

快速成型理论与技术

Rapid Prototyping Theory And Technology

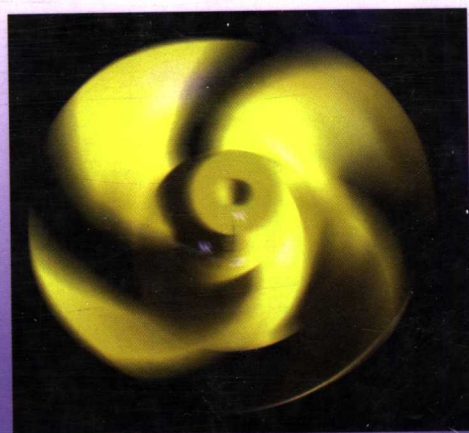
王学让 杨占尧 著



航空工业出版社

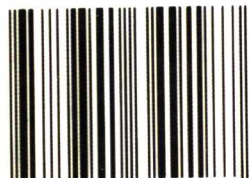
责任编辑：王战航

封面设计：贾敬瑶



Rapid Prototyping

ISBN 7-80134-918-0



9 787801 349187 >

ISBN 7-80134-918-0

TH · 007

定价：21.00 元

快速成型理论与技术

王学让 杨占尧 著

武良臣 审

航空工业出版社

内 容 提 要

本书系统地论述了快速成型技术的概念、理论、成型工艺方法及应用实例,共分八章。首先对快速成型做了简要介绍,然后分别介绍快速成型系统、快速成型的前处理与后处理、快速成型的精度、快速成型技术在工业领域中的应用、快速成型技术在医疗领域中的应用、快速成型技术的发展方向以及快速成型技术的应用实例。

本书可供从事快速成型技术研究与应用的工程技术人员参考,也可作为高等院校机电类专业的教学用书,或研究生选修课教材。

图书在版编目(CIP)数据

快速成型理论与技术 / 王学让, 杨占尧主编.

-北京: 航空工业出版社, 2001. 9

ISBN 7-80134-918-0

I. 快… II. ①王… ②杨… III. 成型

IV. TG39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 064052 号

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

北京云浩印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2001 年 9 月第 1 版

2001 年 9 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 13.875

字数: 318 千字

印数: 1-8000

定价: 21.00 元

本社图书如有缺页、倒页、脱页、残页等情况, 请与本社发行部联系调换。联系电话: 010-65934239 或 64941995

前 言

本书论述的快速成型理论与技术是一种现代先进制造技术。是两个河南省科技攻关项目（① 激光快速成型技术及其在模具快速制造中的研究与应用。② 利用快速成型技术进行新产品敏捷开发的研究与应用）研究成果的一部分。

质量、成本、生产率三要素是制造业永恒的议题，随着时代的前进，制造业已经历了以价格、质量为主的竞争时期，知识经济时代，商业机遇的响应速度已逐步成为制造业赢得竞争的第一要素。谁能尽快开发出市场需要的新产品，谁就能赢得财富。新产品快速开发的速度，取决于组成新产品零件的快速制造速度。快速成型（RP）就是集 CAD / CAM、CNC、激光、新材料等技术于一体的一种现代先进制造技术。该技术改变了传统的用去除多余材料获得零件的方法，利用分层制造、逐层累加成型的原理，可以自动、直接、精确、快速地将设计思想转变成具有一定功能的原型实物零件，制造速度、制造成本基本与零件的复杂程度无关，从而可对实物零件进行快速功能验证、市场评估、修改定型，用定型零件进行模具快速（RT）制造可以实现零件的批量生产。因此，采用该技术大大地缩短新产品的研制开发周期，降低研制开发的成本。该理论被制造界誉为是近 20 年来制造领域的一次重大突破，可与 50~60 年代兴起的数控技术相媲美。我国从“八五”以来开始引进和研究这项技术，现已取得了可喜的成绩。本书总结了近 10 年来的研究成果，意在推动和发展该技术。

在该项目研究过程中，河南省科技厅、河南省教育厅、河南省经贸委、河南省机械工业管理办公室、河南机电高等专科学校的领导给予了大力的支持，投入了大量的资金，创造了良好的硬、软件环境。本书在河南机电高等专科学校王学让副教授主持下完成，王学让副教授撰写第二、三、四、七、八章，杨占尧高级工程师撰写第一、五、六章，焦作工学院武良臣教授担任主审。本书在撰写过程中西安交通大学卢秉恒教授给予了大量的指导和帮助，课题组的李长胜、赵敬云、翟德梅等同志在课题研究中付出了辛勤的劳动，在此向他们表示深切的感谢。

由于我们水平有限，加上该技术处在快速发展时期，许多问题有待于进一步研究与探讨，因此书中难免有不妥之处，望读者不吝指教。

著 者

2001 年 7 月

序

21 世纪是知识经济的世纪，知识经济时代的到来给中国的高等教育带来了发展机遇，也带来了严峻的挑战。

我与企业的厂长们接触较多，从厂长们那里我不断地听到对高校毕业生的抱怨和不满，诸如不安心一线工作、和企业两张皮、知识陈旧、眼高手低等。有的厂长干脆说：“我需要的人才你们培养不出来，你们培养的人才我不需要。”那么究竟厂长们需要什么样的人？从 1996 年开始我们着力研究这个问题，同时寻找解决这个问题的有效途径。

研究结果表明现代厂长需要有思想觉悟、有奉献精神，能掌握新技术而且具有较强动手能力和解决实际问题能力的应用型技术人才。为了达到这个目的，我们提出并实施了以素质教育为主线的“2+1”教育模式，开展产学研合作教育，创造了学校和企业两个育人环境。为了达到这个目的，我们和西门子公司合作建立了 PLC 实验室，和西安交通大学合作建立了激光快速成型实验室，和中外合资安阳安达机床有限责任公司、新机集团合作创建了 CAD/CAM 实验室。这些实验室都是国内一流的，学生在这里可以接受到当今先进理论知识和技术日新月异的变化，可以学习到机械电子行业最新的知识，最先进的制造理论和制造技术。

当今的新技术已经打破传统技术的限制和概念，这些技术往往集多学科知识于一身，运用多种理论、多种技术创造出一个全新的成果，激光快速成型技术就是一个典型的例证，它是集 CAD/CAM、CNC 激光、新材料技术于一体的现代制造技术。在传统制造技术和概念中找不到它，但它却是活生生的具有旺盛生命力的制造技术。这种新技术的诞生和推广应用证明了时代在前进，同时新技术的不断产生将推动着时代继续前进。

王学让等同志在西安交通大学卢秉恒教授、焦作工学院武良臣教授、洛阳工学院罗大金教授的指导下研究并应用激光快速成型技术，《快速成型理论与技术》是他们主要研究成果。虽然这本著作还可能存在着许多不完善的地方，但这其中已经凝结了王学让等同志以及指导教授们的心血和汗水，在我看来已是他们开展素质教育、向一线的厂长们交上的一份合格答卷，随着研究的深入，他们的成果还会不断地提高、不断完善不断升华。届时我们将为他们视贺，为他们庆功。

河南机电高等专科学校党委书记：

享受国家政府津贴专家、教授：

孙怀玉

2001 年 8 月 8 日

序

人类已经进入了一个新的世纪和新的千年，也正处在一个伟大的变革时期。以电子技术、信息技术、自动化技术、计算机技术、人工智能和新材料为核心的新一代科学技术的飞速发展，给人类描绘了一幅知识经济社会的壮丽蓝图。知识经济是以不断的知识和对知识创新的应用为基础的知识密集型经济。

随着市场竞争的日趋激烈，全球出现了由卖方市场向买方市场的转变，进入了由消费者导向的时代，消费趋向于多样化、柔性化、个性化。制造业作为社会主要财富的创造者，必须适应这一转变。制造的过程是将社会需求转化为产品的过程，是信息生产和物质生产的统一，决定制造业竞争力的关键，是新产品快速开发的能力，是新产品中所含知识、技术与创新的价值。由于计算机与网络技术的广泛应用，时空距离大大缩短，人们对信息和知识共享程度大大提高，谁能利用这些知识和信息，快速开发出适应市场需求的新产品，谁就能赢得市场、赢得竞争。

快速成型与制造(RP&M)技术，80年代出现于美国。它是一种集多种先进科技于一体的能够迅速将设计思想转化为产品的现代先进制造技术，它改变了传统的制造思维方式，采用分层制造逐层累积的原理，能够自动、快速制造任意复杂形状的三维实体。这种创新的制造理论对传统的制造方法产生了猛烈的冲击并已显示出勃勃的生机，它能在企业新产品快速开发中起到事半功倍的作用，大大提高企业产品创新和响应市场的能力，是一种极具生命力的敏捷制造技术。90年代以来，我们对该技术开展了广泛深入的应用和研究，目前新的成型材料、新的成型方法在不断的涌现，成型件的机械性能和成型精度在不断的提高，基于RP&M技术的模具快速制造技术也在蓬勃地发展。

《快速成型理论与技术》一书在有关专家指导下，作者总结了国内外近年来的研究成果，书中介绍了多种快速成型技术的原理、特点、精度分析和应用等内容，收集了内容丰富的快速成型和模具快速制造的实例，并介绍了与之相关的各种工艺方法。书中虽未过多地涉及数学推理，但基本概念的说明是确切的、通俗的，是国内有关该技术为数不多的专著之一。该书的推出有利于快速制造技术在科技工业界的推广和应用，有利于促进企业的新产品快速开发。

祝愿快速成型技术在研究和应用中不断发展和完善，祝愿读者们在推广应用快速成型技术中取得更大的成就！

全国高等学校机电类专业
教学指导委员会委员：
洛阳工学院教授：

罗大金

2001年9月9日

目 录

第一章 概述	1
第一节 快速成型制造技术	1
第二节 快速成型技术的发展历史	4
一、国外 RP 技术的发展历史	4
二、RP 技术在我国的发展概论	6
三、国内 RP 发展动向	8
四、我国 RP 发展存在的问题和发展建议	10
第三节 快速成型的材料	11
一、快速原型零件的材料	11
二、快速原型零件复制材料	15
第四节 原型零件的快速成型过程	18
第五节 快速成型技术的作用	18
第二章 快速成型系统	21
第一节 液态光敏聚合物选择性固化系统	21
一、SLA 的原理及分类	21
二、激光固化快速成型的基本过程	23
三、SLA 快速成型系统的优缺点比较	24
第二节 SLA 激光快速成型系统硬件设计与制造	27
一、系统总体结构设计	27
二、激光扫描系统设计	29
三、托板升降系统设计	30
四、刮平系统设计	31
五、树脂循环系统设计	32
六、温控系统设计	32
七、系统的总装与调试	34
第三节 粉末材料选择性烧结系统	34
第四节 SLS 成型金属与陶瓷件	40
一、SLS 成型分析	40
二、金属和陶瓷激光烧结成型	41
三、SLS 工艺参数的影响	42
第五节 薄形材料选择性切系统	44

第六节 丝状材料选择性熔覆成型系统	48
第七节 三维打印快速成型系统	50
一、粉末材料选择性粘结	50
二、喷墨式三维打印	52
第八节 主要快速成型系统的比较与选用	56
一、主要快速成型系统的比较	56
二、主要快速成型系统的选用原则	60
第三章 快速成型的前处理与后处理	64
第一节 快速成型的前处理	64
一、三维模型构造的方法	64
二、用计算机辅助设计软件构造三维模型	64
三、利用反求工程构造三维模型的方法	68
四、三维模型的 STL 格式化	73
五、成型方向的选择	79
六、快速成型中的主要切片方式	81
七、直接切片	82
第二节 快速成型的后处理	83
一、剥离	83
二、修补、打磨和抛光	84
三、表面涂覆	84
第四章 快速成型的精度及其评价	87
第一节 快速成型精度的概念	87
一、快速成型系统的精度	87
二、零件的精度	87
第二节 零件误差形成机理及影响因素分析	88
一、零件误差产生原因分类	88
二、产生零件误差的因素分析	89
第三节 SLA 零件型面精度的形成机理及影响因素分析	93
一、CAD 模型表面位置特征	94
二、不同类型表面的形成机理	94
三、分区变层厚固化工艺	101
四、粗糙度的测量实验	103
第四节 LOM 成型中粘胶厚度场对精度的影响和改进措施	106
一、LOM 成型中粘胶厚度场对精度的影响	106
二、改善粘胶压应力和厚度分布均匀性的措施	112
第五节 LOM 制件的热湿变形及其改善措施	112
一、研究热湿变形的重要性	112

二、LOM 制件热变形	112
三、LOM 制件的吸湿变形分析	113
四、减小 LOM 制件的热湿变形和开裂的措施	113
第六节 快速成型制件的表面粗糙度比较	116
第七节 成型精度评价问题探讨	117
一、精度评价的意义	117
二、精度评价的内容	118
三、精度测试件的设计	118
第五章 快速成型在工业领域中的应用	123
第一节 概述	123
第二节 硅橡胶模的制造	126
一、真空浇注法和简便浇注法	126
二、常温常压条件下制作硅橡胶模	127
三、结论	128
第三节 金属电弧喷镀制模	129
一、电弧喷镀模具的结构	129
二、电弧喷镀模具的制模工艺	131
三、电弧喷镀制模工艺应用	132
四、电弧喷镀制作模具分析	133
第四节 等离子喷镀制模	134
一、等离子喷镀原理	134
二、等离子喷镀工艺	134
三、过程分析	136
四、脱模方法	138
五、等离子喷镀制模的优点	138
第五节 金属树脂模具制造	138
一、制作原材料的分析与选择	138
二、金属树脂模具浇注成型工艺	143
三、常见问题及解决方法	145
第六节 铸造模型的快速制造	147
一、砂型铸造用模的快速制造	148
二、熔模铸造用模的快速制造	149
三、实型铸造用模的快速制造	152
四、低熔点金属离心铸造用模的快速制造	154
五、快速制造铸模的应用效益	154
第七节 注塑模的快速制造	156
一、反应注射成型模的快速制造	156
二、热注射成型模的快速制造	157

三、用原型零件制作热注射成型硬型腔	158
四、用 SLS 法直接制作热注射硬型腔	161
第八节 拉深模的快速制造	161
一、简易非钢质拉深模	161
二、快速成型拉深模	163
第九节 电脉冲加工机床用电极的快速制造	164
第六章 快速成型在医疗领域中的应用	168
第一节 快速成型在医疗领域中的作用	168
第二节 快速成型在医疗领域中的应用及其要求	168
一、骨盆骨折	169
二、髋关节发育异常、无菌坏死和髌分离	169
三、脊柱损伤	169
四、先天性和退行性脊柱疾病	170
五、头颅整形	170
六、颅骨骨接合	170
七、颅骨的颌面部肿瘤	171
八、畸齿矫正手术	171
九、鼻修复	171
十、先天性和后天性远端尺桡关节畸形	171
十一、先天性和后天性足畸形	171
第三节 医疗应用中的快速成型方法及其材料的选择	172
一、快速成型方法的选择	172
二、快速成型材料的选择	173
第七章 快速成型技术的发展方向	176
第一节 快速成型制件的大型化、多色彩和成型精度的再提高	176
第二节 新的快速成型方法的研究与开发	177
第三节 研究开发新的成型材料和新材料成型	180
第四节 喷射成型技术的广泛应用	181
第五节 其他方面的发展	181
第六节 展望我国 RPM 技术的未来	182
第八章 快速成型技术的应用实例	184
第一节 SLA 应用实例	184
一、复杂型面叶轮的激光快速成型加工	184
二、光敏聚合物选择性固化快速成型加工	184
第二节 SLS 应用实例	186
一、连杆的 SLS 工艺制作	186

二、SLS 应用实例	187
第三节 LOM 应用实例	188
一、太极球的激光快速成型加工	188
二、汽车零件精铸母模的激光快速成型加工	189
第四节 FDM 应用实例	191
一、人体骨骼的激光快速成型加工	191
二、FDM (蜡) 成型加工实例	192
三、汽车刹车钳体精铸母模的激光快速成型加工	193
四、多孔测试件制作	195
第五节 RP/RT 应用实例	196
一、高等级子午线轮胎活络模的激光快速成型加工	196
二、北海白塔注塑模的制造	196
三、卫星遥感地表高程数据重构的地球三维快速原型	198
四、采用 RP/RT 技术制做大型汽车覆盖件模具	200
五、金属冷喷快速模具制造	203
六、基于 Internet 的手表外壳设计及快速制造	203
参考文献	208

第一章 概述

在需求不断向多样化、高质量、高性能、低成本发展的今天，面对日趋激烈的市场竞争，制造业的经营战略，从 50~60 年代的“规模效益第一”和 70~80 年代的“价格竞争第一”转变为 90 年代以来的“市场响应速度第一”，时间因素被提到了首要地位。快速成型技术正是在这种需求下研究发展起来的，应用快速成型技术和模具快速制造技术能显著地缩短产品投放市场的周期，降低成本，提高质量，增强企业的竞争能力。一般而言，产品投放市场的周期由设计（初步设计和详细设计）、试制、试验、征求用户意见、修改定型、正式生产和市场推销等环节所需的时间组成。由于采用快速成型技术之后从产品设计的最初阶段开始，设计者、制造者、推销者和用户都能拿到实实在在的样品和小批量生产的产品，因而可以及早地、充分地进行评价、测试及反复修改，并且能对制造工艺过程及其所需的工具、模具、和夹具的设计进行校核，并用相应的快速模具制造方法做出模具，因此可以大大减少失误和不必要的返工，从而能以最快的速度、最低的成本和最好的品质将产品投放市场。

第一节 快速成型制造技术

传统制造方法根据零件成型的过程可以分为两大类型：一类是其成型过程中材料减少为特征，通过各种方法将零件毛坯上多余材料去除掉（切削加工，磨削加工，各种电化学方法等），这种方法通常称为材料去除法；另外一类是材料的质量在成型过程中基本保持不变，如各种压力成型方法以及各种铸造方法进行的零件成型，这两种方法是目前制造领域中普遍采用的方法，也是非常成熟的方法，不论是加工精度，还是加工效率，都能满足各种要求。然而，随着市场日新月异的变化以及产品生命周期的缩短，企业必须重视新产品的不断开发和研制，才能在竞争不断激烈的市场中立于不败之地。因此在制造领域中发生了一场变革，这就是快速成型制造技术的出现。

在 80 年代初期，在 CNC 技术、材料科学、激光技术、CAD 技术充分发展的基础上，在美国首先出现了一种所谓材料累加法（Material Incess）的制造技术。顾名思义，材料累加的制造方法是通过完成材料的有序累加而完成成型的。在 80 年代初，美国 3D System 公司于 1986 年生产出了第一台基于材料累加原理的快速成型机，标志着这种技术的开端。原因在于这种技术是多种技术的高度集成，只有在相关技术，如计算机及数控技术，材料科学，激光技术等充分发展的基础上，才可能实现这一高度的集成。由于这种成型过程中不需要任何传统的专用的辅助工夹具，利用成型机完全在管理和控制下，可进行任意零件的加工，不受零件形状、复杂程度的影响，所以制造的柔性极高，完全符合敏捷制造（Agile）的思想。所以，这种技术一出现，就引起了制造业和学术界的极大关注，世界各国投入了相当可观的人力、物力、财力进行这种制造技术的研究、开发以及成型机的生产销售。各

地也建立了很多服务中心 (Service Bureau), 据不完全统计, 仅美国就有二百多家这种机构。我国自 90 年代也开始了这方面的研究与开发。

材料累加制造技术从制造的全过程可以描述为离散 / 堆积。一个实体零件, 可以认为是由一些具有物质的点、线、面叠加而成的。从 CAD 快速模型中获得这些点、线、面的几何信息 (离散), 把它与成型参数信息结合, 转换为控制成型机工作的 NC 代码, 控制材料有规律地、精确地叠加起来 (堆积), 从而构成三维实体零件。这种制造方法又叫做自由制造 FFF (Free Form Fabrication)、快速原型制造、快速成型 RP (Rapid Prototyping)。本书使用快速成型制造这一习惯术语, 常称为 RP 技术, 还有的叫做自由实体制造 SFF (Solid Freeform Fabrication)。

通过离散获得堆积的顺序、限制和方式; 通过堆积将材料构成三维实体。因此这种制造的全过程可由图 1-1 表示。它与传统制造方法的比较如图 1-2 所示。

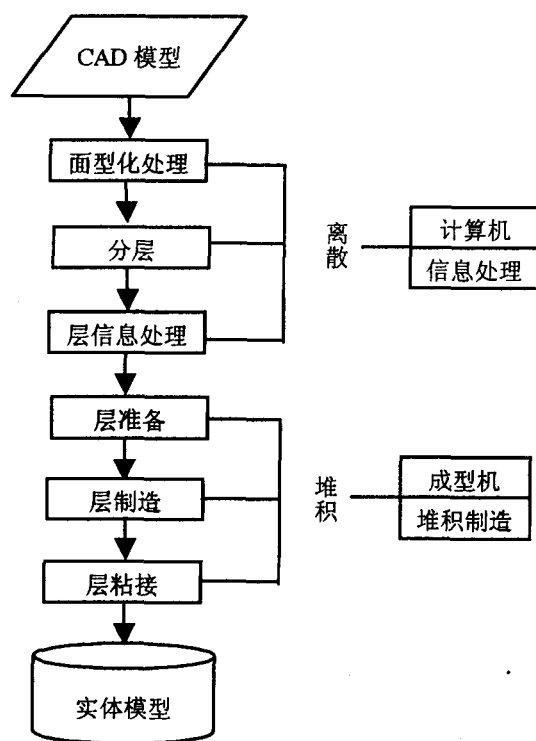


图 1-1 材料累加制造流程图

快速成型方法自诞生以来, 已发展了多种技术, 目前比较成熟的商品的快速成型技术有以下几种:

1. 液态光敏聚合物选择性固化 (SLA—Stereo lithography Apparatus), 又称立体光固化, 液槽中盛满液态光敏树脂, 它在一定的波长的紫外激光照射下就会在一定区域内固化。成型开始时, 聚焦后的光点在液面上按照计算机指令扫描, 固化为一层二维薄层, 并与托板粘接在一起, 然后与托板一起下降一层厚距离, 并在该层的上表面铺满树脂, 进行第二层扫描固化并与第一层牢固地粘接到一起, 如此重复, 直到整个零件制造完毕。

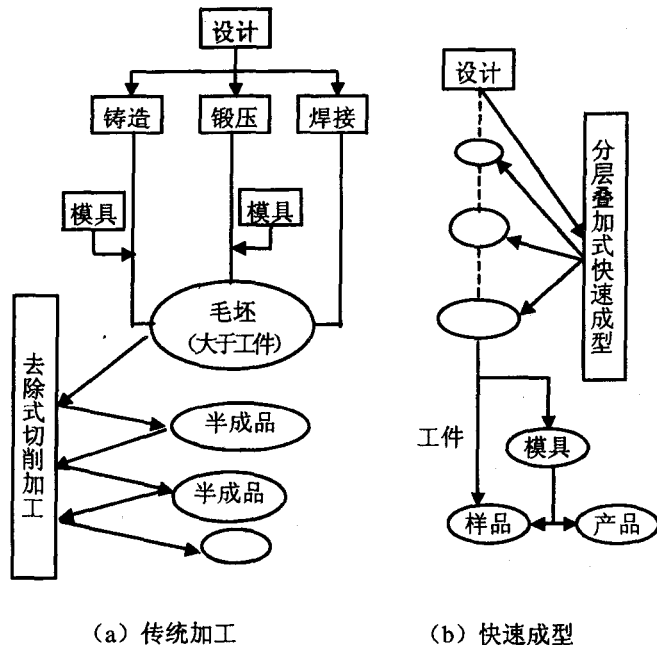


图 1-2 传统加工与快速成型比较

2. 薄形材料选择性切割 (LOM-Laminated Object Manufacture)，根据零件的分层几何信息切割薄形材料（金属、纸），将所获得的层片粘接成三维实体。先铺上一层薄形材料然后用 CO_2 激光在计算机的控制下切出本层轮廓，非零件部分全部切碎，以便去除。当本层完成后，再铺上一层薄形材料，用滚子碾压并加热，以固化粘结剂，使新铺上的一层牢固地粘结在上一层上。最后去除切碎的部分便得到完整的零件，LOM 的关键技术是控制激光的功率和切割速度，使它们达到最佳配合以保证切口质量和切割速度。

3. 粉末材料选择性烧结 (SLS-Selected Laser Sintering)，SLS 采用 CO_2 激光器，使用的材料为粉末材料，先在工作台上铺上一层粉末，通过计算机控制使激光束有选择地烧结粉末（空心部分不烧结，仍为粉末状材料），被烧结部分便固化在一起构成零件的实体部分。一层完成后进行下一层烧结，并使相邻层牢固地烧结在一起，全部烧结完后，去除未烧结的粉末，便得到烧结成的零件。常用的材料为尼龙、塑料、陶瓷和金属粉末。

4. 丝状材料选择性熔覆 (FDM-Fused Deposition Modeling)，这是一种不使用激光器的方法，技术关键在于喷头的设计，喷头在计算机控制下作 X-Y 平面的联动以及 Z 向运动，丝材在喷头中被加热至略高于其熔点，喷头在二维运动中喷出熔融的材料，快速冷却形成一薄层并与上一层牢固地粘结在一起，这样层层迭加就形成一个空间实体。

5. 三维印刷法 (TDP-Three Dimensional Printing)，也是一种不依赖于激光器的成型技术，TDP 使用粉末材料和粘接剂，喷头在每一层铺好的材料上有选择地喷射粘接剂，有粘接剂的地方被粘接在一起，其他地方仍为粉末，这样层层粘接后就得到一个空间实体，去除粉末进行烧结就得到所要求的零件。

第二节 快速成型技术的发展历史

一、国外 RP 技术的发展历史

从历史上看,很早以前就有“材料叠加”的制造设想,例如,1892年,J. E. Blather 在他的美国专利(#473 901)中,曾建议用分层制造法构成地形图。这种方法的原理是,将地形图的轮廓线压印在一系列的蜡片上,然后按轮廓线切割蜡片,并将其粘结在一起,熨平表面,从而得到三维地形图。1902年,Carlo Baese 在他的美国专利(#774 549)中,提出了用光敏聚合物制造塑料件的原理,这是现代第一种快速成型技术——“立体平板印刷术”(StereoLithography)的初步设想。1940年,Perera 提出了在硬纸板上切割轮廓线,然后将这些纸板粘成三维地形图的方法。50年代之后,出现了几百个有关快速成型技术的专利,其中 Paul L Dimatteo 在他 1976 年的美国专利(# 3932923)中,进一步明确地提出,先用轮廓跟踪器将三维物体转化成许多二维廓薄片(图 1-3),然后用激光切割这些薄片成型,再用螺钉、销钉等将一系列薄片连接成三维物体,这些设想与现代另一种快速成型技术——“物体分层制造”(Laminated Object Manufacturing)的原理极为相似。

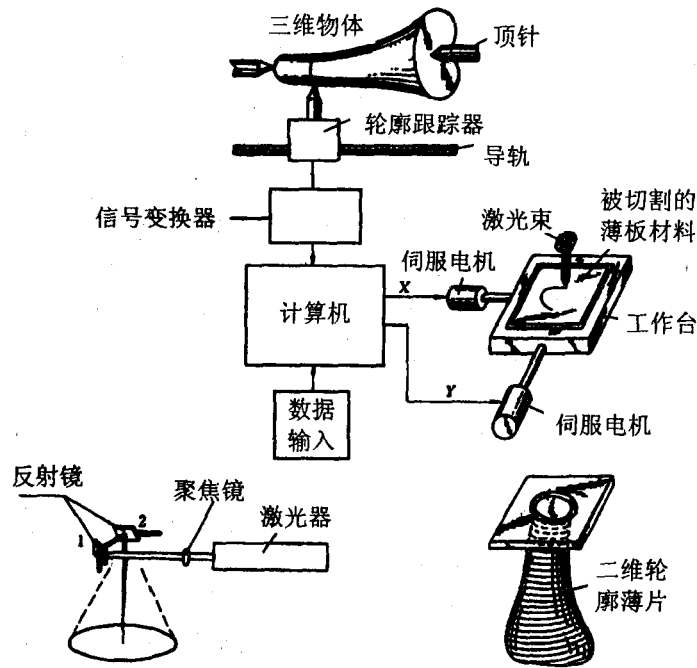


图 1-3 Paul 的分层成型法

上述早期的专利虽然提出了一些快速成型的基本原理,但还很不完善,更没有实现快速成型机械及其使用原材料的商品化。80 年代末之后,快速成型技术有了根本性的发展,出现的专利更多,仅在 1986~1998 年期间注册的美国专利就有 24 个。这首先是 Charles W

Hull 在他 1986 年的美国专利 (#4 575 330) 中, 提出了一个用激光束照射液态光敏树脂, 从而分层制作三维物体的现代快速成型机的方案。随后, 美国的 3D System 公司据此专利, 于 1988 年生产出了第一台现代快速成型机 SLA-250 (液态光敏树脂选择性固化成型机), 开创了快速成型技术发展的新纪元。在此后的 10 年中, 涌现了 10 多种不同形式的快速成型技术和相应的快速成型机, 如薄形材料选择性切割 (LOM)、丝状材料选择性熔覆 (FDM) 和粉末材料选择性烧结 (SLS) 等, 并且在工业、医疗及其他领域得到了广泛的应用。到 1998 年止, 全世界已拥有快速成型机 4259 台, 快速成型机制造公司约 27 个, 用快速成型机进行对外服务的机构 331 个。

SLA 快速成型法是目前世界上公认的众多快速成型方法中最为广泛使用的一种方法, 它经过 10 多年的发展历程, 不断地趋向成熟和发展, 图 1-4 形象地表示了其发展历程, 美国 3D System 公司高级研究人员 Bryal Bedal 和 Hopnquyer 预言, 基于光敏树脂的激光固化成型可以达到亚微米级的分辨率。由于该项技术是多学科的交叉和多项技术的高度集成, 所以其整体性能的发展依赖于各种单元技术的发展, 反之, 单项技术的发展又不断地促进其整体技术的进步。SLA 技术可分为硬件、软件、材料以及成型工艺四大组成部分。各部分的发展既相互促进, 又相互制约。软硬件的发展相互依赖又相互促进, 而材料的发展很大程度上又决定着成型的工艺。

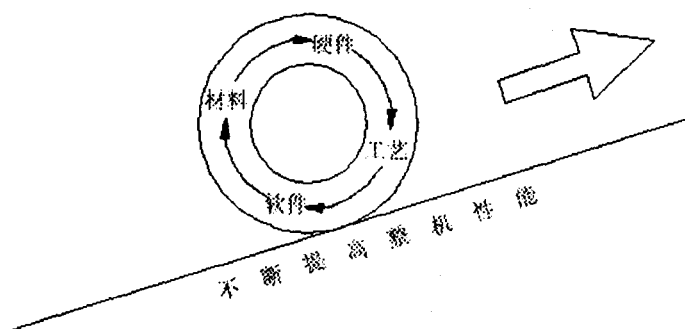


图 1-4 SLA 技术发展历程图

多年来人们一直致力于以下几方面的研究:

(1) 硬件部分包括激光束精确光斑的获得、激光束光点扫描精度及定位精度的获得与控制; 高可靠性、高效率的树脂再涂层系统; 树脂液面位置的精确控制。

(2) 材料的各种性能的研究, 如聚合反应及固化的速度、聚合反应过程中的收缩、固化后零件的机械性能等; 粘度也是一项重要的性能指标, 因为它是影响涂层精度的关键因素, 除此之外, 还需考虑特殊用途的需求, 如用于融模铸造的树脂, 要求发气量及残渣小; 还有易储藏, 无毒无味等要求。

(3) 软件, 主要是指数据的预处理、整个成型过程的控制以及面向用户的易操作性。人们期望着这种技术发展到只要简单地一按“按钮”, 就能将 CAD 电子模型转变为三维实体模型。

(4) 制作工艺是光固化成型过程的关键技术, 零件的精度及成型效率主要决定于制作的工艺。随着人们对光聚机理、固化成型过程认识与研究的不断深入、零件精度也得到逐年提高 (参见图 1-5)。但是, 这项技术毕竟是一项新的成型技术, 而“快速”成型的