削加工或无机械切削加工。因此，精确成形技术是材料加工（热加工与冷加工）的基础和发展的趋势。在国民经济发展中具有重要作用。

目前，精确成形包括塑料注射成形，压力铸造成形、精密熔模铸造、低压铸造、高紧实度砂型铸造，精密锻造，精密冲压，粉末冶金，精密连接等。

1.3 材料成形加工方法的选择及不同加工方法的精度比较

材料的成形加工方法很多，主要方法有铸造，压力加工（锻造、冲压），焊接，注塑，粉末冶金、挤压等。其选用的基本原则是“技术上可行、经济上合理”，具体为“形状精、性能好、用料少、能耗低、工装简、无公害”。

1.3.1 主要成形加工方法比较

各主要成形加工方法的比较见表 1-2。

1.3.2 成形加工方法选用原则

零件毛坯或成品的成形方法，应根据零件的使用性能要求、生产批量、生产条件和经济合理性来选择。选择原则归纳如下。

① 零件的使用性能要求：包括力学性能、物理性能、化学性能；如锻件的力学性能更高。

② 材料的成形性：铸造性、塑性成形性、焊接性等；如低碳钢的塑性加工和焊接性较好。

③ 性能价格比：应选择“性价比”高的成形方法。

④ 生产条件：应尽量根据本企业的生产和设备条件，选择成形加工方法。

⑤ 生产批量：生产批量常常是毛坯成形工艺方案选择的主要依据，如模锻的批量大、自由锻批量小。

⑥ 经济合理性：不同的成形工艺方案，需要不同的装备、模具、生产条件等，各种方法均要进行技术经济分析，做到技术上先进、经济上合理。

1.3.3 典型零件毛坯的成形方法举例

机械零件按形状和用途不同，可分为饼盘类、轴杆类、机箱机架机座类、薄板类。

① 饼盘类：常用铸造、锻造成形，复杂的、力学性能要求低的用铸造成形，反之，常用锻造成形。

表 1-2 主要成形加工方法的比较

序号	比较内容	铸 造	塑性压力加工 (锻造、冲压)	焊 接	注 塑
1	材料及其成形特点	液态金属成形	固态金属塑性成形	金属焊接成形	塑料注射成形
2	对原材料性能的要求	液态下的流动性好、凝固时的收缩率低	塑性好、变形抗力小	强度高、塑性好、液态下的化学稳定性好	塑料加热、加压时可塑性好
3	制品的材料种类	铸铁、铸钢、各类有色金属	中低碳钢、合金钢、有色金属薄板	低碳钢、低合金结构钢	热塑性塑料、热固性塑料
4	制品的组织特征	晶粒较粗、有疏松,杂质排列无方向性	晶粒细小、致密,杂质呈方向性排列	焊缝区为铸造组织,熔合、过热区晶粒较粗	对热塑性塑料产品,分子结构呈链状或树枝状;对热固性塑料产品,分子结构呈网状
5	制品的力学性能特征	铸铁件的力学性能较差,但减振、耐磨性好;铸钢件的力学性能好	力学性能优于相同成分的铸钢件	焊缝的力学性能可达到或接近母材金属	塑料件的力学性能较钢铁件的力学性能差
6	零件的结构特征	形状不受限制,可相当复杂	形状较铸件简单,冲压件的结构轻巧	尺寸、形状不受限制,结构轻便	结构轻巧,形状可相当复杂
7	材料利用率	高	低,但冲压件较高	较高	高
8	生产周期	长	长,但自由锻短	短	较短
9	生产成本	较低	较高,冲压件的批量越大,其成本越低	较高	低
10	主要适用范围	铸铁件用于受力不大及承压为主,或要求有减振、耐磨性能的零件;铸钢件用于承受重载且形状复杂的零件;有色金属铸件用于受力不大、要求质量轻的零件	锻件用于承受重载及动载的重要零件;冲压件用于以薄板成形的各种零件	主要用于制造各种金属构件(尤其是框架结构件),部分用于制造零件的毛坯及修复废旧零件	日用塑料制品、家用电器零件,轿车、飞行器零件,建筑装饰材料,包装与防护材料等

② 轴杆类：常用锻造、铸造成形，轴类多采用锻造成形，曲轴可采用球墨铸铁铸造成形。

③ 机箱机架机座类：常用铸造、焊接成形，机箱（齿轮箱）机座（电机座、机床座）常用铸造成形，机架可用焊接成形。

④ 薄板类：主要是板料冲压件和注射塑料件，复杂、大型薄板零件还可以采用焊接拼装而成。

1.4 从“夕阳工业”到“先进制造技术”

1.4.1 “先进制造技术”的缘起

人类发展到 20 世纪中叶以来，科学技术突飞猛进。以现代计算机技术、先进材料（高分子材料、陶瓷材料、复合材料）成形技术等为代表的高新技术出现后，传统的金属材料加

工业（如钢铁工业等）或制造业遇到了极大的竞争和挑战，似乎穷途末路。那么，先进材料是否一定能取代传统的金属材料，而古老的制造业是否与高科技“绝缘”，传统的金属材料加工成形工业是否已是“夕阳工业”？不少以金属材料为主要对象的传统制造业的从业人员、管理者及相关的科技工作者，都想尽快寻找“传统制造业在高科技飞速发展的浪潮中何去何从？”问题的答案。可以从美国汽车工业的兴衰中得到一些启示。

20世纪70~80年代，美国由于片面地强调发展第三产业的重要性，而忽视制造业对国民经济健康发展的保障作用，逐步丧失了其制造业世界霸主的地位，美国汽车在国际市场上的竞争力日渐下降，日本、民主德国汽车工业快速崛起，引起了美国政府的震惊。为什么科技高度发达的美国却在汽车市场上缺乏竞争力呢？为此，克林顿政府组织以MIT为主的科学家们对美国近年来的科技成果进行评价，并对美国汽车工业竞争力下降的原因进行调查，由此提出了一系列先进制造技术（advanced manufacturing）的发展战略，以提高制造业的技术水准和产品的竞争能力。这些先进制造技术包括精节生产（lean production）、并行程（concurrent engineering）、敏捷制造（agile manufacturing）、动态合智联盟（virtual organization）等。1994年美国投资14亿美元研发先进制造技术，将发明创造和高技术应用与传统的制造技术中，提高制造技术的知识含量和产品的竞争力。

1.4.2 先进制造技术的定义及发展趋势

先进制造技术通常是指制造业不断地吸收机械、电子、信息、材料、能源及现代管理等方面的成果，将其综合应用于制造业的全过程，实现优质、高效、低耗、清洁、灵活的生产，取得理想经济效果的制造技术的总称。概括地说，先进制造技术是现代高新技术与传统制造业相结合的一个系统工程。

除高科技作用外，制造技术还受市场需求的驱动。因此，先进制造技术是在科技发展和市场需求两个车轮的带动下逐渐形成和发展的。在市场需求不断变化的驱动下，制造业的生产规模沿着“小批量-少品种大批量-多品种变批量”的方向发展；在科技高速发展的推动下，制造业的资源配置沿着“劳动密集-设备密集-信息密集-知识密集”的方向发展。与之相适应，制造技术的生产方式沿着“手工-机械化-单机自动化-刚性流水自动化-柔性自动化-智能自动化”的方向发展。

近年来，先进制造技术的发展趋势可归纳为如下5个方面：

- ① 常规制造技术的优化；
- ② 新型（非常规）加工方法的发展；
- ③ 专业学科间的建设逐渐淡化、消失；
- ④ 工艺设计由经验走向定量分析；
- ⑤ 信息技术、管理技术与工艺技术紧密结合。

1.4.3 新一代材料加工成形技术在先进制造技术中的地位

先进的材料成形加工技术是先进制造技术的重要组成部分，它对国民经济的发展起着十分重要的作用。据统计，世界约75%的钢材需要经过塑性加工，45%的钢材需要焊接成形。汽车工业是许多国家的支柱工业。据德国统计，2000年汽车质量的65%由钢材（约45%）、铝合金（约13%）、铸铁（约7%）通过冲压、焊接、铸造成形。据日本统计，铸造铝合金年产量的约75%、铸铁年产量的约50%全部用于汽车制造及相关工业。这些数据表明，汽车工业的发展与材料加工成形技术的发展密切相关。因此，新一代材料加工成形技术是机械制造业的基础，在先进制造技术中具有重要的地位。