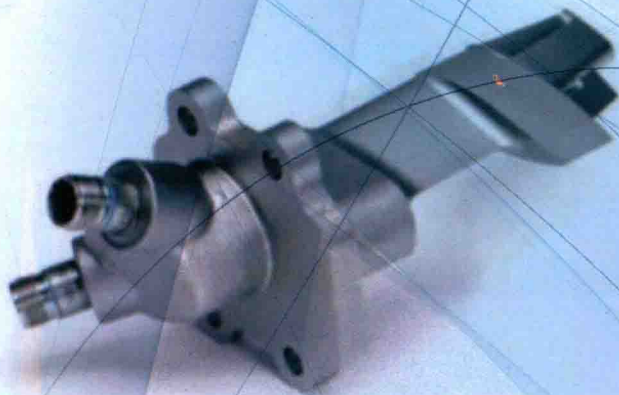


Additive Manufacturing



CRC Press
Taylor & Francis Group



3D打印技术与应用

[美] 阿米特·班德亚帕德耶 (Amit Bandyopadhyay) 主编
萨斯米塔·博斯 (Susmita Bose)

王文先 葛亚琼 崔泽琴 等译



- 来自美国、德国等国家10余家科研机构和公司24位3D打印行业权威专家的倾力之作
- 囊括了聚合物、复合材料、金属、陶瓷、生物材料等多种先进材料的3D打印技术
- 介绍了3D打印技术在工业、航天、电子、材料、医学和教育等领域的实际应用



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

3D 打印技术与应用

[美]

阿米特·班德亚帕德耶 (Amit Bandyopadhyay)

主编

萨斯米塔·博斯 (Susmita Bose)

王文先 葛亚琼 崔泽琴 张红霞

游志勇 闫志峰 董 鹏 程伟丽 译

黎颖奇 关卓森 王 玢

周 峻 审校



机械工业出版社

本书系统全面地阐述了目前 3D 打印技术的发展情况及其具体应用, 主要涵盖了聚合物、复合材料、金属、陶瓷、生物材料等方面的最新技术, 以及其在工业、航天、电子、材料、医学和教育等领域的应用。结构层次分明, 内容详实丰富。希望读者能够通过本书了解和学习到一些有助于自己学习、研究和工作的 3D 打印知识, 同时希望通过本书提供的一些实例给读者带来思路上的创新启发。

本书可供从事 3D 打印的工程技术人员、科研人员、高等院校相关专业的师生及广大的创客和 3D 打印爱好者参考。

Additive Manufacturing / by Amit Bandyopadhyay, Susmita Bose / ISBN: 9781482223590
Copyright © 2016 by Taylor & Francis Group, LLC

CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, an imprint of Taylor & Francis Group LLC; All rights reserved.

本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下, CRC 出版公司出版, 并经其授权翻译出版, 版权所有, 侵权必究。

China Machine Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

本书中文简体翻译版授权机械工业出版社在中国境内 (不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区) 出版与发行。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal.

本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记 图字: 01-2016-2193 号。

图书在版编目 (CIP) 数据

3D 打印技术与应用/(美) 阿米特·班德亚帕德耶 (Amit Bandyopadhyay), (美) 萨斯米塔·博斯 (Susmita Bose) 主编; 王文先等译. —北京: 机械工业出版社, 2017. 6

书名原文: Additive Manufacturing

ISBN 978-7-111-57149-0

I. ①3… II. ①阿… ②萨… ③王… III. ①立体印刷-印刷术 IV. ①TS853

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 142345 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 雷云辉 责任编辑: 雷云辉 责任校对: 张 薇

封面设计: 路恩中 责任印制: 孙 炜

北京振兴源印务有限公司印刷

2017 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·25.25 印张·451 千字

0001—2500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-57149-0

定价: 129.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线: 010-88361066

读者购书热线: 010-68326294

010-88379203

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工官博: weibo.com/cmp1952

金书网: www.golden-book.com

教育服务网: www.cmpedu.com

编 著 者

Gaurav Ameta

机械与材料工程学院
华盛顿州立大学
美国，华盛顿州，普尔曼

Vamsi Krishna Balla

生物陶瓷与涂料部
印度科学与工业研究理事会中央
玻璃与陶瓷研究所
印度，加尔各答

Amit Bandyopadhyay

机械与材料工程学院
华盛顿州立大学
美国，华盛顿州，普尔曼

Susmita Bose

机械与材料工程学院
华盛顿州立大学
美国，华盛顿州，普尔曼

Christian Carpenter

Apogee Boost, LLC
美国，华盛顿州，门罗

Denis Cormier

工业与系统工程系
罗彻斯特理工学院
美国，纽约州，罗彻斯特

Mitun Das

生物陶瓷与涂料部
印度科学与工业研究理事会中央
玻璃与陶瓷研究所
印度，加尔各答

Michael D. Dickey

化学与生物分子工程系
北卡罗来纳州立大学
美国，北卡罗来纳州，罗利

Michael Jan Galba

医疗应用程序开发顾问
EOS 公司
德国，克赖灵

Thomas PL. Gualtieri

机械和材料工程学院
华盛顿州立大学
美国，华盛顿州，普尔曼

Forough Hafezi

制造与工业工程系
萨班哲大学
土耳其，伊斯坦布尔

Edward D. Herderick

快速成型+制造 (RP+M)
美国，俄亥俄州，埃文湖

Dongxu Ke

机械与材料工程学院
华盛顿州立大学
美国，华盛顿州，普尔曼

Bahattin Koc

制造与工业工程系
萨班哲大学
土耳其，伊斯坦布尔

Can Kucukgul

制造与工业工程系
萨班哲大学
土耳其，伊斯坦布尔

Mukesh Kumar

先进工艺技术组
Biomet 公司
美国，印第安纳州，华沙

Bryan Morrison

一个病人的解决方案
Biomet 公司
美国，印第安纳州，华沙

S. Burce Ozler

制造与工业工程系
萨班哲大学
土耳其，伊斯坦布尔

Dishit Paresh Parekh

化学与生物分子工程系
北卡罗来纳州立大学
美国，北卡罗来纳州，罗利

Clark Patterson

快速成型+制造 (RP+M)
美国，俄亥俄州，埃文湖

Kirk A. Reinkens

沃兰德工程与建筑学院
华盛顿州立大学
美国，华盛顿州，普尔曼

Teresa Reischle

EOS 公司
德国，克赖灵

Sahar Vahabzadeh

机械与材料工程学院
华盛顿州立大学
美国，华盛顿州，普尔曼

Ranji Vaidyanathan

材料科学与工程学院
俄克拉何马州立大学
美国，俄克拉何马州，塔尔萨

主 编 简 介

Amit Bandyopadhyay 是美国华盛顿州立大学机械与材料工程学院的 Herman 和 Brita Lindholm 讲席教授, 1989 年获得印度加达普大学冶金工程学士学位, 1992 年获得印度科学院冶金硕士学位, 1995 年获得美国德克萨斯州立大学阿灵顿分校材料科学与工程博士学位, 并加入美国罗格斯大学陶瓷研究中心从事博士后研究工作, 1997 年加入华盛顿州立大学担任助理教授, 2001 年升任副教授, 2006 年被聘任为教授。他的研究专长是专注于硬质材料在结构和生物医学方面应用的 3D 打印。他已发表了超过 250 篇学术文章, 拥有 11 项美国专利和 8 本著作, 在物理、机械工程、材料科学和工程专业方面指导了 35 名研究生。

Amit Bandyopadhyay 教授曾获得过美国国家科学基金会颁发的 CAREER 奖和美国海军研究办公室颁发的青年研究者奖。他是美国国家发明家协会、美国陶瓷学会、美国材料协会、美国医学与生物工程研究所和美国科学促进协会的会士。自 1995 以来, 他一直在从事先进材料 3D 打印领域的工作。

Susmita Bose 是华盛顿州立大学机械与材料工程学院的 Herman 和 Brita Lindholm 讲席教授, 1990 年获得印度卡利亚尼大学学士学位, 1992 年获得印度理工学院硕士学位, 1998 年获得美国罗格斯大学物理有机化学博士学位, 1998 年加入华盛顿州立大学机械与材料工程学院, 成为从事材料科学与工程研究的助理研究科学家。此后她一直致力于快速成型和三维骨组织工程支架的化学成分控制, 特别是磷酸钙、金属植入物的表面改性和药物配送。2001 年她成为机械与材料工程学院的一名助理教授, 2006 年升任副教授, 2010 年被聘任为教授。2004 年获得美国国家科学基金会颁发的 PECASE 奖 (年轻科学家和工程师的最高荣誉, 由美国总统在白宫授予), 2009 年获得 PACE 奖 (the Schwartzwalder-Professional Achievement in Ceramic Engineering), 2014 年获得由美国陶瓷学会颁发的 Richard M. Fulrath 奖, 并获得美国国家科学院的 Kavli Fellow 奖。她指导过超过 30 名材料科学与工程专业、机械工程专业、化学专业和生物工程专业的研究生, 发表了 220 多篇学术论文, 编写了 6 本书籍, 获得 3 项美国专利。Bose 博士是美国医学与生物工程研究院和美国陶瓷学会会士, 她关于控制化学 3D 打印骨组织工程支架的研究已经被美联社、英国广播公司、美国国家公共广播电台、哥伦比亚广播公司新闻、微软全国有线广播电视公司、美国广播公司新闻和许多其他电视、电台、杂志以及世界各地的新闻网站报道过。

译者序

本书从 3D 打印技术的应用出发,全面系统地介绍了 3D 打印核心技术的原理、工艺、应用及发展前景,以及对社会和教育的贡献。结构清晰,论述流畅,是目前同类书籍中科学性、先进性和实用性均较佳的论著。

本书内容中既有深入浅出的科普知识,同时也包括大量有关具体材料、具体物件 3D 打印的专业知识,能够不同领域、不同维度满足我国目前 3D 打印领域方兴未艾的巨大需求,对于我国 3D 打印技术的发展具有很好的指导和推动作用。期望本书能够帮助读者全面深入了解并推动 3D 打印技术的长足发展。

全书共分 14 章。第 1 章介绍了 3D 打印的历史及发展趋势,工程全球化与 3D 打印的关系;第 2~5 章介绍了传统材料,包括聚合物、复合材料、金属材料、陶瓷材料的 3D 打印技术;第 6 章讨论了 3D 打印设计和建模中存在的问题;第 7 章介绍了生物 3D 打印技术在医学上的应用;第 8 章介绍了利用 3D 打印技术对电子设备的打印;第 9 章介绍了 3D 打印的工业化实施之路;第 10 章介绍了 3D 打印应用于航天工业的可能性;第 11 章介绍了 3D 打印技术在材料利用及材料开发中的创新与突破;第 12 章介绍了 3D 打印在教育领域的应用;第 13 章介绍了医学领域中 3D 打印个性化设计与制造的应用;第 14 章介绍了 3D 打印未来将如何影响制造业的发展及我们的日常生活。

本书第 1 章、第 14 章及文前等由太原理工大学王文先翻译;第 2 章由太原理工大学张红霞翻译;第 3 章由上海锐戎激光焊接技术有限公司王玢翻译;第 4 章由太原科技大学葛亚琼翻译;第 5 章由山西省激光加工与增材制造学会关卓森翻译;第 6 章和第 7 章由太原理工大学董鹏翻译;第 8 章由美国密苏里科技大学黎颖奇翻译;第 9 章和第 10 章由太原理工大学闫志峰翻译;第 11 章由太原理工大学游志勇翻译;第 12 章由太原理工大学程伟丽编译;第 13 章由太原理工大学崔泽琴翻译。

全书由美国宾夕法尼亚州立大学周峻副教授审校。周峻老师以其严谨的治学态度和博学的专业知识,为本书的翻译工作提出了许多宝贵意见和建议,在此表示衷心的感谢。

由于时间及译者水平有限,书中难免有不当之处,恳请读者不吝批评指正。

前言

由于美国及其他发达和发展中国家制造业关注点的转变，近年来 3D 打印领域得以飞速发展。在计算机上画一些图形，然后就可以在 3D 打印机中打印出来并且可以被触摸或感觉到，这样的经历吸引着我们许多人。同样，我们也可以看到我们的孩子，虽然还只是在上初中或高中，但也通过他们自己的创造而经历着 3D 打印的革命。正是由于 3D 打印机价格大幅降低和零件质量的提高，这样的社会变革才成为可能。在 10 年前的美国，一台高品质 3D 打印机的成本超过 10 万美元，由于其价格很高，大多数人只能看到 3D 打印机的图片或视频。而随着 3D 打印机成本的大幅降低，以及 3D 打印机可靠性和零件质量的改善，许多企业、大学甚至中学开始对 3D 打印机投资，以体验、探索和创新这些令人着迷的 3D 打印技术。所以，我们认为本书的出版是非常及时的，因为我们试图捕捉到一些近年来面向先进材料，且令人兴奋的 3D 打印技术的发展。

我们知道有一些书籍也涉及了 3D 打印，但当我们查阅了相关文献之后，会意识到这些书籍大多数是由机械工程师编写的，他们注重的是打印机本身而不是其应用。在目前情况下，大多数的 3D 打印技术是比较成熟的，而大部分的创新是在 3D 打印技术的应用领域。因此，我们把工作重点放在了 3D 打印的应用上，而不是在 3D 打印的核心技术上。我们希望读者能够看到这些技术目前是如何被应用的，然后有助于他们在自己领域的创新。本书的设计在某种程度上也可以适用于课堂授课形式。前几章根据对不同种类材料的利用，重点介绍了各种各样的 3D 打印技术；中间的章节论述了 3D 打印的重要应用领域；最后几章讨论了 3D 打印的教育和监管问题，因为在 3D 打印日益成熟并应用于许多行业之后，这些因素变得更加重要。

如同编撰任何一本書籍一样，我们承认没有所有作者的共同努力，本项工作是不可能完成的，我们对他们的贡献表示衷心感谢。我们也感谢许多学生对这本书的支持，尤其是 Tom Gualtieri、Sahar Vahabzadeh 与 Dongxu Ke。我们还要感谢来自孩子 Shohom 和 Aditya 的支持，没有他们，我们也不可能完成这项工作。

即使在这一领域工作了 20 年，我们仍然定期学习 3D 打印的相关新应用。我们希望有经验的研究人员以及那些正在进入这一领域的研究人员都能从本书获益，希望本书能够帮助他们更好地理解 3D 打印这一主题，并有助于未来一代。

Amit Bandyopadhyay Susmita Bose
华盛顿州立大学

目 录

编著者

主编简介

译者序

前言

第 1 章 3D 打印与工程全球化	1
1.1 引言	1
1.2 3D 打印的历史	2
1.2.1 3D 打印的开始	2
1.2.2 其他 3D 打印技术的发展	2
1.2.3 从原型制作到 3D 打印零件	3
1.2.4 3D 打印的影响	5
1.3 当前制造业面临的难题	5
1.3.1 集中式和基于预测的制造中存在的问题	5
1.3.2 通用化设计：消费者仅对符合其要求的产品满意	6
1.4 3D 打印：无法比拟的工艺典范	7
1.4.1 3D 打印技术的现状及其概念	7
1.4.2 3D 打印技术的优点：随心所欲地设计	7
1.4.3 3D 打印技术的优点：在制造业中的多功能性	8
1.4.4 3D 打印技术的优点：可增强材料的性能	8
1.4.5 3D 打印技术已经成为现代制造业的一部分	9
1.4.6 从计算机辅助设计到 3D 打印技术的演变及其对制造业的影响	9
1.5 工程全球化与 3D 打印	10
1.5.1 工程从本地化转化为全球化	10
1.5.2 工程师在世界任何地方都可以变得有效和高效	11
1.5.3 太空制造不再是一个梦想	12
1.6 发展趋势	12
1.6.1 定制产品的按需生产	12
1.6.2 允许人们把创造力转化为现实	14
1.6.3 个人 3D 打印设备：一种标配的家庭设备	14
1.6.4 3D 打印推进医疗技术并救助生命	15
1.7 结语	16

参考文献	17
第 2 章 聚合物和复合材料的 3D 打印	20
2.1 引言	20
2.2 高强度热塑性塑料和纤维增强热塑性塑料的 3D 打印技术	24
2.3 高强度热固性塑料和短切纤维增强复合材料的 3D 打印技术	28
2.4 可用于纳米复合材料的 3D 打印工艺	32
2.5 连续纤维增强复合材料的 3D 打印过程	36
2.6 3D 打印过程中粘结剂的作用及其选择	46
2.7 特例: 3D 打印过程中的原位纤维强化	56
2.8 当前面临的挑战及未来的发展趋势	58
参考文献	59
第 3 章 金属的沉积法及固态 3D 打印技术	64
3.1 引言	64
3.2 技术现状	66
3.2.1 粉末沉积技术	66
3.2.2 熔丝沉积技术	73
3.2.3 固态 3D 打印工艺	79
3.2.4 基于电沉积的 3D 打印技术	82
3.3 新兴的 3D 打印技术	85
3.3.1 摩擦自由成型制造技术	85
3.3.2 混合技术	86
3.4 机遇和挑战	87
3.4.1 材料方面	87
3.4.2 工艺方面	88
3.4.3 设备方面	88
3.5 未来的发展方向	89
参考文献	90
第 4 章 基于粉末技术的金属 3D 打印技术	102
4.1 从快速原型到快速制造	102
4.2 基于粉床的 3D 打印系统的功能描述	106
4.3 一般过程	111
4.3.1 CAD 文件	111
4.3.2 STL 转化为分层文件	112
4.3.3 文件导入到机器	114
4.3.4 构建过程	114
4.3.5 后处理	115
4.4 激光参数	115

4.5	植入物或生物医疗器械的特殊要求	120
4.6	Ti6Al4V	122
4.7	多孔结构的标准	124
4.8	多孔结构的设计	125
4.9	格子结构的设计	126
4.9.1	Netfabb 软件设计格子结构	126
4.9.2	Within Enhance 软件设计格子结构	128
4.10	工艺过程的影响因素	133
4.10.1	曝光	134
4.10.2	固化区	134
4.10.3	束偏移	134
4.10.4	基本曝光类型 ChessRotLx	136
4.10.5	基本曝光类型 Contours	136
4.10.6	基本曝光类型 SkinCore	137
4.10.7	基本曝光类型 SLI-HatchLx	138
4.10.8	基本曝光类型 UpDownStripesAdaptiveLx	138
4.10.9	基本曝光类型 UpDownStripesAdaptiveRotLx	138
4.11	结语	140
	参考文献	140
第5章 陶瓷的3D打印技术		145
5.1	引言	145
5.2	陶瓷的立体光刻技术	146
5.2.1	立体光刻技术的历史及方法	146
5.2.2	陶瓷悬浮液的稳定性及其流变特性	147
5.2.3	陶瓷悬浮液的立体光刻技术	148
5.2.4	应用及未来的发展	149
5.3	陶瓷的选择性激光烧结技术	151
5.3.1	选择性激光烧结的历史与方法	151
5.3.2	陶瓷的直接选择性激光烧结技术	152
5.3.3	陶瓷的间接选择性激光烧结技术	154
5.3.4	应用和未来的发展	156
5.4	陶瓷的喷墨3D打印技术	157
5.4.1	喷墨3D打印技术的历史及方法	157
5.4.2	喷墨3D打印加工陶瓷	159
5.5	陶瓷的熔融沉积成型技术	162
5.5.1	陶瓷熔融沉积技术的历史及方法	162
5.5.2	陶瓷熔融沉积加工陶瓷	164

5.6 陶瓷的分层实体制造技术	166
5.6.1 分层实体制造技术的历史与方法	166
5.6.2 分层实体制造加工陶瓷	168
5.7 激光近净成型技术 TM	169
5.7.1 激光近净成型技术的历史与方法	169
5.7.2 激光近净成型技术加工陶瓷	171
5.8 自动注浆成型技术	175
5.9 陶瓷 3D 打印未来的发展趋势	178
5.10 结语	180
参考文献	182
第 6 章 3D 打印中的设计问题	193
6.1 引言	193
6.2 3D 打印中的设计与加工概述	194
6.2.1 3D 打印的设计模型	194
6.2.2 3D 打印的过程	195
6.2.3 3D 打印设计	197
6.3 机遇与挑战	199
6.3.1 设计准则和设计工具	199
6.3.2 多孔零件及网格结构	199
6.3.3 多材料零件	199
6.3.4 3D 打印的质量规范和检验	200
6.4 结语	201
参考文献	201
第 7 章 生物打印：3D 打印在医学上的应用	205
7.1 引言	205
7.2 生物打印方法	207
7.2.1 喷墨打印	207
7.2.2 立体光刻和双光子聚合	208
7.2.3 直接激光打印	209
7.2.4 挤出打印	211
7.3 结语	218
致谢	218
参考文献	218
第 8 章 多功能打印：将电子产品融入 3D 打印零件中	224
8.1 引言	224
8.2 什么是电子产品？为什么要将电子产品融入 3D 打印零件中？	226
8.3 电子产品的传统制备方法	227



8.4 打印的电子产品	229
8.5 电子产品的直写技术	232
8.6 为什么直写技术不能容易地转换为 3D 打印	233
8.7 在 3D 零件中生成电子产品的方法分类	234
8.7.1 复合芯片内置法 (类别 1)	234
8.7.2 表面直写法 (类别 2)	238
8.7.3 自由形态多材料 3D 打印方法 (类别 3)	248
8.8 结语	253
参考文献	256
第 9 章 3D 打印的工业实现	274
9.1 引言	274
9.2 3D 打印技术在工业产品中的应用	274
9.3 工程热塑性材料零件的直接制造	275
9.4 零件的间接制造	279
9.5 金属零件的直接制造	282
9.6 发展前景	286
参考文献	287
第 10 章 航天工业领域的 3D 打印	288
10.1 引言	288
10.1.1 低成本系统	290
10.1.2 低质量系统	294
10.1.3 先进推进系统	296
10.1.4 原位资源的利用	298
10.2 发展文化认同	301
10.2.1 保证安全与质量: 3D 打印工艺的资格认证	302
10.2.2 短期成功的实例: 缩短开发时间	303
10.2.3 文化灌输: 在 3D 打印领域培养劳动力	304
10.3 结语	305
第 11 章 材料领域的 3D 打印与创新	306
11.1 引言	306
11.2 3D 打印用复合材料	307
11.2.1 金属基复合材料	308
11.2.2 陶瓷基复合材料	311
11.2.3 聚合物基复合材料	314
11.3 通过 3D 打印技术制备的纳米复合材料结构	316
11.3.1 金属基纳米复合材料	316
11.3.2 聚合物基纳米复合材料	318

11.4 功能材料	320
11.4.1 功能梯度材料	320
11.4.2 储氢材料	323
11.5 设计自由/3D 打印可行的设计	323
11.5.1 网格结构的设计与开发	324
11.5.2 医学应用的设计创新	328
11.5.3 多功能设备	333
11.6 结语	336
参考文献	337
第 12 章 3D 打印教育	348
12.1 引言	348
12.2 3D 打印在工程教育中的应用	349
12.3 一个扩展活动：机器人设计挑战	358
12.4 超越课堂	359
12.5 结语	360
第 13 章 个性化植入与 3D 打印	362
13.1 引言	362
13.2 临床应用之路	363
13.3 模板软件：植入物的大小	364
13.4 牙科行业：大量私人定制产品的例子	365
13.5 与患者匹配的手术导板和骨模型的 3D 打印	366
13.6 常规产品的 3D 打印	367
13.7 个性化植入物的 3D 打印	368
13.8 硬组织替代颅骨重建	369
13.9 制造成本：3D 打印是一种可行的技术吗？	370
13.10 成像人体解剖学的作用	371
13.11 最常见的技术	372
13.11.1 计算机断层扫描	372
13.11.2 核磁共振成像	372
13.11.3 超声波检测	372
13.11.4 X 射线	373
13.12 分割	373
13.12.1 手动分割	373
13.12.2 半自动化分割	373
13.12.3 自动化分割	373
13.12.4 分割精度	374
13.13 软件	374

13.14	CAD 转换成 STL	375
13.15	亟需的技术	375
13.16	展望未来	376
第 14 章 3D 打印：扁平化制造的未来		378
14.1	简介	378
14.2	从 3D 打印汽车到空间 3D 打印机	379
14.3	从生物打印到柔性电子系统	380
14.4	在制造业中使用 3D 打印创新：复合材料结构	381
14.5	3D 打印在修复中的应用	382
14.6	3D 打印在组织工程和药物传递方面的应用	383
14.7	按需生产与批量制造	385
14.8	结语	386
参考文献		386

第1章 3D打印与工程全球化

Amit Bandyopadhyay, Thomas PL. Gualtieri 和 Susmita Bose

1.1 引言

3D 打印是一种高速发展并被集成到制造业和我们日常生活中的技术，在商业领域中广为人知，也被叫作不同的名称，如快速成型（Rapid Prototyping, RP）、分层制造（Layered Manufacturing, LM）和实体自由制造（Solid Free Fabrication, SFF）等。3D 打印是直接通过计算机辅助设计实现三维设计，并且不需要任何特定零件工具或模具的一种成型方法。在这个自由逐层制造过程中，多层的建立是在 X - Y 平面上建立单层，然后沿 Z 向或某第三维度逐层叠加而成。当零件制造完成后，它可以用于对概念模型的触摸和感知，可以检测功能原型或直接用于实践。3D 打印不仅是一个可以用来制作个性化新颖物品或原型的工艺，而且伴随着 3D 打印的新发展，可以实现工业化快速制造多种产品的目标，并使人们可以设计和创造新的产品。我们将生活在一个时代的浪尖上，这也将导致众多产品的制造过程发生改变，同时将创造出用户和制造商互动的新风格。集成的 3D 打印工艺有助于人们在几乎任何地方参与设计过程，且可促使本地化工程打破壁垒而上升到一种国际化的规模。正如互联网赋予我们从任何位置传播和访问信息的能力一样，数字化设计和计算机辅助设计本质上使人们可以从任何地方开展、修改和评价设计，因此 3D 打印的设计可以从几乎任何地方产生和测试，而且仅需要用很少的时间。3D 打印设备的能力超过了计算机辅助设计的能力，这使得零件设计和可视化显得比其制造更为困难^[1]。作为一种伴随计算机辅助设计而发展起来的新工艺，3D 打印设备的性能和功能都在提升，那么一个产品的设计过程将从仅仅是由成熟的工程师创造，转变为消费者和制造商一起创造，从而使得所设计的产品在世界各地被快速地制造出来。

1.2 3D 打印的历史

1.2.1 3D 打印的开始

3D 打印技术发展于 20 世纪 80 年代。一位名叫 Charles Chuck Hull 的人提出了第一种 3D 打印概念,称为立体光刻 (Stereolithography, SLA)。随着激光技术的进步以及所使用材料和工艺的创新,Chuck Hull 首先把这个概念变成了现实^[2]。立体光刻系统使紫外线光源集中到一个存放有液体聚合物的储液池,聚合物在被紫外线照射后变硬。在紫外线光源的照射下,聚合物层半固化而形成一定的形状,而未固化的聚合物则继续存于储液池且为正在制造的部分提供原料支持。当该层打印完成后,硬化的聚合物层随工作平台在液体中向下移动,下一层聚合物在该层的顶部继续重复上述过程。这一过程不断持续进行,直到零件按照计算机辅助设计的过程进行完毕并从液体介质中移出。大多数情况下,在零件可以被触摸前还需要进一步固化。Chuck Hull 在 1983 年发明了这种新技术,随后在 1986 年创立了第一家开发和制造 3D 打印机的公司——3D Systems^[2]。这是人类历史上第一次真正制作出快速成型设备,而并非是在科幻电影或书籍中。Chuck Hull 也是第一个找到一种方法使计算机辅助设计文件与快速成型系统建立联系、从而加工制造计算机模拟设计零件的人。在他的努力下,3D 计算机辅助设计模型被模拟分切成多片层,每个片层可以通过 3D 打印机来构建成为零件的一层,这样的努力绝非微不足道。3D 打印机的第一代计算机辅助设计只含有关于零件表面的文件,被称为来自立体光刻过程的 .stl 文件。经过发展,该技术专利于 1984 年 8 月被提出申请,并于 1986 年获得美国专利和商标局批准,成为快速成型系统领域的第一项专利^[3]。尽管 Chuck Hull 在 1986 年就获得了这项专利技术,但是 3D Systems 公司花了几年时间才研发出第一套固相立体光刻系统^[2]。

1.2.2 其他 3D 打印技术的发展

虽然 3D Systems 公司开发并为这项技术申请了专利,但其他创新型企业也开始使用不同的方法和材料研发新型的 3D 打印设备。在德克萨斯州立大学奥斯汀分校,大学生 Carl Deckard 和助理教授 Joe Beaman 博士开始研究一种被称为选择性激光烧结 (Selective Lasers Sintering, SLS) 的新技术。选择性激光烧结的工作方式是把粉末状的材料铺在衬底板上,激光光束选择性地烧结指定区域的粉末材料,然后将另一层粉末铺展在前一烧结层之上,并重复上述烧结过