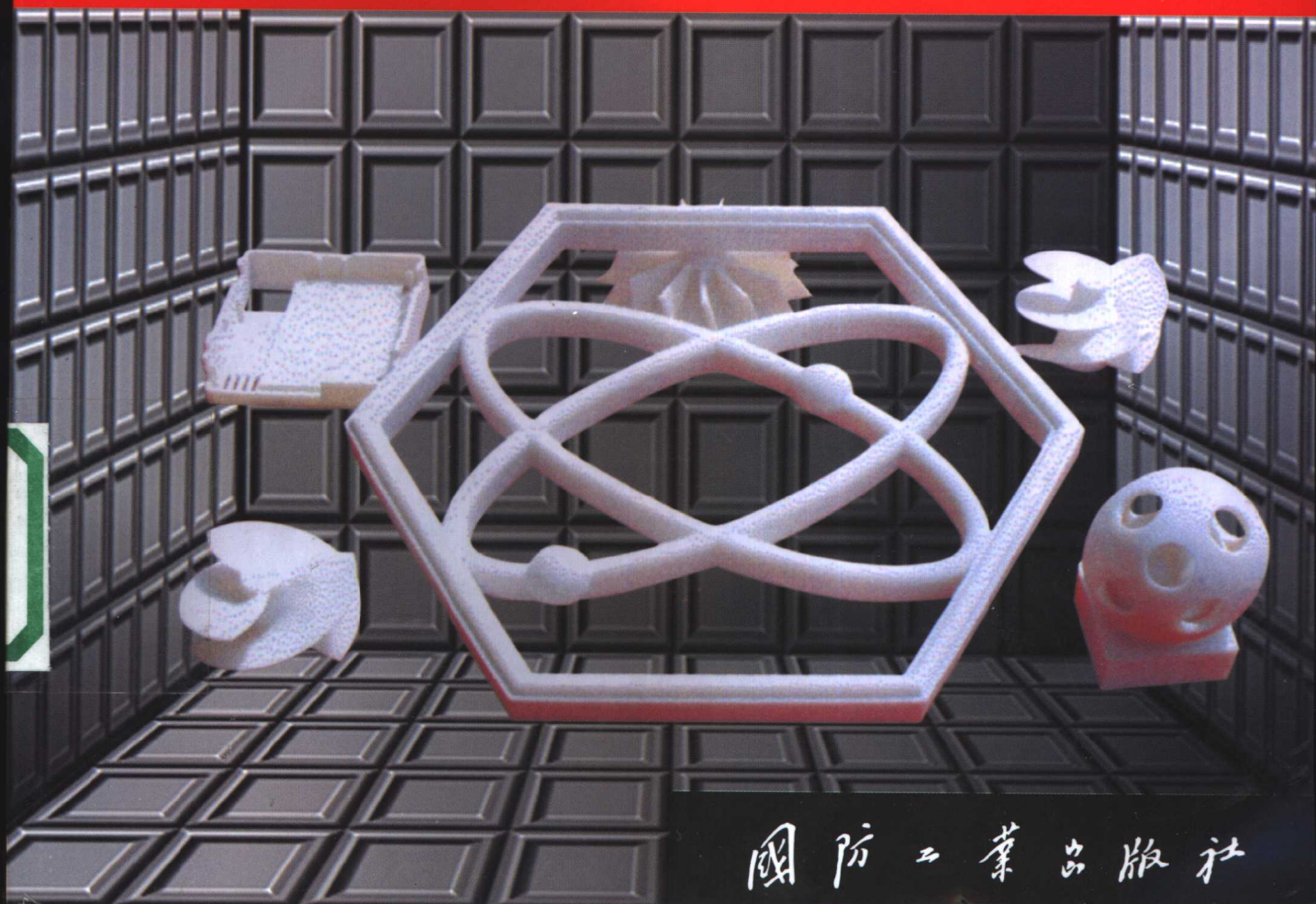


世纪材料成型与模具设计丛书

21

快速成型 与快速制造技术

朱林泉 白培康 朱江淼 著



国防工业出版社

TB3
54

21 世纪材料成型与模具设计丛书

快速成型与快速制造技术

朱林泉 白培康 朱江森 著

北方工业大学图书馆



00528227

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

快速成型与快速制造技术/朱林泉等著. —北京:国防工业出版社, 2003. 1

(21世纪材料成型与模具设计丛书)

ISBN 7-118-02968-8

I. 快... II. 朱... III. 工程材料-成型-技术
IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 077971 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)

新艺印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 20 458 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1-5000 册 定价:28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

快速成型技术在 20 世纪 80 年代后期产生,起源于美国,很快发展到日本、西欧和中国,是制造技术领域的一次重大突破。

快速成型技术的产生和发展具有鲜明的时代特征。一方面,随着激光技术、新材料技术、计算机辅助设计和制造技术的发展,奠定了快速成型的技术基础;另一方面,全球化的市场经济格局要求制造系统具有多品种、变批量和对市场快速响应的能力,企业只有具有了快速开发新产品的能力才能在激烈的市场竞争中立于不败之地。在这种历史背景下快速成型技术也就应运而生。

本书取名为《快速成型与快速制造技术》,就是要突出快速成型技术应用于快速制造领域和面向市场的特点和功能,本书用了较大篇幅(第六章到第九章)介绍快速成型技术在原型制造、工模具制造、快速铸造中的应用以及应用反求工程与快速成型集成技术开发新产品等。

激光快速成型工艺与非激光快速成型工艺相比,前者的发展更快,技术相对更成熟,应用面也更广,已经成为快速成型的主要工艺方法,为此,本书第二、三章分别系统地介绍了点扫描和线扫描激光快速成型系统,第十章到第十二章介绍了与激光快速成型系统有关的光学、激光和红外技术基础知识,希望对有关人员在研究开发和引进消化该种系统时有所帮助。

本书第一、二、三、四、九章由朱林泉著,第五、六、七、八章由白培康著,第十、十一、十二章由朱江森著,全书由程军教授主审。主要作者在“九五”期间参加了国家重点攻关项目“变长线扫描激光快速成型关键技术研究”等多项有关激光快速成型设备、工艺和材料的研究工作,取得了一定的经验。本书是在这些经验及结合国内外相关研究成果的基础上编写而成的,因此,作者对全体课题组同仁为本书所做出的间接贡献表示诚挚的感谢。

由于快速成型技术是一项新技术,因此除了期刊杂志、会议论文外,几乎没有可供参考的专著。我们在编写过程中除了参考已在书后列出的文献外,还参考了国内外一些非公开出版物。

限于我们的学术和技术水平,书中难免有不妥和错误之处,请读者批评指正。

著者

2002 年 7 月 30 日

内 容 简 介

本书内容分为三部分,第一章到第五章介绍了快速成型技术的基本原理,主要工艺方法、相关软件技术和材料技术;第六章到第九章介绍了快速成型技术在快速制造领域的应用现状和发展前景,包括快速原型制造、快速工模具制造、快速铸造以及与反求工程相集成快速开发新产品;第十章到第十二章介绍了与激光快速成型有关的光学、激光和红外技术基础知识,三部分内容既有明显的独立性,又有密切的相关性。

本书适用于研究快速成型技术的工程技术人员阅读,亦可供有关专业的高年级大学生和研究生参考。

目 录

第一章 快速成型技术原理及方法	1
1.1 制造理论的研究对象	1
1.1.1 制造产业和制造系统	1
1.1.2 先进制造系统模型	2
1.2 快速成型技术的产生	3
1.3 关于对快速成形的命名	4
1.4 快速成形技术的原理	4
1.4.1 成形方式分类	5
1.4.2 快速成形技术的原理	6
1.5 快速成型的主要工艺方法	8
1.5.1 立体印刷(Stereo Lithography Apparatus—SLA)	8
1.5.2 分层实体制造(Laminated Object Manufacturing—LOM)	9
1.5.3 选择性激光烧结(Selected Laser Sintering—SLS)	9
1.5.4 熔化沉积成形(Fused Deposition Modeling—FDM)	10
1.5.5 三维打印(Three - Dimensional Printing—3D - P)	10
1.5.6 固基光敏液相法(Solid Ground Curing—SGC)	10
1.5.7 热塑性材料选择性喷洒	11
1.5.8 变长线扫描 SLS RPT	13
1.5.9 高功率激光二极管线阵能量源 SLS RPT	14
1.6 RPT 与相关学科间的关系	14
1.7 RPT 的现状和发展方向	16
第二章 振镜扫描激光烧结快速成型系统	20
2.1 系统的基本组成单元	20
2.1.1 折叠腔 CO ₂ 激光器	20
2.1.2 激光二极管指向器	23
2.1.3 振镜(检流计扫描器)	24
2.1.4 动态聚焦模块	29
2.2 扫描头与激光器的控制系统	32
2.2.1 硬件组成	32
2.2.2 扫描头和激光器的控制命令	33
第三章 变长线扫描激光烧结快速成型系统	41
3.1 关键光学部件	42

3.1.1	光学扩束器	42
3.1.2	光束变形和线束变长模块	47
3.2	机械结构	50
3.3	预处理软件及控制软硬件	52
3.4	加工质量和效率分析	55
3.4.1	加工质量分析	55
3.4.2	加工效率分析	55
3.5	高功率激光二极管线阵能量源 SLS RPT	57
第四章	快速成型系统的软件技术	59
4.1	CAD 软件系统——RP 的支持性软件	59
4.1.1	三维模型的表达方法	59
4.1.2	快速成型技术中常用的文件格式	60
4.1.3	STL 模型的前处理	62
4.2	切片软件	65
4.2.1	STL 文件的切片处理	65
4.2.2	拓扑处理	66
4.2.3	扫描路径的生成算法	66
第五章	快速成型用材料	71
5.1	快速成型用材料种类及用途	71
5.1.1	快速成型材料的分类	71
5.1.2	快速成型工艺对材料性能的要求	71
5.1.3	快速成型中聚合物材料	73
5.1.4	国内外快速成型材料的产品及用途	76
5.1.5	组织工程材料及其快速成型技术	78
5.1.6	快速成型材料研究发展的趋势	81
5.2	激光烧结快速成型用材料	82
5.2.1	激光烧结快速成型对材料性能的要求	82
5.2.2	激光烧结成型材料的种类及其特性	83
5.2.3	成型材料性能对成型工艺的影响	89
5.3	激光烧结快速成型用材料的制造方法	91
5.3.1	激光烧结快速成型用原材料	91
5.3.2	激光烧结快速成型材料的制造方法	110
5.3.3	几种典型材料的制备方法	113
第六章	激光烧结快速成型工艺技术	123
6.1	激光烧结成型机理	123
6.1.1	复合有机材料激光烧结成型机理	123
6.1.2	覆膜陶瓷粉末激光烧结成型机理	124
6.2	快速成型工艺参数对成型质量的影响	127
6.2.1	铺粉密度及其影响因素	127

6.2.2	激光烧结成型工艺参数对烧结密度的影响	129
6.2.3	激光烧结成型工艺参数对成型精度的影响	135
6.3	激光烧结过程温度场数值模拟技术	140
6.3.1	覆膜陶瓷粉末激光烧结成型动态过程	140
6.3.2	烧结过程温度场的数值模拟	143
6.3.3	计算程序	149
6.3.4	数值模拟结果	149
6.3.5	数值模拟结果实验验证	150
6.3.6	数值模拟结果的应用	152
6.4	激光烧结成型件后处理工艺	155
6.4.1	脱脂工艺技术	156
6.4.2	高温烧结工艺技术	162
第七章	快速模具制造技术	170
7.1	快速模具制造技术概念及其分类	170
7.1.1	快速模具制造技术的概念	170
7.1.2	快速模具制造技术的分类	171
7.2	直接制模技术	174
7.2.1	直接制造木模或树脂模	174
7.2.2	直接制造金属模具	175
7.2.3	直接制造铸造用模	178
7.3	间接制模技术	178
7.3.1	快速制作简易模具	179
7.3.2	利用 RPT 快速制作钢模具	187
7.3.3	利用快速成型电火花电极制造钢模具	188
7.4	快速模具制造技术的发展趋势	190
第八章	快速铸造技术	193
8.1	典型铸造工艺基础	193
8.1.1	砂型铸造	193
8.1.2	熔模铸造	197
8.1.3	陶瓷型铸造	204
8.1.4	石膏型铸造	208
8.2	快速铸造技术	212
8.2.1	快速铸造技术的概念及优点	212
8.2.2	快速铸造技术的实现途径	213
8.2.3	直接成型精铸用蜡模	215
8.2.4	直接成型铸造用可消失树脂模	217
8.2.5	制造铸造用模样和模板	221
8.2.6	用快速原型翻制蜡模压型	222
8.2.7	快速成型铸造用型壳(芯)	222

8.2.8	直接成型铸造砂型(芯)	223
8.2.9	直接成型蜡模金属压型	225
8.3	铸造 FMS 技术	226
8.3.1	铸造 FMS 的概念	226
8.3.2	铸造 FMS 的构成	226
8.3.3	铸造 FMS 的工艺路线	228
8.3.4	铸造 FMS 的应用方向	229
第九章	反求工程与快速成型集成技术	230
9.1	反求工程与快速成型集成技术的原理	231
9.1.1	反求工程	231
9.1.2	集成技术原理	232
9.2	数据提取方法	233
9.2.1	无损测量方法	233
9.2.2	破坏性测量方法	243
9.3	测量数据处理	244
9.4	快速成型工艺方法比较	244
9.5	RE 与 RPT 集成技术举例	246
第十章	红外和激光技术的光学基础	248
10.1	几何光学的基本定律	248
10.2	光学聚焦元件	249
10.2.1	球面透镜	249
10.2.2	球面反射镜	257
10.2.3	非球面反射镜	258
10.2.4	非球面透镜	259
10.2.5	平场物镜—— $f\theta$ 透镜	260
10.3	影响聚焦元件成像质量的因素	262
10.3.1	衍射	262
10.3.2	像差	264
10.3.3	透镜焦距和孔径的优化设计	267
第十一章	激光技术基础	268
11.1	激光器的发展简史	268
11.2	激光的特性	269
11.3	激光器的基本原理	271
11.3.1	跃迁和辐射	271
11.3.2	激光器的基本构成	272
11.3.3	激活粒子的能级系统	273
11.4	激光器的分类	274
11.4.1	气体激光器	275
11.4.2	固体激光器	276

11.4.3 染料激光器	278
11.4.4 半导体激光器	278
11.5 RP系统中的激光器	280
第十二章 红外技术基础	285
12.1 红外线的发现和红外技术的发展	285
12.2 红外线的频谱	286
12.3 红外激光与物质的相互作用	288
12.3.1 反射比、吸收比和透射比	289
12.3.2 材料对辐射的吸收	290
12.4 红外光学材料	292
12.4.1 激光加工系统中的红外光学材料	294
12.4.2 红外光学材料性能	300
12.5 光学薄膜	302
参考文献	307

第一章 快速成型技术原理及方法

快速成型(Rapid Prototyping——RP)技术属于机械工程学科特种加工工艺的范围,使用激光作为能源的快速成型技术(RPT)还可以归入激光加工门类,它是一项多学科交叉多技术集成的先进制造技术,也是制造理论研究成果中具有代表性的成果之一。

1.1 制造理论的研究对象

制造理论分为局部制造理论(或称专门或称领域制造理论)和系统制造理论(或称制造系统理论)。前者包括设计理论、金属切削理论、机械传动理论、过程控制理论等,其研究历史久,体系较完整,技术相对较成熟。近二十年来,在局部制造理论范围内,各国发展了多项先进制造技术,如新材料精确成型技术、超高速切削技术和快速成型技术等等。系统制造理论是针对制造系统的全过程或多个环节有机结合的理论,或综合性技术问题或管理问题的理论,具有明显的系统科学性和学科综合性的特征,对各种先进制造系统模型的研究就属于这一范围。

1.1.1 制造产业和制造系统

制造产业是人类社会赖以生存和发展的基础,是社会物质财富的主要来源。据统计,美国 68% 的财富来源于制造业,日本国民总产值中 49% (1990 年)是由制造业提供的,英国在 20 世纪 70 年代制造业对于国民总产值的贡献约为 35%,于 20 世纪 90 年代下降至 25% 左右,而计划在 2010 年回升至 30%^[1]。我国制造业在国民总产值中所占的比例接近 40%^[2],并正在以强劲势头增长,目前《财富》500 强企业中已有近 400 家在我国投资 2000 多个项目。世界上最主要的电脑、电子产品、电信设备、石油化工等制造商已将其生产网络扩展至我国。制造业的水平反映了一个国家或地区的经济实力、科技水平、人民的生活质量及国防能力。

制造系统是制造业的基本组成实体。物质、能源、信息构成了制造系统的三大要素。从制造系统的结构特点来讲,它是一个包括人员、物质(设备、工具、物料等)、能源、信息(设计信息和工艺信息)的有机整体;从制造系统的功能特点讲,它是一个输入物质、能源和信息,输出产品或半成品的输入/输出系统;从制造系统的过程特点讲,它包含了一个制造过程的全过程,包括市场预测、产品设计、工艺规划、物资供应、制造装配、质量检查、销售和售后服务,甚至包括废旧产品的回收和销毁等一个产品生命周期的全过程。

目前,由于市场的复杂多变和国际化,由于生产的高度社会化,制造系统内部各环节、各子系统之间,以及制造系统与外部的错综复杂的关系要求必须以系统的观点和动态的方法来看待制造系统。就是在这种形势下,各国尤其是美国产生和发展了各种先进制造

系统的概念(模型)和实验样板,这些先进制造系统模型的一个共同特点就是集成。

1.1.2 先进制造系统模型

各国进行实验的先进制造系统模型有:计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System——CIMS),智能制造系统(Intelligent Manufacturing System——IMS),柔性制造系统(Flexible Manufacturing System——FMS),精益生产(Lean Production——LP)和并行工程(Concurrent Engineering——CE)等,它们的共同特点是集成。这种集成决不仅是物(设备)的集成,更主要的是以信息集成为特征的技术集成和功能集成。计算机是集成的工具,计算机辅助的各单元技术是集成的基础,信息交换是桥梁,信息共享是关键。

制造系统的集成并不是一个新出现的问题。自从人类的生产活动出现专业化和行业分工以来,如何协调制造系统中各环节、各单元之间关系,正确处理系统中的组织结构与运行方式的问题一直就是人们研究并实践的课题。从早期的手工业作坊模式发展到泰勒、福特模式,直到现代的 CIMS,即指以计算机为中心的现代信息技术条件下的新一代的制造系统,各个发展阶段上制造系统的组织结构和运行模式都发生了革命性的变化和飞跃。

1.1.2.1 CIMS、IMS 和 FMS

CIMS 针对一个制造系统的全过程,它以集成为核心,以全盘自动化为先决条件。通过实践反思,CIMS 存在系统偏大,忽视人的因素等缺点^[3],从而产生了一些新的制造系统模型,如智能制造系统(IMS)和柔性制造系统(FMS)。IMS 强调自动化,但不全盘自动化;重视“人工智能”,但又强调“人工智能”与人类专家的合作共事,即“人机一体化”。针对 CIMS 系统偏大,FMS 以一个局部制造系统的形式出现,它可看作是一个车间级和单元级的 CIMS。从狭义上讲,柔性是针对刚性而言。一条刚性生产线只要接通电源就开始运转,在运转过程中基本不接受或处理系统内、外新的信息,可是一个柔性制造系统要根据输入零件信息来决定工艺流程,系统中的各种设备,包括数控机床、缓冲站和输送装置等都要根据它们在某一时刻所获得的信息来决定其在下一时刻的行为或动作^[2]。柔性另一种含义是指加工的灵活性,加工中不需要任何专用工具。从广义上讲,柔性是指多品种、变批量的生产能力以及对市场的快速响应和强大的抗扰动能力。由于柔性制造系统相对较小,投入相对较少,因此较适合我国国情,我国在研究先进制造系统模式中较为侧重对 FMS 的实践。

1.1.2.2 精益生产(LP)

精益生产(LP)也是针对一个制造系统的全过程。1994年10月在北京召开的“中国汽车工业发展研讨会”上,美国麻省理工学院的 C. FINE 教授将 LP 的新概念定义为

$$LP = EI + TPM + JIT + TQM$$

式中 EI——雇员的介入,强调了人的因素第一;

TPM——全面生产力的保持,在保持单件生产能力的同时,综合了大量生产的优点;

JIT——适时生产和适时供应,减少库存和投资,争取最佳费效比;

TQM——全面质量管理。

我国有关专家将 LP 简化为“精简”二字,即简化一切不必要的工作内容,包括简化企

业的组织机构;简化产品的开发过程;简化零部件的制造过程;简化产品结构。显然 LP 是一种面向市场的企业行为。

1.1.2.3 并行工程(CE)

并行工程(CE)是一种系统的方法,以集成和并行的方式设计产品及其相关过程,包括对制造过程和支持过程的设计。这种方法的目的是使产品开发人员从一开始就考虑到从概念形成到投放市场的整个产品生命周期中质量、成本、开发时间和用户需求等所有组成因素。并行工程不能随意删除一个完整设计过程中现存的、顺序的、向前传递信息的任一必要阶段。并行工程不是同时或交叉地进行设计和生产,而是要求同时进行产品及其下游过程的设计,强调所有的设计工作必须在生产开始之前完成。综上所述,CE 是针对一个制造过程中的设计过程,它涉及制造系统的各个环节,包括市场预测、产品设计、工艺规划、销售和供应计划制订等等。

除此以外,还有虚拟制造(Virtual Reality Manufacturing——VM)和敏捷制造(Agile Manufacturing——AM)等新概念。所有这些先进的制造系统模型都是在一定历史时期产生和发展起来的,都有一定的解决问题的范围、考察问题的角度和处理问题的方法,因而都有它一定的地位。由于 CIMS 出现较早,因此人们常常以它为中心,将其他先进制造系统模型看成是它的发展和深化。各种先进制造系统无一不是集成了多种工程学科(计算机软硬件技术、计算机信息技术、机械工程领域和系统制造理论、材料科学和光电子学科等等),而且在信息网络技术支持下,以分布式环境的特征完成与管理与市场学的连接或集成,因此具有明显的系统科学性和学科综合性的特征,属于系统制造理论的研究范畴。

1.2 快速成型技术的产生

科学技术的迅速发展不仅促进了经济的繁荣和社会的进步,而且丰富和发展了各门学科。一方面不同的科学技术之间的交叉融合迅速产生了科学技术新的聚集,例如智能技术、传感技术、信息技术与结构科学的交叉正在产生智能结构科学;激光技术、材料技术、计算机辅助设计和制造集成了快速成型技术(RPT)。另一方面,经济的发展和科学的进步又对科学技术提出了新的期望,譬如人们期望由微型机器人进入人体血管进行医疗作业;期望出现微型耳窝,植入聋耳内产生听力。这种聚集和期望可称之为学科前沿。学科前沿也可理解为已解决和未解决的科学技术问题之间的界域。

机械工程科学的新领域几乎都是交叉学科,各项先进制造技术都是多种学科的集成,它们的产生和发展离不开相关学科的发展,在此前提下,解决好技术集成的“接口”,就成为各项先进制造技术的研究内容。“接口”问题就是学科前沿的界域问题。RPT 将激光技术、新材料技术、CAD/CAM 集成起来,解决了激光对新材料的作用,CAD 模型(STL 文件)的切片处理以及满足“离散/堆积”成型工艺要求的包括数控技术、精密机械和光电子技术在内的一系列“接口”问题,从而形成一项先进制造技术。反过来它的发展又丰富了相关技术的研究内容,从而促进了相关技术的发展。

面向市场的集成技术工程化要求是多品种、变批量和对市场的快速响应,因此要求系统具有快速开发新产品的能力,而传统的产品开发方法费用高、周期长,企业必须采用新

的产品开发手段才能在激烈的市场竞争中立于不败之地,在这种历史背景下,RPT也就应运而生。

简言之,快速成型技术具有鲜明的时代特征。它于20世纪80年代后期兴起,起源于美国,很快发展到日本,西欧和中国,是制造技术领域的一次重大突破,属于局部制造理论范围内的研究成果。

1.3 关于对快速成形的命名

对这项新技术的命名,多年来未能统一,常见的有以下几种:

快速成型(Rapid Prototyping),指这项技术能迅速地加工出三维实体;

任意成型(Freeform Fabrication),指任意形状的零件都可以一步加工出来;

桌面制造(Desk-Top Manufacturing),指此类设备可能很小,可以放在桌面上加工零件;

三维打印(3D Printing),通俗地表明这种技术是计算机二维打印概念的三维延伸。

快速原型/零件制造(RPM),指出了这项技术既可以加工设计原型,还可以加工零件这一特点。

快速工模具制造(RTM),指出了这项技术可以快速制造各种工具和模具。当前,模具制造是快速成型技术的主要应用方向。

快速铸造(RC),从“快速工模具制造”引伸而来,指明这项技术与铸造技术相集成,可以实现快速铸造。

随着快速成型技术推广和应用的不断发展,一定还会出现一些别的能够说明其某种特征的名称。

近年来,在我国引用英文名称时都已倾向使用“Rapid Prototyping”,翻译成中文名称也已倾向使用“快速成型”一词,其中的“型”字指出了这项技术可以直接由材料(而非毛坯)加工零部件,形成三维实体,从而指明了它与一般材料成型技术的区别。

以下,我们使用RP来代表快速成型,用RPT来代表快速成型技术,用RPS来代表快速成型系统(设备)。

1.4 快速成型技术的原理

现代成型理论是研究将材料有序地组织成具有确定外形和一定功能的三维实体的科学。它是站在成形方法论的高度对成型的基本理论、原理和方法进行研究,其研究内容主要包括:

(1) 物质的提取与材料的转移。从广义上讲,从自然形态的物质到成形实体所用的材料均属此范围。

(2) 序的设计与建立。所谓序即指组织材料达到三维实体最终结构的顺序和约束。成形顺序,成形件几何设计以及NC代码的生成等均属此范畴。

(3) 性能保证。即保证成形件具有预先规定的机械性能、电学性能和表面质量等等。

过程控制、在线检测和下线后的后处理工艺及检验等均属此范畴。

它不是具体地研究某单一的工艺过程,而是建立在所有成形工艺上的一个基本理论。

1.4.1 成形方式分类

根据现代成形学的观点,从物质的组织方式上,可把成形方式分为以下四类:

(1) 去除成形(Dislodge Forming)。去除成形是运用分离的方法,把一部分材料(裕量材料)有序地从基体上分离出去而成形的方法。传统的车、铣、刨、磨等加工方法均属于去除成形,现代的电火花加工、激光切割、打孔等也是去除成形。去除成形最先实现了数字化控制,是目前主要的成形方式。

(2) 堆积成形(Stacking Forming)。堆积成形是运用合并与连接的方法,把材料(气、液、固相)有序地合并堆积起来的成形方法。RP即属于堆积成形。堆积成形是在计算机控制下完成的,其最大特点是不受成形零件复杂程度的限制。从广义讲,焊接也属堆积成形范畴。

(3) 受迫成形(Forced Forming)。受迫成形是利用材料的可成形性(如塑性等)在特定外围约束(边界约束或外力约束)下成形的方法。传统的锻压、铸造和粉末冶金等均属于受迫成形。目前受迫成形还未完全实现计算机控制,多用于毛坯成形、特种材料成形等。

(4) 生长成形(Growth Forming)。生长成形是利用材料的活性进行成形的方法,自然界中生物个体发育均属于生长成形,“克隆”技术是产生在人为系统中的生长成形方式。随着活性材料、仿生学、生物化学、生命科学的发展,这种成形方式将会得到很大发展。

前三种成形方式中,去除成形与受迫成形均属于传统成形方式,堆积成形是20世纪80年代末出现的成形方式,它从成形思想上突破了传统的成形方法。从材料组织情况看,去除成形要产生切屑,材料利用率较低,受迫成形一般也都产生工艺废料,如浇冒口、飞边等,堆积成形由于是材料由小到大地堆积,因而材料利用率可以很高,从理论上讲可达100%。从产品精度和性能看,去除成形通常为最终成形,精度高;受迫成形多用于毛坯制造,但也有一些受迫成形工艺直接用于最终零件成形,如精密铸造和锻造,注塑加工等,属净成形或近净成形范畴;堆积成形属于净成形工艺,精度较好,目前的工艺水平一般可达 ± 0.1 mm数量级,经过补偿或校正还可以进一步提高。从制造零件的形状看,传统加工方法由于受刀具或模具等的形状限制,无法制造极复杂的曲面和异形深孔等,而堆积成形则没有这些限制。从理论上讲,堆积成形可以制造任意复杂形状的零件。从材料上看,堆积成形可以制造塑料、陶瓷及各种复合材料零件,制造金属零件的技术也日趋完善。相信在不远的将来,堆积成形技术必将直接完成从CAD模型到金属零件的转变。

随着科学技术的发展和制造工艺的不断完善,未来零件成形将沿两个方向发展:一方面是各种成形方式与工艺的不断完善,如去除成形也可以解决复杂形状零件制造难题,而堆积成形也可以制造高精度,高性能零件、甚至是批量生产零件;另一方面是多种成形方式,多种成形工艺不断交叉、融合,如堆积过程中将引入切削加工以提高精度和性能(如SGC方法即是将光固化与铣削相结合)^[2]。

1.4.2 快速成形技术的原理

笼统地讲,RP属于堆积成形,严格地讲,RP应该属于离散/堆积成形。通过离散获得堆积的路径、限制和方式,通过堆积材料叠加起来形成三维实体。RPT将CAD、CAM、CNC、精密伺服驱动、光电子和新材料等先进技术集于一体,依据由CAD构造的产品三维模型,对其进行分层切片,得到各层截面的轮廓。按照这些轮廓,激光束选择性地切割一层层的纸(或固化一层层的液态树脂,或烧结一层层的粉末材料),或喷射源选择性地喷射一层层的粘结剂或热熔材料等,形成各截面并逐步叠加成三维产品。它将一个复杂的三维加工简化成一系列二维加工的组合,与传统的去除成形形成鲜明的对照,两者的区别如图1-1所示。

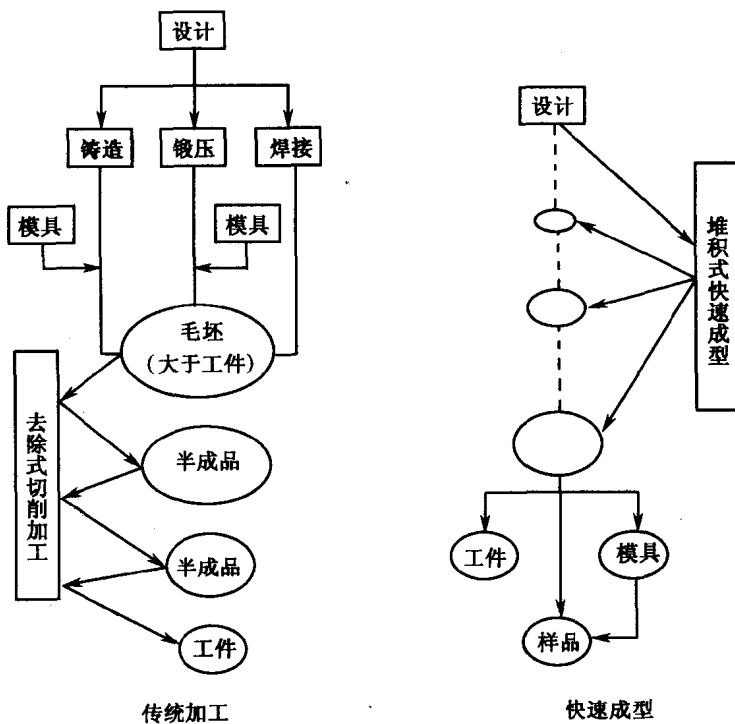


图 1-1 传统加工与快速成形

1.4.2.1 RP 的工艺过程

(1) 三维模型构造。由于 RP 系统只接受计算机构造的产品三维模型(立体图),然后才能进行切片处理,因此首先应在 PC 机或工作站上用 CAD 软件(如 Pro/ENGINEER, I-DEAS, Solid Work 等),根据产品要求设计三维模型;或将已有产品的二维三视图转换成三维模型;或在仿制产品时,用扫描机对已有的产品实体进行扫描,得到三维模型,即反求工程的三维重构。

(2) 三维模型的近似处理。由于产品上往往有一些不规则的自由曲面,加工前必须对其进行近似处理。最常用的方法是用一系列小三角形平面来逼近自由曲面。每个小三角形用 3 个顶点坐标和一个法向量来描述。三角形的大小是可以选择的,从而得到不同的曲面近似程度。经过上述近似处理的三维模型文件称为 STL 格式文件,它由一系列相

连的空间三角形组成。典型的 CAD 软件都有转换和输出 STL 格式文件的接口,但有时输出的三角形会有少量错误,需要进行局部的修改。

(3) 三维模型的切片处理。由于 RP 工艺是按一层层截面轮廓来进行加工,因此加工前必须从三维模型上沿成形高度方向每隔一定的间距进行切片处理,以便提取截面的轮廓。间隔的大小按精度和生产率要求选定。间隔越小,精度越高,但成形时间越长。间隔的范围为 $0.05\text{mm} \sim 0.5\text{mm}$,常用 0.1mm ,能得到相当光滑的成形曲面。切片间隔选定后,成形时每层叠加的材料厚度应与其相适应。各种成形系统都带有切片处理软件,能自动提取模型的截面轮廓。

(4) 截面加工。根据切片处理的截面轮廓,在计算机控制下,RP 系统中的成形头(如激光扫描头或喷头)在 $x-y$ 平面内自动按截面轮廓进行扫描,切割纸(或固化液态树脂,烧结粉末材料,喷射粘结剂和热熔材料),得到一层层截面。

(5) 截面叠加。每层截面成形之后,下一层材料被送至已成形的层面上,然后进行后一层截面的成形,并与前一层面相粘结,从而将一层层的截面逐步叠合在一起,最终形成三维产品。

(6) 后处理。从成形机中取出成形件,进行打磨、涂挂,或者放进高温炉中烧结,进一步提高其强度(如 3D-P 工艺)。对于 SLS 工艺,成形件放入高温炉中烧结是为了使粘结剂挥发掉,以便进行渗金属(如渗铜)处理。

RP 工艺流程如图 1-2 所示。

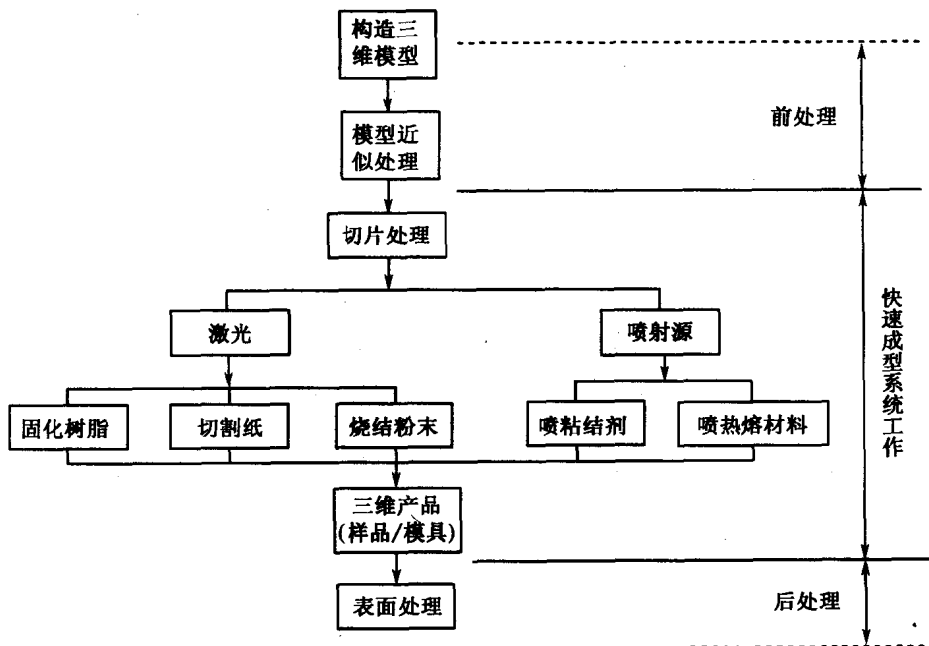


图 1-2 快速成形过程

1.4.2.2 RPT 的优点

(1) RPT 采用离散/堆积成形的原理,自动完成从电子模型(CAD 模型)到物理模型(原型和零件)的转换。它将一个十分复杂的三维制造过程简化为二维过程的叠合,所以