



普通高等教育“十五”国家级规划教材

特种成型与连接技术

Technology of Special Processing and Connecting

董祥忠 主编



化学工业出版社
教材出版中心

普通高等教育“十五”国家级规划教材

特种成型与连接技术

Technology of Special Processing and Connecting

董祥忠 主编



化学工业出版社
教材出版中心

· 北京 ·

本书内容分为特种成型技术中的材料、计算机在特种成型中的连接主导作用两个部分。第一部分主要介绍：特种成型模具制造及材料科学技术的发展，金属材料、高分子聚合物材料及浇铸成型用的高分子液态光敏预聚物、无机非金属材料、口腔蜡型印模材料及黏合材料、新型纳米材料的性能；第二部分主要介绍：计算机在现代绿色产品创新与开发中的设计、制造，产品虚拟与并行工程，计算机工程（CAE）分析、优化处理中的连接主导作用；CAM与快速原（成）型（RP）技术在新产品开发工程中的应用。

本书图文并茂，注重理论与实践的结合，使学生能正确选择材料，根据材料特性充分利用计算机及软件 and 现代先进制造的快速模具（RT）技术，开发“经济快速模具制造”的新方法，力求生产新异绝佳的绿色产品。

该书可作为材料科学与工程、塑料成型模具、现代金属铸造成型和金属板材冲压成形的本科生教学用书，还可作为医学中的口腔和修复重建外科、法医、刑侦、考古和艺术、生物工程、高分子材料、无机非金属材料、金属材料、材料物理、材料化学、冶金工程、工业设计、机械制造、过程装备与控制、计算机设计及工业自动化等专业的本科生及研究生的教学参考用书；同时，也为企业的工程技术人员提供了一本较为完整的工程产品创新与开发、虚拟设计与制造并行的专业技术性读物。

图书在版编目（CIP）数据

特种成型与连接技术/董祥忠主编. —北京：化学工业出版社，2006.3

普通高等教育“十五”国家级规划教材

ISBN 7-5025-6555-8

I. 特… II. 董… III. 工程材料-加工工艺-高等学校-教材 IV. TB30

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2006）第 024125 号

普通高等教育“十五”国家级规划教材

特种成型与连接技术

Technology of Special Processing and Connecting

董祥忠 主编

责任编辑：何曙霓 杨 菁 彭喜英

文字编辑：颜克俭

责任校对：王素芹

封面设计：潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

（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刷

三河市前程装订厂装订

开本 787mm×960mm 1/16 印张 37½ 字数 840 千字

2006 年 5 月第 1 版 2006 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6555-8

定 价：58.00 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

编写人员名单

主 编	董祥忠		
副主编	史玉升	曾光廷	
参 编	李德群	董湘怀	刘瑞祥
	沈其文	任伯林	李涤尘
	秦德福	何成生	王 涛
	刘 洁	董 毅	宋大余
	沈洪雷	黄 先	许智钦
	马建华	何 贵	施其乐

序

数千年来人类一直在不断地了解、开发和利用自然，在不断的探索中进行自我更新并改造自然。科学技术的进步史，是一部人类社会为满足生存需要而进行的奋斗史和创造史。人类的发展，充分证明了马克思主义的辩证唯物论，进一步体现了邓小平关于“科学技术是第一生产力”的英明论断。现代科学技术的飞跃式发展，加速了人类社会物质文明和精神文明的更替上升和跨越式发展。

21 世纪是科学技术正处在多学科交叉、迅速发展并广泛应用的时代。新型材料、计算机图像与信息处理以及软件开发、临床生命仿真技术、能源激光科学、自动化控制管理科学以及现代先进制造技术等相互交融、协同互补，使人类的发展空间不断向太空、海洋以及地球的内部拓展。产品和技术的开发创新不断得到提高，生产要求高效率，产品要求近净成型，新型能源技术必须得到安全利用并不断升级变革等。因此，21 世纪将是人类自然科学技术发生重大变革、取得突破性进展的伟大时代。

在此背景下，为了培养造就一支具有创新精神和技术创新能力的高素质人才队伍，本书主编组织编写了《特种成型与连接技术》一书。该书被列为教育部《普通高等教育“十五”国家级规划教材》，参加编写的人员包括了四川大学、上海交通大学、华中科技大学、西安交通大学、湖北汽车工业学院、常州工学院等有丰富教学经验的教授及中、青年学者。《特种成型与连接技术》教材将为材料学专业、工程产品造型设计专业、模具设计专业、机械制造专业、临床医学中的仿真学科、考古学科、艺术和刑侦专业等本科生与研究生的培养奠定一定的理论基础。

本书作者董祥忠、李德群、史玉升、曾光廷、董湘怀、刘瑞祥、沈其文、李涤尘、任伯林、秦德福、何成生、王涛、刘洁等教师集数十年教书育人之经验，对金属材料、无机非金属材料、固态和液态的高分子材料加工进行了深入的研究，特别是结合现代加工制造中“快速原（成）型（RP）技术”，将上述多学科先进制造技术融会贯通，编写了一本各学科互为渗透、相关技术集成较为完整的工程类专业教科书。

该书汇集了主编及作者们 30 余年在材料成型教学领域中的精华，是一本图文并茂，章节独立，内容深入浅出，集技术知识、趣味性与可读性于一体的创新教材。

本书可供不同专业的本科生和研究生有选择地学习。同时也为各企事业单位中从事新产品开发、研究和创新的工程技术人员，提供了一本非常实用的参考书。

中国工程院院士、四川大学教授：

涂铭旌

2005 年 4 月 15 日

前 言

《特种成型与连接技术》是教育部《普通高等教育“十五”国家级规划教材》。根据当前社会经济建设和科学技术发展及人才培养的需求,并结合材料、工程产品、模具和机械制造等专业的本科生与研究生的培养,由四川大学牵头并组织了四川大学、上海交通大学、华中科技大学、西安交通大学、湖北汽车工业学院和常州工学院等有丰富教学经验的教授及中、青年学者参加了本书的撰写工作。

本书主要介绍金属材料、无机非金属材料、固体和液态的高分子聚合物制备及其材料共混改性与特种快速原(成)型(RP)技术的最新方法;计算机在现代绿色产品创新与开发中的设计与应用;计算机在产品虚拟和现实中的管理与并行工程以及在CAD/CAE/CAM工程优化分析、动态模拟过程中的处理与连接主导作用。

编写该书的目的是加强学生对专业基础知识的掌握,拓宽材料成型工程专业本科生和研究生的知识面,使学生对金属材料、无机非金属材料、固体和液态的高分子复合材料与现代先进的快速原型制造新技术和新工艺连接起来,并使其在工业产品设计、临床医学仿真、口腔修复、刑侦考古、艺术品的加工和模具制造等领域中对特种成型和先进制造技术有所了解。在增强对本科生与研究生的创新思维和创新能力的培养中,能更好地扩大计算机在现代绿色产品的开发创新、模具设计与制造领域中的产品优化分析、技术处理和科学管理。为我国在新世纪中培养出更多的、创业所需的“特种成型与连接技术”方面的创新型人才。

此外,为帮助在校学生和企业的读者加深理解,我们还在各章的后面附有练习思考题及主要参考文献,可供广大读者认真学习、充分讨论,使理论学习与生产实际更好地结合起来。

参与本书编写的有:李德群教授、史玉升教授、曾光廷教授、刘瑞祥教授、董湘怀教授、沈其文教授、李涤尘教授、任伯林副教授、秦德福和何成生高级工程师、王涛和刘洁讲师。宋大余博士、董毅、沈洪雷、黄先、许智钦、马建华、何贵和施其乐等研究生也参与了本书的编写工作;另外,还有杨文刚、潘端樟、夏昌茂、张磊磊、冷百川、舒娜等同学对本书绘图工作给予了大力支持和帮助。此外,孙长库和刘亚雄等及其他同志的论文(或网页)也被收编入本书的(8.5)和(10.8)章节中,在此一并致谢!

本书各章节分工合作如下:董祥忠 1、3、5.3、5.4、8.1~8.3、8.5、9.1、9.2、9.5、10.1~10.4、10.8;李德群 9.1、9.2;史玉升 10.4~10.7;曾光廷 1.3、2.1~2.4、5.1、5.2、7;刘瑞祥 9.3;董湘怀 9.4;沈其文 8.4;李涤尘 10.8.4;任伯林 8.3、8.4;秦德福 4.1、4.3~4.8;何成生 4.2;刘洁 10.2、10.6;王涛 9.5;董毅 6.1~6.3、8.5;宋大余 2.5;沈洪雷 9.2;黄先 8.1、8.2;何贵 10.8;马建华 3;施其乐 8.5。

本书之所以能够成书出版与发行,要特别感谢华中科技大学“塑性成型模拟模具技术国

家重点实验室的快速成型技术研究室”及“科技部快速原型制造技术生产力促进中心（湖北）”的莫健华教授和黄树槐教授（校长），是他们为主编提供了深入了解和领会“快速原型制造（RPM）技术”访问学习的机会；也使本书能有众多教授、学者的积极参与和撰写提供了极大的帮助。

该书从国家教育部“十五”规划批准之日起，到资料收集、书稿撰写至终审结束，前后历经三年的时间，凡参与本书编写的作者都以高度的热情关心该书的出版发行，直至终审结束前都还在将最新资料编入本书中，且参与该书的老教师均在教育战线工作二三十年，他（她）们有丰富的教育经验，并将毕生的精华倾注于全书之中。因此，它能够反映该书名所具有的特色。此外，由于书稿的初稿撰写汇总长达 120 万字，不便装订一册，故将有关特种成型与制模技术的内容更名为《特种成型与制模技术》，即将在 2007 年初出版，希望能得到广大读者的喜爱和阅读。

当然，由于编者水平的限制，对书中不妥之处，诚恳希望使用本书的读者或同行批评指正。

四川大学高分子科学与工程学院 董祥忠

E-mail: scdxzxz@163.com

2006 年 1 月

目 录

第一部分 特种成型技术中的材料

第1章 概论	1	特点	31
1.1 特种成型技术的发展	2	2.5.2 快速激光烧结合金粉末材料	32
1.1.1 特种成型加工概念的扩展与 范畴	3	2.5.3 快速激光合金粉末材料的 应用	33
1.1.2 先进制造技术的特点与发展	6	练习思考题	34
1.1.3 非机械超精密加工技术	7	参考文献	34
1.2 特种成型模具技术与材料的发展	7	第3章 高分子聚合物	35
1.2.1 快速经济模具材料及其制造 技术	8	3.1 高分子聚合物材料	35
1.2.2 快速经济特种成型模具的 优点	8	3.1.1 高分子聚合物的基本概念	35
1.3 特种成型技术材料的分类	9	3.1.2 高分子聚合物材料的分类	36
1.3.1 特种成型用金属材料	10	3.1.3 高分子聚合物的分子结构	37
1.3.2 特种成型用高分子材料	11	3.2 通用塑料	38
1.3.3 特种成型用无机非金属材料	14	3.2.1 聚乙烯	38
1.3.4 特种快速原型制造材料	14	3.2.2 聚丙烯	41
练习思考题	16	3.2.3 聚苯乙烯	43
参考文献	16	3.2.4 聚氯乙烯	46
第2章 金属材料	17	3.3 工程塑料	47
2.1 国内外常用钢材的牌号和分类	17	3.3.1 聚碳酸酯	48
2.2 碳素钢与合金钢的分类	19	3.3.2 ABS	50
2.2.1 碳素钢	19	3.3.3 聚酰胺	52
2.2.2 合金钢	20	3.3.4 聚酯	57
2.3 有色金属及其合金材料	22	3.3.5 聚四氟乙烯	59
2.3.1 常用的有色金属合金材料	22	3.3.6 超高分子量聚乙烯	62
2.3.2 齿科熔模精密铸造贵金属	25	3.3.7 聚甲醛	64
2.4 新型金属材料	26	3.3.8 聚苯醚	68
2.4.1 超塑性合金材料	26	3.4 特种工程塑料合金	71
2.4.2 超导材料	28	3.4.1 特种工程塑料的分类与制备	71
2.4.3 形状记忆合金	30	3.4.2 共混改性特种工程塑料合金	72
2.5 激光烧结合金粉末材料	31	3.4.3 特种工程塑料共混中的问题	73
2.5.1 快速原型激光选择烧结材料的		3.4.4 特种工程塑料合金共混的相容性 鉴定	75
		3.4.5 特种工程塑料合金共混的形态	

因素	78	性能	175
3.5 新型高分子材料	81	4.5.5 低分子量液态环氧树脂固化成型机理	177
3.5.1 高性能的工程塑料材料	81	4.6 液态光敏聚合物材料种类	182
3.5.2 功能高分子材料	82	4.6.1 甲基丙烯酸环氧酯光敏树脂	183
3.5.3 导电高分子材料	84	4.6.2 甲基丙烯酸环氧酯的制备	183
3.5.4 生物医用高分子材料	86	4.6.3 甲基丙烯酸环氧酯光敏树脂的UV固化	187
3.5.5 环境友好高分子材料	90	4.6.4 甲基丙烯酸环氧酯光敏树脂的应用及改进	189
练习思考题	93	4.7 不饱和聚酯树脂的制备	193
参考文献	94	4.7.1 不饱和聚酯树脂常用原辅料	195
第4章 浇注聚合高分子液态材料	95	4.7.2 不饱和聚酯树脂的制备	197
4.1 硅橡胶	95	4.7.3 手糊接触成型工艺	207
4.1.1 硅橡胶的性能与分类	95	4.7.4 影响UPR性能及制品固化的因素	211
4.1.2 硅生胶的制备	98	4.8 乙烯基醚光敏树脂	215
4.1.3 硅橡胶胶料的制备	101	4.8.1 乙烯基醚的制备	216
4.1.4 硅橡胶的硫化成型	107	4.8.2 乙烯基醚光敏涂料组成的特性及应用	219
4.2 聚氨酯材料	114	练习思考题	221
4.2.1 PU泡沫与弹性体材料的制备	114	参考文献	222
4.2.2 聚氨酯发泡的理论计算及影响因素	123	第5章 无机非金属材料	224
4.2.3 热塑性弹性体材料的制造方法	127	5.1 陶瓷材料	224
4.2.4 聚氨酯弹性泡沫材料的综合性能	133	5.1.1 陶瓷材料的基本相	225
4.3 MC尼龙的制备	140	5.1.2 陶瓷材料的机械物化特性	227
4.3.1 MC尼龙的制备	141	5.1.3 陶瓷材料分类及其应用	227
4.3.2 MC尼龙质量问题及解决方法	145	5.1.4 陶瓷坯体成型工艺过程	228
4.3.3 MC尼龙安全生产与市场前景	151	5.2 玻璃材料	230
4.4 有机玻璃的制备	152	5.2.1 玻璃的基本特性	231
4.4.1 有机玻璃的制备	153	5.2.2 玻璃熔制生产工艺过程	231
4.4.2 有机玻璃改性与二次加工	159	5.3 石膏模型材料	233
4.5 液态环氧树脂的制备	161	5.3.1 天然石膏存在形式及特性	233
4.5.1 环氧树脂的分类与制备	161	5.3.2 人工合成石膏的生产工艺	234
4.5.2 环氧树脂的改性研究	168	5.3.3 石膏模型凝结机理	235
4.5.3 低分子量液态环氧树脂的制备	170	5.4 石墨材料	237
4.5.4 液态环氧树脂质量及固化物		5.4.1 天然石墨矿石形状及特性	238
		5.4.2 人工合成石墨的生产工艺	239
		5.4.3 石墨材料应用的领域	251

练习思考题	252
参考文献	253
第 6 章 口腔蜡型印模及黏合材料	254
6.1 口腔蜡型材料	254
6.1.1 蜡型材料的分类与特性	254
6.1.2 基托蜡	255
6.1.3 铸造蜡	256
6.1.4 其他蜡型材料	256
6.2 印模材料	257
6.2.1 印模材料的分类与性能	257
6.2.2 口腔弹性印模材料	258
6.2.3 口腔非弹性印模材料	263
6.2.4 弹性橡胶印模材料	265
6.3 口腔模型石膏材料	268
6.3.1 熟石膏	269
6.3.2 人造石膏	270
6.3.3 超硬石膏	270
练习思考题	271
参考文献	271

第 7 章 新型纳米材料	272
7.1 纳米材料	272
7.1.1 纳米材料的性能	273
7.1.2 纳米材料的物理法制备	274
7.1.3 纳米材料的化学法制备	275
7.2 纳米材料的应用	276
7.2.1 纳米器件的制造技术	276
7.2.2 纳米在电子信息领域的应用	276
7.2.3 纳米在生物和医学上的应用	277
7.2.4 纳米在其他行业中的应用	278
7.3 纳米复合材料	278
7.3.1 纳米复合材料定义与结构的 分类	278
7.3.2 纳米复合材料的性能与特点	279
7.3.3 纳米复合材料制备及应用 领域	279
练习思考题	280
参考文献	280

第二部分 计算机在特种成型中的连接主导作用

第 8 章 CAD 在绿色产品创新开发中 的应用	281
8.1 绿色产品创新与开发	281
8.1.1 绿色产品创新的概念	281
8.1.2 绿色产品创新与发展前景	287
8.1.3 绿色产品创新的技术支持	289
8.1.4 现代绿色产品开发方式	291
8.2 计算机在绿色产品开发中的作用	292
8.2.1 产品数据管理与并行工程	293
8.2.2 虚拟绿色产品开发与数据 处理	295
8.2.3 虚拟制造环境与现实生产 技术	299
8.3 CAD 在制模工程中的应用	305
8.3.1 塑料模具结构设计概述	305
8.3.2 塑料标准模架的选择及编码	308
8.3.3 成型零部件结构设计及数据	

处理	311
8.3.4 标准模架参数化图形库的 应用	322
8.4 CAD 技术在产品造型领域的应用	324
8.4.1 CAD 在产品造型领域中的 发展趋势	324
8.4.2 三维 CAD 产品建模与图形 输入	326
8.4.3 二维与三维产品图形的转换	333
8.4.4 三维 CAD 注塑模型设计与 应用	334
8.4.5 三维 CAD 锻造模型设计与 应用	336
8.4.6 三维 CAD 冲压模型设计与 应用	338
8.4.7 三维 CAD 级进模型设计与 应用	340
8.4.8 三维 CAD 铸造模型设计与	

特种成形	341	步骤	478
8.5 逆向工程数据采集 3D 建模技术	347	9.4.3 冲压成形模拟软件应用实例	480
8.5.1 逆向工程技术国内外发展 状况	347	9.5 CAE 软件在级进模具工程中的 应用	482
8.5.2 逆向工程系统常用软件及 特点	350	9.5.1 级进模具 CAE 软件的优化 分析	483
8.5.3 逆向工程中的数据采集与 3D 建模	353	9.5.2 级进模具结构的整体优化	486
8.5.4 三维激光彩色扫描测量技术的 应用	360	练习思考题	488
8.5.5 现代医学影像三维模型仿真的 诊断	365	参考文献	489
练习思考题	393	第 10 章 CAM 与快速成型技术在 产品工程中的应用	491
参考文献	395	10.1 注塑成型模具 CAM 与 RPM 技术	491
第 9 章 CAE 在绿色产品开发中的 连接主导作用	397	10.1.1 注塑模具 CAM 与 RPM 技术	491
9.1 CAE 软件的主导作用	397	10.1.2 注塑制品的成型工艺过程	492
9.1.1 CAE 软件系统的工作原理	399	10.1.3 注塑模具 CAD/CAE/CAM 的 RPM 工程	495
9.1.2 熔体动态充模的软件	402	10.2 快速原型技术在产品工程中的 作用	499
9.2 CAE 软件在注塑模具工程中的 应用	407	10.2.1 快速原型技术的发展沿革与 特点	499
9.2.1 注塑模 CAE 软件的设计	408	10.2.2 快速原型技术的典型工艺	505
9.2.2 熔体充模成型工艺参数的 输入	419	10.2.3 快速原型技术的新发展	510
9.2.3 熔体充模流动 CAE 的优化 分析	430	10.3 快速成型在产品开发工程中的 应用	512
9.2.4 熔体充模流动 CAE 优化结果 处理	434	10.3.1 RPM 技术的功能及作用	513
9.2.5 CAE 充模与 Ansys 受力软件 应用	437	10.3.2 快速成型在临床及其他领域的 应用	514
9.3 CAE 软件在铸造模具工程中的 应用	457	10.3.3 快速成型的发展趋势	518
9.3.1 铸造模 CAE 软件的设计	458	10.4 快速成型的机械设备及软件	518
9.3.2 铸造模 CAE 软件结构与分析 步骤	465	10.4.1 几种典型快速成型设备及 产品	519
9.3.3 铸造模 CAE 软件的分析实例	470	10.4.2 快速成型设备硬件及软件 实例	526
9.4 CAE 软件在冲压模具工程中的 应用	474	10.5 激光烧结原型理论模型	531
9.4.1 冲压模 CAE 软件的设计	475	10.5.1 理论模型	531
9.4.2 冲压模成型 CAE 软件的分析		10.5.2 粉末烧结的基本理论	534
		10.5.3 黏性复合材料的烧结特性	537
		10.5.4 高分子材料的激光烧结原理	539

10.6	激光烧结成型产品的工艺	541	10.8.1	龙雕豪华产品原创与 CAE 优化	560
10.6.1	激光烧结成型材料选择	542	10.8.2	轿车保险杠 CAE 优化与模具 设计	569
10.6.2	材料的 SLS 工艺流程及条件 ...	544	10.8.3	RPM 技术在注塑模中的典型 应用	572
10.6.3	SLS 工件的前后处理	549	10.8.4	RPM 在生物工程中的典型 应用	579
10.7	SLS 工艺对产品精度和效率的 影响	550	练习思考题	581	
10.7.1	零件造型对制件精度的影响	550	参考文献	583	
10.7.2	粉末物化特性对成型质量的 影响	551	编后记	585	
10.7.3	工艺参数对原型件质量和效率的 影响	554			
10.8	RPM 技术的典型应用	559			

第一部分

特种成型技术中的材料

第 1 章 概 论

在现代化工业生产中,有 60%~90% 的工业产品需使用模具加工,模具工业已成为工业发展的基础。许多新产品的开发和生产在很大程度上都依赖于模具生产,特别是汽车、电子通讯、航空、军工、轻工、医药器械等行业。据国际生产技术协会预测:在 21 世纪,机械制造工业的零件加工中,75% 的粗加工和 50% 的精加工都将依靠模具完成。因此,模具工业已成为国民经济的重要基础工业。

美国是世界模具工业技术的领先国家,早在 20 世纪 80 年代末,其模具总产值即已高达 64.47 亿美元。日本模具工业从 1957 年开始发展,当年模具总产值仅 106 亿日元,到 1998 年总产值已超过 4.88 万亿日元,在短短的 40 余年内增加了 460 多倍。

模具工业发展的关键是模具制造技术的进步。而模具制造技术的进步又会涉及多学科的交叉。模具作为一种高附加值和技术密集型产品,其技术水平已成为衡量一个国家工业制造水平的重要标志。世界上有许多国家,特别是一些工业发达国家,都十分重视模具制造技术的开发,他们大力开展“快速经济制造模具”和发展“特种成型技术工业”,积极采用“先进制造技术和设备”,提高特种成型模具制造水平并取得了显著的经济效益。在我国,清华大学、西安交通大学和华中科技大学已先后开展了上述方面的科学研究工作,并取得了明显的经济效益和社会效益。此外,国内还有不少企业已纷纷引进这类设备和技术,开展了先进制造技术中特种成型模具的工作,以求加快产品更新换代的节奏,增强新产品在研制和多品种、小批量生产中的竞争能力。所以,为了提供低成本、短周期、可保证产品质量和可批量生产的模具,必须在材料选择、结构设计、制造工艺和模具使用的各个方面,探讨有别于普

通钢制、塑料模具的诸多课题。据国外有关部门专家的调查,企业在新产品开发过程中,大量中、小批量生产的产品达 70% 以上,故缩短模具制造周期、降低新产品开发成本的问题尤显突出。与此同时,在现代工业化新产品的绿色创新开发技术中,材料在特种成型制造技术中的作用可以说是处于举足轻重的地位。

1.1 特种成型技术的发展

随着现代科学技术的进步和社会工业生产的发展,特种成型加工技术的内涵日益丰富,范围日趋扩大,已形成较完整的制造工程体系。在难加工材料、生物医用高分子材料成型、复杂型面加工、低刚度薄壁零件制造、精密微细雕刻等方面都占有十分重要的位置,今后的发展方向主要有如下几个方面。

(1) 精密微形自动柔性集成和智能化技术 在保持原有特种成型加工特点的基础上,向微细加工、纳米加工方向发展。同时,不仅注意分离加工,而且更需注意结合和变形的加工。

自动化有助于实现操作,提高成型加工的质量与效率,快速响应市场的需求;柔性化可实现多品种小批量生产;集成化可充分利用 CAD/CAM、CIMS 等技术,实现设计制造一体化、并行设计、虚拟制造和反求工程等;智能化可利用专家系统、模糊推理、人工神经网络和遗传基因等人工智能技术,解决制造过程中的复杂决策问题,以提高实用性,代替人的部分脑力劳动。

(2) 特种加工新方法、新技术 开拓一些新的特种加工方法和复合加工方法如德国开发的 LIGA 技术,它把深层同步辐射 X 射线光刻、电铸成型和铸造成型技术结合起来,实现了高、深、宽三维结构的成型,该技术已在国内外较广泛地应用;此外,量子束加工技术也很有前途。目前,已成功应用的水射流加工技术,包括水射流、磨料水射流和冰粒水射流等都有广泛的应用前景,与电子束、离子束、激光束并称束流加工新技术。

(3) 快速、经济的模具制造技术 在现代工业化生产中,有许多产品需要使用模具加工,许多新产品的开发和生产在很大程度上都依赖于模具工业,在汽车、轻工、电子、航空、医药器械等行业尤为突出。因此,模具制造已成为整个工业发展的重要基础。世界模具市场供不应求,特别是近几年,国际间模具市场总量一直保持在 600~650 亿美元。其中,美国、日本、法国、瑞士等国一年出口模具约占本国模具总产量的 1/3。但是,模具历来是采用机械或手工方法进行切削去除进行制造,生产效率低、制造周期长、生产成本低、费用大,严重影响了工业化生产的步伐。因此,研究和发展新的快速经济的制造模具的先进技术,提高模具制造技术的水平,对促进国民经济的发展有着特别重要的意义。在日本,模具制造工业被誉为“进入富裕社会的原动力”;在德国,则冠以“金属加工业中的帝王”;在罗马尼亚,被视为“模具就是黄金”;而在美国,更被视为“不可估其力量的工业”。可以断言,随着社会工业生产的迅速发展,模具工业在我国经济发展的进程中,将发挥越来越重要的“促进黄金帝王工业的作用”。

(4) 绿色制造技术 随着科学技术的发展,模具技术已发展成为一门跨学科的综合性的技术,它涉及材料科学、力学、机械、激光、计算机、数据图像、网络通讯、自动化和人工智能等多个学科。计算机所具有的高速精确计算能力、大容量存储和处理数据的能力,结合工

程技术人员的逻辑判断、综合分析能力，以及创造性的思维，模具制造已从传统的、依赖经验的陈旧模式和狭小天地发展到了全方位预报的新阶段，从而得以大大提高和精确控制模具设计与制造的质量，缩短制造周期，降低新产品的开发成本。而快速原型制造、逆向工程技术的出现，更加推动了“快速经济的特种成型模具技术”的发展，使模具的开发周期可以缩短至几天，甚至几小时。此外，由于世界性环境保护的要求，制造业必须进行绿色加工。在特种加工技术中，选用水基溶液代替有污染的工作液；在利用高分子材料进行快速制造（RPM）产品的技术中，采用激光选域烧结，不再有废料的去除与多余材料的浪费。因此，在“现代科技管理”中，没有污染的“绿色虚拟设计、虚拟现实、虚拟制造”和先进快速制造（RP）中的“绿色制造、敏捷制造、集成制造、智能制造、近净成型原型”等技术，将是我国今后科技工作开发的重点。

1.1.1 特种成型加工概念的扩展与范畴

在过去，特种成型加工是指利用声、光、电、磁、力、热、原子和化学等能源的物理化学的非传统加工方法。随着现代先进制造技术的发展，使“成型加工”这一概念发生了很大变化。但随着我国精密加工和超精密加工的开展，特别是伴随微细加工、激光加工、纳米加工和微型机械加工技术的进步，使得特种加工范畴有了更大的扩展。

（1）材料成型加工机理 由材料成型加工机理可知，特种成型加工可分为去除成型加工、结合成型加工和变形加工，它们的区别如表 1.1-1 所示。

表 1.1-1 特种成型加工方法的范畴

分类	加 工 原 理		加 工 方 法
去除加工	力学加工		磨粒流加工、磨料喷射加工、液体喷射加工
	电物理加工		电火花加工、线切割加工、等离子体加工、电子束加工、离子束加工
	电化学加工		电解加工
	物理加工		激光加工、超声波加工
	化学加工		化学铣削、光刻加工
	复合加工		电解磨削、超声电解磨削、超声电火花电解磨削、化学机械抛光
结合加工	附着加工	物理加工	物理气相沉积、离子镀
		热物理加工	蒸镀、熔化镀
		化学加工	化学气相沉积、化学镀
		电化学加工	电铸、刷镀
	注入加工	物理加工	离子注入、离子束外延
		热物理加工	晶体生长、分子束外延、渗碳、掺杂、烧结
		化学加工	氮化、氧化、活性化学反应
		电化学加工	阳极氧化
	连接加工		激光焊接、化学粘接

分类	加工原理	加工方法
变形加工	冷热流动加工	锻接、辗锻、轧制、挤压、辊压、液态模锻、粉末冶金
	黏滞流动加工	金属型铸造、压力铸造、离心铸造、熔模铸造、壳型铸造、低压和负压铸造
	分子定向加工	液晶定向

1) 去除加工 又称分离加工,是从毛坯材料上去除一部分金属,经过多种机床制造而获得的零部件产品。

2) 结合加工 是利用科学的理论方法,将相同材料或不同材料结合(Bonding)在一起而成型,是一种堆积成型、分层制造的方法。按结合机理和结合的强弱,又可分为附着(Deposition)、注入(Injection)和连接(Join)三种。

附着又称沉积加工,是在工件表面上覆盖一层材料的一种弱结合,典型的加工方法是电镀。

注入又称渗入加工,是在工件表层上渗入某些元素,与基体的材料产生物理化学反应,以改变工件表层材料力学性能和化学性能的一种强结合,典型的加工方法有渗碳、氧化等。

连接又称接合加工,是将两种相同或不相同材料通过物理或化学方法连接在一起,可以是强结合,也可以是弱结合,如激光焊接是强结合、化学粘接是弱结合等。

3) 变形加工 又称流动加工,是利用热、力或分子运动等手段,使工件的材料产生变形,改变其尺寸、形状和性能,如特种冲压、锻造和特种激光冲击板材的加工方法等。

(2) 零件的整体成型与分层制造 所有的零件都有一个三维实体的空间,自古以来,大多采用整体成型方法制造,对型腔壳体等类型的成型表面,由于加工十分困难,一直是工业零件制造的“瓶颈”。随着信息科学技术和计算机科学技术的发展,信息处理能力有了很大的提高。工程技术人员提出了采用离散、堆积分层加工的新概念,即将一个三维实体分解为若干个层厚相等且很小的三维实体,分别制造后堆积形成人们所需要的零件,这就是目前通常所说的“快速原型与制造(RPM)技术”。

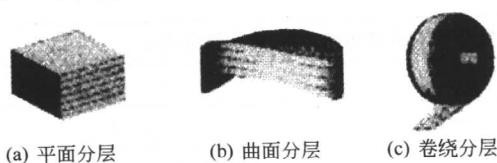


图 1.1-1 分层的三种方式

从分层制造成型的角度分析,这种方法又可以分为平面分层、曲面分层和卷绕分层,如图 1.1-1 所示。平面分层比较简单易行,也最为常用;曲面分层比较复杂,但形状精度比较高,有时可减少因层厚产生的“台阶效应”;卷绕分层

是一种比较特殊的情况,目前已应用在 R 型变压器铁芯卷绕的成型制造上,也可以制造铸模、纸包装等零件。

从成型加工方法的角度分析,快速原型制造方法是去除、结合和变形三种加工的综合应用,而各种工艺方法有不同的侧重点,如分层实体制造(LOM)综合应用了激光切割和材料粘接等技术,而曲面分层和卷绕分层还必须考虑产品的变形。

(3) 表面工程技术 加工概念中不仅包含工件尺寸、形状的变化,还包含了工件表面层材料的化学成分、组织结构、力学性能及物理性能的变化,有“处理”特别是表层处理的含义,这种加工方法就是表面工程技术。

表面工程是由材料科学、冶金学、机械学、物理学、化学、电子学等多学科交叉,综合发展起来的新兴学科。它以制品“表面”为研究对象,根据零件表面的失效机制,应用各种表面及其复合表面技术,形成了表面工程基础理论,如表面层失效、表面摩擦与磨损、表面腐蚀与防护、表面结合及复合等,同时开辟了高能束冶金学、等离子体物理学、动态金属学、摩擦化学、纳米化学等新的研究领域。表面工程技术中所采用的一些方法多属于附着加工和注入加工,如原子或分子沉积、颗粒沉积、涂覆覆盖、表面改性、贴片、粘接和焊接处理等。

当前,表面功能性涂覆技术能赋予工件表面耐磨、耐蚀、耐疲劳、耐热、防辐射、防光、防磁、绝缘、导电等特殊功能。特种成型中的激光束加工和离子束加工,它们都是最有前途的表面改性处理方法,激光表面改性处理包括固态相变、重熔、涂覆和镀膜等。

(4) 微细加工技术 微细加工技术是指制造微小尺寸零件的加工技术,它是在半导体集成电路制造技术基础上形成并发展起来的,是大规模集成电路和计算机技术的基础,是信息时代、微电子时代、光电子时代的关键制造技术之一。在微细加工中,由于加工尺寸很小,精度是以去除材料大小的绝对值来表示的。因此,在加工中引入了“加工单位尺寸”概念,这里简称加工单位,它表示去除材料的大小,如原子加工单位表示能去除一个原子。

微细加工的发展又出现了超微细加工,它们都以电子束、离子束和激光束加工为基础,采用沉积、刻蚀、溅射、蒸镀等加工手段进行各种处理。微细加工技术的各种加工方法可用树状结构表示,如图 1.1-2 所示。目前,微细加工正向着高、深、宽的三维方向发展。

微型机电和机械系统在生物医学、航空航天、国防军事、工农业生产、交通运输、科技通讯等多个部门均有广泛的应用前景。已经开发出微型传感器、微型齿轮泵、微型电机、电极探针、微型喷嘴等多种机械。今后将在精细外科手术、微卫星的微惯导装置、狭窄空间及特殊工况下的维修用机器人、微型仪表、农业生物基因工程等各个方面显示出巨大的潜力。

(5) 纳米技术 纳米技术是当前先进制造技术发展的热点和重点,也是特种成型加工技术大显身手的新领域。纳米技术通常是指纳米级(0.1~100nm)的材料在产品的设计、加工、检验、控制等方面的一系列技术。它是科技发展的一个新兴领域,绝不是简单的“精度提高”和“尺寸

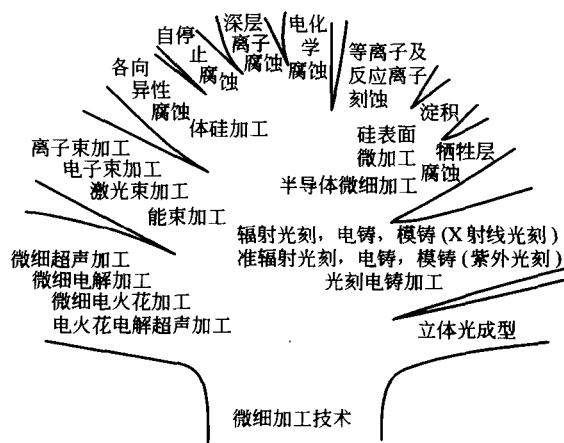


图 1.1-2 微细加工技术的树状结构