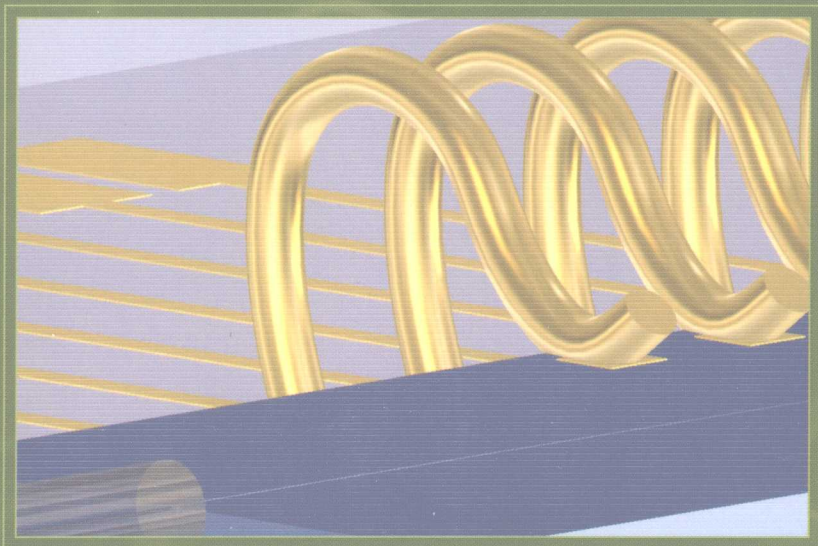


“十一五”国家重点图书出版规划项目 · 先进制造新技术丛书

快速成形技术 及其应用

◎ 范春华 赵剑峰 董丽华 主编 ◎



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

先进制造新技术丛书

快速成形技术及其应用

范春华 赵剑峰 董丽华 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

快速成形技术作为先进制造技术的重要组成部分,是 CAD 技术、数控技术、材料技术、激光技术等多个学科领域交叉发展的制造技术的飞跃。它根据零件的三维实体,采用离散-堆积的制造思想,无须工装,能快速完成产品原型制作,从而降低产品的设计开发周期和成本。

本书内容包括:快速成形的原理及各种成熟的快速成形技术,STL 数据格式及其处理方法,常用成形工程材料,成形工艺,快速成形应用领域及其发展。重点介绍了激光选区烧结过程中的成形机理、成形工艺参数及其对成形质量的影响。本书适合制造工程技术人员及相关人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

快速成形技术及其应用 / 范春华, 赵剑峰, 董丽华主编. —北京: 电子工业出版社, 2009.3
(先进制造新技术丛书)

ISBN 978-7-121-07182-9

I. 快… II. ①范… ②赵… ③董… III. 金属压力加工—塑性变形—计算机辅助设计 IV. TG302-39
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 115091 号

策划编辑: 李 洁 (lijie@phei.com.cn)

责任编辑: 李 洁 特约编辑: 吕亚增

印 刷: 北京市顺义兴华印刷厂

装 订: 三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×980 1/16 印张: 11 字数: 244 千字

印 次: 2009 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 28.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

“十一五”国家重点图书出版规划项目

先进制造新技术丛书

编 委 会

主 任：李伯虎 范玉顺 郝玉成

副主任：谢兵兵 刘 强 高 平

成 员（排名不分先后，以姓氏笔画为序）：

于海斌	王田苗	王爱玲	田雨华	齐二石	朱文海
刘 飞	刘国兴	刘晓冰	孙林夫	曲道奎	祁国宁
林忠钦	张伯鹏	孟祥旭	邵新宇	赵大哲	洪 军
黄 涛	曾庆宏	黎晓东			

序

制造业是国民经济与国家安全的重要支柱。21 世纪经济全球化和全球信息化的趋势对制造企业提出了严峻的挑战，同时也提供了良好的发展机遇。一场以信息化为特征的全球化的制造业革命正在波澜壮阔地展开。制造企业间竞争的要素是企业产品 (P) 及其上市时间 (T)、质量 (Q)、成本 (C)、服务 (S)、环境 (E)、知识 (K)。国内外的实践表明，融合了信息、管理、材料、自动化等高新技术的制造技术——“先进制造技术”，是支持制造企业“产品创新、管理创新、技术创新”，实现其“全球化、敏捷化、信息化、集成化、智能化、绿色化”，进而提高制造企业竞争力的良策与有效途径。

建国 50 余年来，经过全国上下的艰苦奋斗，我国制造业已成为国民经济的重要组成部分，其工业增加值已占我国生产总值的 47.3%，并跃居世界第四位，即我国已从一个制造弱国发展为世界制造大国，但还不是强国，因为我国制造业工业增加值仅为美国的 1/4、日本的 1/2。在我国《中长期科学和技术发展规划纲要》中指出了我国制造工业的差距：“制造技术基础薄弱，创新能力不强；产品以低端为主；制造资源、能源消耗大，污染严重。”我们的目标要成为世界制造强国，这是历史赋予我们的责任，我们为此还要作出巨大的努力。

在我国《中长期科学和技术发展规划纲要》中指出：当前先进制造技术的新变化是“信息化、高技术化、绿色化和发展极端制造技术”。因此，本丛书将围绕这些新变化，以组成先进制造系统为基点，从系统总体技术、产品设计技术、产品加工生产与装备技术、经营管理与决策技术、产品试验技术、系统集成支撑环境技术六个方面来组织其内容。

本丛书主要面向制造企业管理者与技术人员，因此其内容特点是“先进、实用、精练、简洁”，并提供成功的应用案例。

本丛书由中国机械工程学会机械工业自动化分会、中国自动化学会制造技术专业委员会、全国工业自动化系统与集成标准化技术委员会和电子工业出版社共同组织与筹划。

本丛书的著者是来自企业、学校、研究院所中从事先进制造技术研究开发与应用的科技与管理专家。丛书的大量内容取自他们各自参与的研究开发与应用项目，因此在这里要衷心感谢有关项目中一起工作的团队，感谢他们的努力与做出的贡献。

我们期望本丛书能促进我国制造企业创新能力和水平的提高，能为我国从制造大国向制造强国转变的历史任务中做出微薄的积极贡献。

敬请读者批评指正。



中国工程院院士

2007 年 9 月

前 言

21 世纪是以知识经济和信息社会为特征的时代,制造业面临信息社会中瞬息万变的市场对小批量多种产品要求的严峻挑战。在制造业日趋国际化的状况下,缩短产品开发周期和减少开发新产品投资风险,成为企业赖以生存的关键。快速成形技术在现代企业快速制造需求下应运而生。

快速成形技术是国际上 20 世纪八九十年代发展起来的一种新型的制造技术,也称为实体自由制作、桌面加工或叠层加工技术。它基于离散-堆积增材制造的原理,和常规的去材加工不同,采用逐层累加制造的方法完成任意复杂零部件或实体的制作。快速成形技术的产生,不仅是制造思想的一个重大飞跃,在实践上也为加工任意复杂零件提供了简捷的制造工艺。

快速成形技术自其产生以来,因为其制造思想所固有的巨大发展潜力,近些年来得到了巨大的发展并在越来越多的领域取得了成功应用。

本书共 8 章,介绍了目前几种典型的快速成形工艺方法及其原理,快速成形技术的数据处理技术,并以选区激光烧结技术为例,介绍了激光快速成形过程的烧结机理,各种成形工艺参数与烧结质量的关系,同时还介绍了快速成形技术在各领域的应用与近年来快速成形技术的发展现状及其趋势。

全书由范春华、赵剑峰、董丽华编写。在编写过程中,北京隆源自动成形系统有限公司、上海倍尔康生物医学科技有限公司等提供了大量的资料和素材,此外,书中参考了大量文献资料,在此一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中难免有错误或不妥之处,敬请广大同仁批评指正,提出宝贵意见以供修改,对此编者不胜感激!

编者

2008 年 12 月

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 快速成形技术的原理	(2)
1.1.1 传统加工制造模式	(2)
1.1.2 快速成形技术的原理	(3)
1.1.3 快速成形技术的特点	(4)
1.2 快速成形技术的发展历程	(5)
1.2.1 快速成形技术的提出	(5)
1.2.2 快速成形技术发展的技术背景	(6)
1.2.3 快速成形服务的发展	(9)
第 2 章 数据处理技术	(11)
2.1 STL 数据格式简介	(12)
2.2 STL 文件的缺陷	(15)
2.3 切片数据的生成	(17)
2.3.1 切片分层的种类	(17)
2.3.2 常用的切片方法	(18)
2.4 加工路径数据的生成	(22)
2.4.1 常见的扫描方式	(22)
2.5 RP 常用软件简介	(25)
2.5.1 RP 常用软件	(25)
2.5.2 Magics RP 软件介绍	(26)
2.5.3 三维模型的构建方法	(36)
第 3 章 快速成形实现方法	(42)
3.1 快速成形基本实现方法	(43)
3.1.1 选择性激光烧结成形 (Selected Laser Sintering, SLS)	(43)
3.1.2 光固化成形工艺 (Stereo Lithography Apparatus, SLA)	(45)
3.1.3 分层实体成形工艺 (Laminated Object Manufacturing, LOM)	(47)
3.1.4 三维打印成形工艺 (Three Dimensional Printing, 3DP)	(49)
3.1.5 熔融喷丝成形工艺 (Fused Deposition Modeling, FDM)	(51)
3.1.6 成形工艺比较	(52)

3.2	快速成形方法及设备的发展	(54)
3.2.1	成形效率提高工艺	(55)
3.2.2	成形新材料工艺	(56)
3.2.3	成形精度提高工艺	(58)
3.3	直接制造成形系统的发展	(59)
3.3.1	激光直接制造工艺方法	(59)
3.3.2	电子束烧结粉末成形工艺	(65)
第4章	快速成形材料	(67)
4.1	材料特性对 SLS 成形工艺的影响	(68)
4.1.1	粉末几何特性对成形烧结的影响	(68)
4.1.2	粉末部分物理特性对成形烧结的影响	(70)
4.2	SLS 常用的工程材料	(72)
4.3	其他快速成形方法常用的工程材料	(74)
4.3.1	SLA 常用的工程材料	(74)
4.3.2	LOM 常用的工程材料	(77)
4.3.3	FDM 常用的工程材料	(77)
第5章	激光选区烧结成形机理	(79)
5.1	激光与粉末材料的相互作用机理	(80)
5.2	粉末材料的选区激光烧结	(81)
5.2.1	粉末常规烧结过程	(81)
5.2.2	粉末激光选区烧结致密化机理	(85)
5.3	激光烧结过程中的温度场	(89)
5.3.1	基本传热方式	(89)
5.3.2	基本导热能量方程	(89)
5.3.3	激光选区烧结温度场分析	(90)
第6章	激光选区烧结成形工艺	(95)
6.1	激光选区烧结成形主要工艺参数	(96)
6.2	工艺参数对成形质量的影响	(103)
6.2.1	切片层厚与表面粗糙度的关系	(103)
6.2.2	工艺参数与成形精度的关系	(104)
6.2.3	工艺参数与成形致密度的关系	(108)
6.3	激光选区烧结成形后处理工艺	(112)

第 7 章 快速成形技术的应用	(115)
7.1 快速成形在产品设计中的应用	(116)
7.1.1 概念模型可视化	(117)
7.1.2 设计评价	(118)
7.1.3 装配校核	(120)
7.1.4 性能和功能测试	(121)
7.2 快速模具技术	(122)
7.2.1 快速模具技术的分类	(122)
7.2.2 硅橡胶模具的制作	(123)
7.2.3 粉末金属浇注模具	(126)
7.2.4 树脂型快速制模技术	(127)
7.2.5 陶瓷型快速制模技术	(128)
7.2.6 石膏型快速制模技术	(129)
7.2.7 快速精密铸造	(130)
7.2.8 直接快速模具制造技术	(132)
7.3 生物组织工程及其临床应用	(135)
7.3.1 快速成形在医疗领域的作用	(135)
7.3.2 基于快速成形技术医学模型的制作过程	(136)
7.3.3 快速成形在医疗上的应用案例	(140)
7.3.4 医疗应用中快速成形方法及材料的选择	(150)
第 8 章 快速成形技术的发展	(152)
8.1 功能梯度零件的快速成形制造	(153)
8.2 快速成形在微型制造的应用	(155)
参考文献	(161)

第 1 章

概 述

21 世纪是以知识经济和信息社会为特征的时代,制造业面临信息社会中瞬息万变的市场对小批量多种产品要求的严峻挑战。在制造业日趋国际化的状况下,缩短产品开发周期和降低开发新产品投资风险,成为企业赖以生存的关键。快速成形技术在现代企业快速制造需求下应运而生。快速成形技术(Rapid Prototyping, RP)是国际上 20 世纪八九十年代发展起来的一种新型的制造技术,也称为实体自由制作、桌面加工或叠层加工技术。它基于离散-堆积增材制造的原理,根据零件的 CAD 模型直接成形复杂的零部件或模具,不需要任何工装,突破了传统去材法或成形法加工的许多限制。由于其在模型特别是复杂模型的制造上大大地缩短了时间,一系列快速成形方法、技术的发展在 20 世纪 90 年代被称做制造技术的“分水岭”。快速成形技术融合了计算机科学、CAD/CAM、数控技术、计算机图形学、激光技术、新材料等诸多工程领域的先进成果,能自动、快速、准确地将设计转化成一定功能的产品原型或直接制造零件,对缩短企业产品的开发周期、节约开发资金、提高企业的市场竞争力均具有重大的意义。

本章导读

- 快速成形技术的原理
- 快速成形技术的特点
- 快速成形技术的发展历程

1.1 快速成形技术的原理

快速成形技术（Rapid Prototyping, RP）最早产生于 20 世纪 70 年代末到 80 年代初，是当今世界快速发展的技术之一。其在制造原理上采用了“增材制造”的加工思想，相比于传统的加工“去材制造”方法，在制造思想和实现方法上具有很大的区别。

1.1.1 传统加工制造模式

按现代制造理论对机械加工成形方式的划分，传统的制造加工方法在成形方式上主要有两种：切削成形与受迫成形。切削成形又称去除成形，是将包含零件形状的毛坯，使用工具通过切削加工的方法去除规定尺寸以外的部分，得到所要求的零部件。受迫成形又称净尺寸成形，是利用材料的可成形性（如塑性等），在特定的外围约束（加工零件的模具型腔）下将能够流动的液体材料挤压成形，或者挤压固体材料达到所需的形状和尺寸。

它们所包含的主要加工方法如图 1-1 所示。

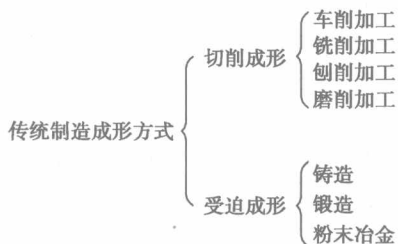


图 1-1 传统制造成形方式的主要加工方法

除图 1-1 所示的成形加工方法外，有些特种加工方法如电火花加工、激光切割加工等也属于切削成形的加工方法，非金属材料的注塑、挤塑、吹塑、压延、发泡等加工方式也都属于受迫成形的方法。

受迫成形通过一定的外加压力，使被加工的材料（通常为具流动性的液体）填充于预先加工好的型腔，而型腔的制造通常也由切削成形的加工方法完成。因为切削成形的加工方法是一种“去

材”成形的加工方法，“去材”的实现主要通过一定的工具和坯料之间的相对运动来实现。例如，车削加工方法主要完成回转体类零件的加工，它是在电机提供动力的条件下，使得坯料做回转运动而车刀按一定的轨迹运动，在相对运动的过程中将相互干涉的部分去除，实现切削，如图 1-2 所示。

由图 1-2 “去材”加工的实现过程所示，传统的“去材”加工方式有以下特点：

- ① 制造思路为“将坯料上相对于零件在形状上相差异而多出来的那部分去除”。

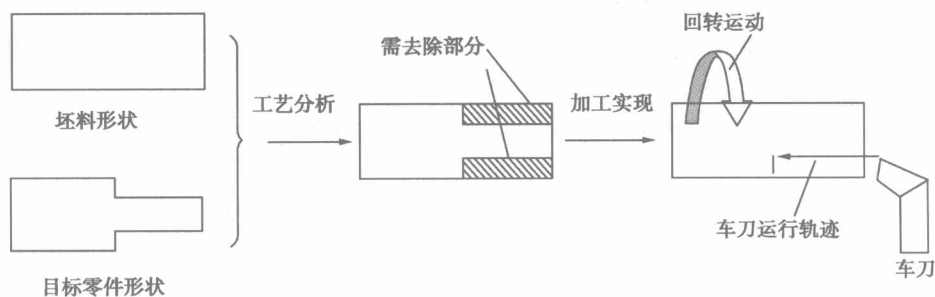


图 1-2 “去材”加工的实现过程示意

② 为完成一个零件的加工往往需对零件的几何形状特征进行分析,从而确定加工方法及其工艺过程,整个切削成形过程可能保护多种加工方法,对带有键槽的轴除了车削加工方法外还有铣削加工方法,以完成键槽的加工。

③ 由于采用的工具通常为具有一定刚度的材料,当零件的几何形状比较复杂时采用“去材”加工方法,加工过程中刀具与零件或坯料会产生干涉而无法完成,应选用多自由度的数控机床完成加工。

④ 根据零件使用性能要求选择毛坯材料,加工完成后的零件即可用于实际使用。

相比于“去材”成形的加工方法,快速成形技术采用“增材”成形的制造思路实现成形件的加工,这种成形方法具有其自身的特点。

1.1.2 快速成形技术的原理

快速成形技术(Rapid Prototyping, RP)基于数字离散-堆积的概念。其制造技术原理如图 1-3 所示。

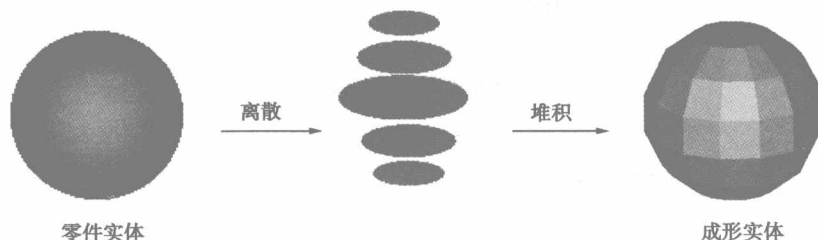


图 1-3 快速成形技术制造原理

根据离散-堆积的制造原理,快速成形制造过程中有以下几点问题需要考虑:

① 需首先对实体进行离散,因而必须对三维实体数据按一定的格式进行表达,采用什么样的方式对数据进行离散,同时选择何种精度对数据进行离散才能保证离散数据再堆积后实体的精度能满足实际的需求。

② 离散后的数据采用何种加工方式,如何对这些离散数据进行堆积,选择什么样的堆积方式。

③ 选择什么样的材料进行加工,对于三维实体,其离散后可分为点、线、面,在实现的过程中对应其堆积方式,可选择离散材料应有点、线、面三种形式,不同的离散材料加工堆积的方法有所不同。

因而,要实现快速成形的制造过程,必须要有许多先进的制造技术支撑,如由 CAD 技术完成数据的处理, CAM 技术及精密的驱动机构完成各离散材料的准备,合适的能量源或黏结剂使离散材料完成从点到线到面的转变。快速成形技术原理的具体实现过程如下:首先将 CAD 模型转化为 STL (STereoLithography) 文件格式,用分层软件将计算机三维实体模型在高度方向离散成一系列具有一定厚度、一定形状的薄片,其次在计算机的控制下有选择性地固化或黏结某一区域的材料,从而形成零件实体的一个层面,并逐层堆积生成对应 CAD 原形三维实体(原型),其技术原理如图 1-4 所示。

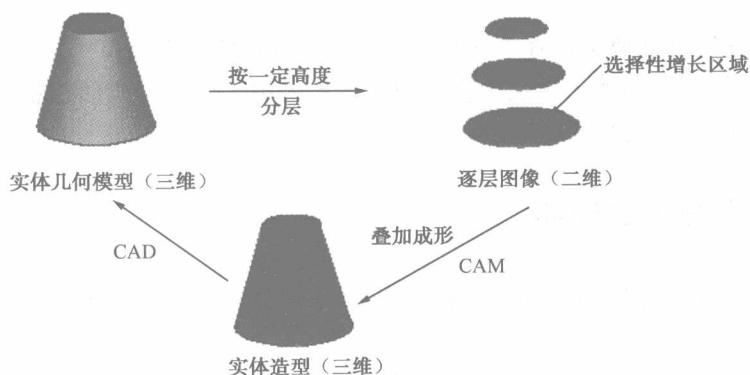


图 1-4 离散-堆积制造原理示意图

1.1.3 快速成形技术的特点

从快速成形技术的原理及其实现的基本过程看,快速成形技术是各种先进制造技术的高度集成,该技术具有如下特点:

① 其实现思想上和传统的“去材”成形正好相反,通过对离散材料按一定的方式进行点、

线、面的连接与堆积。

② 无论零件的复杂程度如何,其加工统一采用先离散后堆积的制造过程,不因零件的现状几何特征相异而采用不同的加工工艺,整个零件一次完成,而对于“去材”加工,某一零件的加工可能需多种加工方法复合,如带“键槽”的轴类零件需要车削和铣削两种加工方法。

③ 在“去材”成形的实现过程中,材料根据使用性能的要求选择,而在堆积制造过程中材料的整体制备和零件的成形过程是统一的。

④ 在每一离散面加工过程中不涉及工具加工轨迹的相互干涉,能实现高度的自动化。

因而,快速成形技术应用于制造领域具有如下优点:

① 对零件的复杂程度不敏感,加工过程没有从 CAD 模型到 CAM 实现的工艺分析过程,可以快速地实现零件从 CAD 设计模型到实体模型的制作,实现产品开发的快速闭环反馈,从而大大地缩短产品的开发周期。

② 对产品的设计者而言,可以快速地根据 CAD 模型拿到真实的产品样品,一方面可以加快产品的开发速度,另一方面可以对设计的产品有一个实实在在的认识,从而对产品的外形、功能进行多次评估,为设计者创造优良的设计环境,尽快得到优化结果,是实现并行设计的强有力手段。比如,在鼠标的新产品开发过程中,电脑 CAD 模型的观测只能获取视觉上的感官认识,但并不能了解新鼠标的设计在人使用时是否舒适,将电脑上所见的三维实体快速地转换为实体则可以很好地解决这一问题。

③ 特别适合小批量产品的开发与制造。对于某些批量小且形状复杂的产品,如采用传统的开设模具加工会造成生产成本的巨大支出,而利用快速成形产品并结合快速模具技术则可大大降低成本,缩短制造周期。

④ 在没有实际投产前通过快速成形技术获得的产品原形,通过一定的市场化的途径,如产品推销员通过产品原形与直接使用客户的沟通,在展销会上和经销商之间的直接交流等以获得市场对该产品的认可程度与反馈意见,从而减少产品投产的风险。

正是由于快速成形技术有诸多的优点,各国政府自该技术出现并商业化以来都给予了巨大的资助,自 20 世纪 80 年代初至今,该技术深受制造业的瞩目并取得了长足的发展。

1.2 快速成形技术的发展历程

1.2.1 快速成形技术的提出

从历史上看,很早以前就有“增长”制造的原理。例如,建筑上用小块的建筑材料堆积

成高楼大厦,动物如燕子衔泥筑巢等都是增材制造的例子。1892年,J.E.Blanther在他的专利中曾建议用分层制造方法构成三维地形图。1902年,Carlo Baese在他的专利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形技术——光敏树脂成形的初始设想。1940年,Perera提出了在硬纸板上切割轮廓线,然后将这些纸板黏结成三维地形图的专利。20世纪50年代之后,出现了更多的快速成形相关的专利。这其中包括一系列用轮廓片形成三维地形图的新方法等。1979年东京大学的中川威雄教授,利用分层技术制造了金属冲裁模、成形模和注塑模。光刻技术的发展对现代RP技术的出现起到了催化作用,20世纪70年代末到80年代初期,美国3M公司的Alan J.Hebert(1978年)、日本的小玉秀男(1980年)、美国UVP公司的Charles W.Hull(1982年)和日本的丸谷洋二(1983年),在不同的地点各自独立地提出了RP的概念,即利用连续层的选区固化产生三维实体。Charles W. Hull在L'iP的继续支持下,完成了一个能自动建造零件的称为光固化成形设备(Stero Lithography Apparatus, SLA)的完整系统SLA-1。1986年该系统获得专利,这是RP发展的一个里程碑。同年,Charles W.Hull和UVP的股东们一起建立了3D System公司。随后许多关于快速成形的概念和技术在3D System公司中逐渐发展成熟。与此同时,其他的成形原理及相应的成形机也相继开发成功。1984年Michael Feygin提出了分层实体制造LOM(Laminated Object Manufacturing)的方法,并于1985年组建Helisys公司,1990年前后开发了第一台商业机型LOM-1015。自从20世纪80年代中期SLA成形技术的兴起到20世纪90年代后期,出现了十几种不同的快速成形技术,除前述几种外,典型的还有三维打印制造3DP(Three-dimensional Printing)、选择性激光烧结SLS(Selective laser sintering)、熔融喷丝成形FDM(Fused deposition modeling)等。鉴于快速成形在技术上、制造思想上的突破和强大的发展前景,世界各国的研究机构和学者们都给予了强烈的关注,并且与日剧增。

1.2.2 快速成形技术发展的技术背景

快速成形技术是一门集成多种先进技术的制造学科,要实现快速成形技术离散/堆积的制造原理,首先要解决三维实体的数据表达及其离散化过程中引出的相关问题,这要得益于CAD技术的发展。

1. CAD技术的发展

CAD技术是随着计算机技术的发展而发展起来的,虽然这项技术的发展时间不长,但它的发展速度很快。目前CAD/CAM技术已成为新一代生产技术的核心,被为提高制造业生产率和产品竞争力的关键技术。自20世纪50年代以来,CAD技术的发展大体上经历了四个阶段:

① 1950年美国麻省理工学院在其研制的计算机上用阴极射线管研制成功图形终端,实

现了图形的屏幕显示,并在此基础上,孕育出一门新兴学科——计算机图形学,开始了交互式计算图形学的研究。

② 20 世纪 60 年代是交互式计算机图形学发展的重要时期。1962 年美国学者 Ivan Sutherland 开发出第一个交互式图形系统“Sketchpad”,能在屏幕上进行图形的交互,包括图形的设计与修改,从此掀起了研究计算机图形学的热潮,并开始出现计算机辅助设计 CAD (Computer Aided Design) 这样的术语。此后,相继出现了一大批商品化 CAD 软件系统,但是由于显示器价格昂贵,CAD 系统很难推广。直到 20 世纪 60 年代末期,显示技术有了突破,存储管式显示器的出现使得显示器价格大幅度下降,也使 CAD 系统的成本下降,性能价格比大大提高,逐渐为客户接受。于是出现了一批 CAD 开发厂商,并很快形成 CAD 产业。

③ 20 世纪 70 年代,计算机交互图形技术日益成熟并在工业界日益得到应用。但此时大多数图形系统还是三维线框系统及二维绘图系统,还只能解决一些简单的产品设计问题。1973 年诞生了第一个实体造型 (Solid Modeling) 试验系统。

④ 20 世纪八九十年代实体造型技术成为 CAD 技术发展的主流,并走向成熟,出现了一批以三维实体造型为核心的 CAD 软件系统。实体造型技术的发展和應用大大拓宽了 CAD 技术的应用领域。在这期间出现了一大批工程化的 CAD/CAM 商品化软件系统,其中较著名的有 CAD/CAM, CATIA, UG, I-DEAS, Pro/E 等,并应用到机械、航空航天、汽车、造船等领域。

2. CAM 技术的发展

要将 CAD 技术技术应用到制造技术,还必须有计算机辅助制造 CAM (Computer Aided Manufacturing) 技术的支撑,将 CAD 图形转换为机床的控制语言,控制机床根据 CAD 信息完成零件的加工。狭义的 CAM 技术包括生产准备、工艺设计、NC 编程和机器人编程等,CAM 技术的发展主要是在数控编程和计算机辅助工艺过程规划两个方面。CAM 技术应用于快速成形技术使得快速成形系统可以完成每一离散层面的加工,再通过适当的层层堆积方式完成零部件的快速成形加工。

1952 年,美国麻省理工学院 (MIT) 首次开发了 NC 机床,但控制这种机床的纸带还要由人工完成。为了提高工作效率和避免人工容易带来的错误,MIT 进行了自动编程工具系统 APT (Automatically Programmed Tools) 的开发研究,以期能根据零件的几何特征自动生成刀具的路径。经过几十年的发展,以 APT 语言为代表的数控加工编程方法已经非常成熟。随着计算机技术、CAD 技术的发展,数控编程开始向交互式图形编程过渡。借助 CAD 图形,以人机交互的方式将有关工艺路线及参数输入编程系统,再由系统生成数控加工信息。

20 世纪 70 年代后,人们开发出面向图形的数控编程系统 CNC,随后 CAD、CAM 开始走向共同发展的道路。进入 20 世纪 90 年代以来,CAD/CAM 系统的集成度不断增加,特征

造型技术的成熟应用,为从根本上解决由 CAD 到 CAM 的数据流无缝传递奠定了基础,使 CAD/CAM 达到了真正意义上的集成,从而发挥出最高的效益。

CAD/CAM 技术的发展为快速成形技术的发展创造了无与伦比的优越条件。许多大型的 CAD/CAM 系统具有良好的图形设计界面和卓越的造型等功能,从制造方的角度而言, CAD/CAM 技术与制造技术之间的相互关系可由图 1-5 表示。

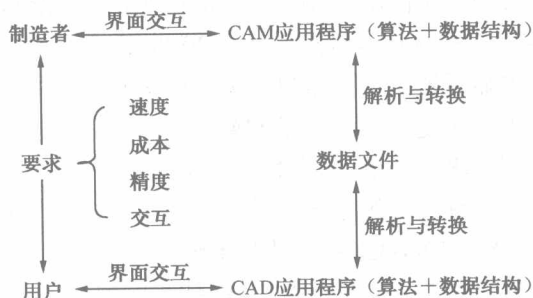


图 1-5 CAD/CAM 与制造技术的相互关系

一个良好的 CAD/CAM 软件,必须满足客户对制造成本、精度要求、客户需求交互、市场反应速度等几个方面的需求。随着 CAD/CAM 技术的发展,在用户交互造型软件方面,近年来出现的 Pro/E、UG 等大型 CAD 软件,具有强大的造型功能及良好的用户交互界面。在数据交换技术方面,到目前为止,许多数据格式如 IGES、DXF 等可用于不同 CAD 软件系统数据交换的中间格式,20 世纪 80 年代中后期,还出现了专门用于快速成形技术的 STL 文件格式。STL 格式用三角形的顶点数据和三角面的法向量表示三维实体的轮廓及其他三维实体表示所需的信息,如光照和渲染等。和其他的表示方法相比,三角形面片在三维几何模型的表示与处理上所花费的代价最少,而且满足其余 CAD 系统对加工所需数据处理的要求。在由三维实体数据处理获得加工数据方面,也有许多软件厂商做了大量的工作,如比利时 Materialise 公司的 Magic RP 软件就是业内较为通用的 RP 软件。

3. 光学技术的发展

光学技术的发展与应用与目前现有的快速成形系统具有千丝万缕的关系,如在 SLS 成形系统中采用激光作为能量源使离散的粉末材料受热黏结完成点到线到面的堆积过程,SLA 系统采用激光使光敏树脂发生光固化反应完成成形加工,LOM 系统采用激光切割涂覆有热固性涂料的“纸材”实现成形加工,等等。从科学的发展史看,激光技术作为一个有机的整体,在各学科、各方向间存在着相互补充、相互支持的密切关系。激光技术与相关科学技术之间的联系如图 1-6 所示。