



高等院校机械类专业“互联网+”创新规划教材

特种加工技术

朱派龙等 编著

非
外
借



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

高等院校机械类专业“互联网+”创新规划教材

特种加工技术

Non-traditional Machining Processes

朱派龙等 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书全面、系统、简明地介绍了特种加工的各种工艺技术原理、方法、设施设备及其工程应用。按照材料去除所需能量类型,全书分为4篇:第1篇的热能蚀出着重介绍电火花成形加工、电火花线切割加工、激光加工、电子束加工、等离子体(弧)加工和热熔钻成形加工;第2篇的(电)化学能腐蚀讲述电化学加工、化学加工;第3篇的机械能磨蚀讲解离子束加工、超声加工、高压水射流加工、游离磨料加工;第4篇的增材制造介绍光固化成型、熔丝堆积成型、选择性激光烧结成型、薄片叠层制造、光掩膜法、弹道微粒制造和立体打印等新工艺方法。

本书适合作为各类型的大(中)专院校的师生的教材,对于从事制造业的科研人士、工程技术人员等相关工作人员可以起到开阔眼界、学习新知识、启迪思维、开拓创新和启发创业等作用。

图书在版编目(CIP)数据

特种加工技术/朱派龙等编著. —北京:北京大学出版社, 2017. 3
(高等院校机械类专业“互联网+”创新规划教材)
ISBN 978-7-301-28017-1

I ①特… II ①朱… III. ①特种加工—高等学校—教材 IV. ①TG66

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 022584 号

- 书 名 特种加工技术
TEZHONG JIAGONG JISHU
- 著作责任者 朱派龙等 编著
- 责任编辑 刘 丽
- 数字编辑 刘志秀
- 标准书号 ISBN 978-7-301-28017-1
- 出版发行 北京大学出版社
- 地 址 北京市海淀区成府路 205 号 100871
- 网 址 <http://www.pup.cn> 新浪微博: @北京大学出版社
- 电子信箱 pup_6@163.com
- 电 话 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667
- 印 刷 者 北京富生印刷厂
- 经 销 者 新华书店
- 787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.25 印张 428 千字
- 2017 年 3 月第 1 版 2017 年 3 月第 1 次印刷
- 定 价 42.00 元

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。

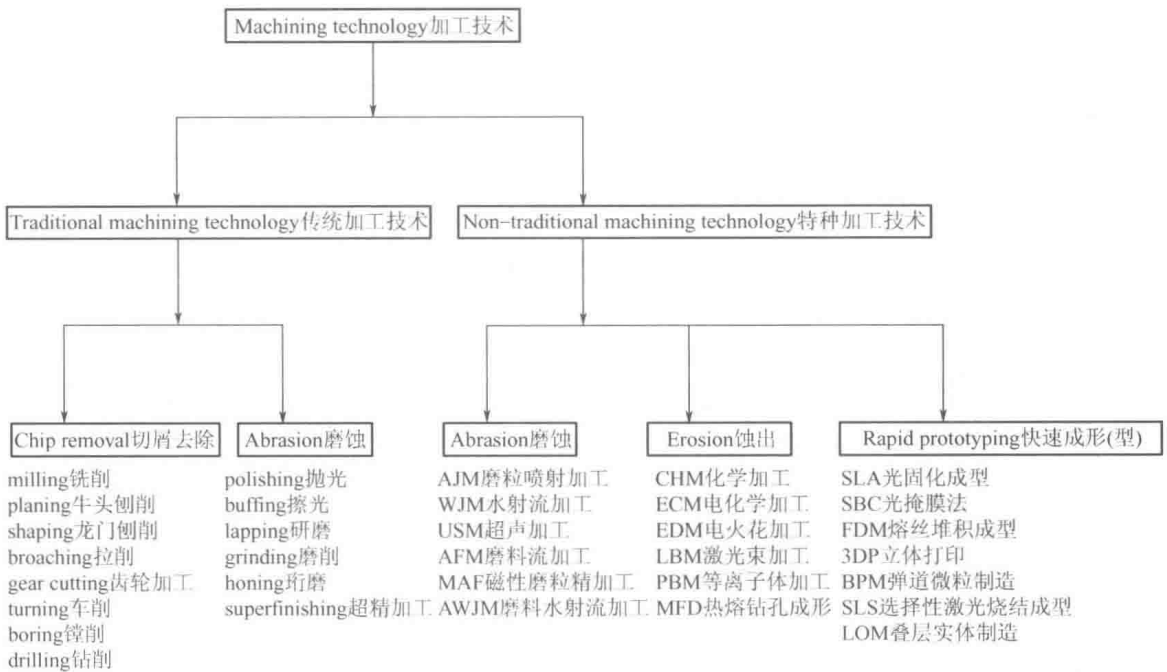
版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题, 请与出版部联系, 电话: 010-62756370

前 言

特种加工，即非传统加工（Non-traditional Machining），在国外被划归为先进制造工艺（Advanced Manufacturing Processes）范畴，也称为非常规加工（Non-conventional Machining）。特种加工与传统的机械加工工艺（车、铣、刨、镗、钻、拉、磨等）共同构成加工技术的工艺方法体系，如同两条平行的列车导轨，同等重要，缺一不可，相互补足并相辅相成。其加工技术分类如下树状图所示。



加工技术分类

Classification of machining technology

- AJM—abrasive jet machining 磨料喷射加工；WJM—water jet machining 水射流加工；
 USM—ultrasonic machining 超声加工；AFM—abrasive flow machining 磨料流加工；
 MAF—magnetic abrasive finishing 磁性磨料精加工；
 AWJM—abrasive water jet machining 磨料水射流加工；
 CHM—chemical machining 化学加工；ECM—electrochemical machining 电化学加工；
 EDM—electrical discharge machining 电火花加工；LBM—laser beam machining 激光束加工；
 PBM—plasma beam machining 等离子体加工；MFD—metalflow drilling 热熔钻孔成形；
 SLA—stero lithography apparatus 光固化成型；SBC—solid based curing 光掩膜法成型；
 FDM—fused deposition modeling 熔丝堆积成型；3DP—3D printing 3D 打印；
 BPM—ballistic particle manufacturing 弹道微粒制造；
 SLS—selective laser sintering 选择性激光烧结成型；
 LOM—laminated object manufacturing 叠层实体制造



本书主要具有以下特色。

(1) 首次尝试以材料去除机理的能量形式来归纳工艺方法类别,充分体现特种加工技术的显著特点,并有助于读者对特种加工技术形成清晰的脉络和结构层次。

(2) 所有的图片、表格及其术语都采用中英文双语表达,图形与中英文同步跟随,便于读者以后查阅、检索英文资料时输入主题词或关键词,同时学习特种加工技术的专业英语。

(3) 增加了近年来发展的许多新技术和新知识,如既非增材又非减材,还可以变废为宝的“热熔钻”孔成形技术、激光清洁技术、3D(立体)打印等,以求拓宽读者的知识广度。

(4) 针对我国高等工科教育的“短板”:知识应用能力、工程实践能力和动手能力比较欠缺的现状,着眼工艺技术应用能力的培养;简述理论和原理,详解应用案例,着重工艺技术知识在生产实际中的转移、搬迁与结合能力的启发、诱导。

(5) 突出特种加工技术的特色和特殊能力,强调它能解决传统加工之无能为力时的优势。例如,传统钻削加工只能加工中心线为直线的圆孔,而用电火花可以加工弯曲轴线的圆孔、方孔、椭圆孔等。

(6) 许多特种加工工艺技术牵涉的设备简单、投资小,强调并着重介绍比较适合于创业创新的拓展项目。

(7) 习题量大,试题类型多,基本涵盖特种加工课程的主要内容,可用作试卷题库。

以上7大特色赋予本书既可以作为大中专院校的教材,也可以作为研究单位、企业、工厂相关工程技术人员的技术资料和参考书。

本书由朱派龙、赵战峰和桂瑾共同编著,其中朱派龙编写了总论、第1章、第2章、第5章、第6章、第8章、第9章、第11章、第13章,赵战峰编写了第3章、第4章、第10章和第12章,桂瑾编写了第7章。

由于时间仓促,书中难免存在不足之处,敬请专家、同仁和广大读者批评指正。

2016年10月于羊城

目 录

第 0 章 总论	1
习题	6

第 1 篇 热能蚀出

第 1 章 电火花成形加工 (EDM SINKING)	8	第 4 章 电子束加工 (EBM)	91
1.1 电火花加工工作原理及 材料去除机理	9	4.1 电子束加工原理与特点	92
1.2 电火花加工机床	14	4.2 电子束加工装置	94
1.3 电火花加工工艺能力及基本规律	24	4.3 特殊工艺应用	96
1.4 电火花加工工艺形式	29	4.4 应用案例	100
1.5 应用案例	44	习题	102
习题	52	第 5 章 等离子弧加工 (PAM)	103
第 2 章 电火花线切割加工 (WEDM)	55	5.1 等离子体加工及其特点	104
2.1 电火花线切割工作原理及 机床设备	56	5.2 等离子弧加工装置	105
2.2 电火花线切割工艺能力	61	5.3 应用及工艺能力	107
2.3 电火花线切割拓展应用	62	5.4 等离子喷涂工艺	107
2.4 应用案例	67	5.5 等离子弧焊接	108
习题	68	5.6 应用案例	109
第 3 章 激光束加工 (LBM)	70	习题	111
3.1 激光加工概述	71	第 6 章 热熔钻加工 (FMD)	113
3.2 激光加工装置	76	6.1 热熔钻成形原理与特点	114
3.3 激光加工工艺类型及应用	78	6.2 热熔钻的类型	116
3.4 应用案例	87	6.3 热熔钻/丝锥的应用范围	117
习题	90	6.4 应用案例	118
		习题	119

第 2 篇 (电) 化学能腐蚀

第 7 章 电化学加工 (ECM)	122	7.3 电化学复合加工工艺	139
7.1 电化学反应过程和工艺类别	123	7.4 阴极沉积工艺	148
7.2 阳极溶解	124	7.5 应用案例	155



习题	157	8.2 光化学加工(喷淋腐蚀)	169
第 8 章 化学加工 (CHM)	160	8.3 其他化学加工工艺	173
8.1 化学铣削	161	8.4 应用案例	180
		习题	181

第 3 篇 机械能磨蚀

第 9 章 离子束加工 (IBM)	184	11.2 高压水射流切割设备	222
9.1 离子束加工原理与特点	185	11.3 高压水射流切割工艺能力与 应用	226
9.2 离子束加工工艺与装置	187	11.4 高压水射流工业清洗	228
9.3 应用案例	193	11.5 应用案例	230
习题	194	习题	233
第 10 章 超声加工 (USM)	196	第 12 章 游离磨料加工 (FAM)	235
10.1 超声冲击磨蚀加工	197	12.1 磨料喷射加工	236
10.2 其他超声加工方法	207	12.2 挤压珩磨(磨料流动加工)	240
10.3 应用案例	215	12.3 磁场辅助研磨	244
习题	216	12.4 磨料水射流加工	247
第 11 章 高压水射流加工 (WJM)	218	12.5 应用案例	257
11.1 高压水射流切割原理、特点及 应用	220	习题	258

第 4 篇 增材制造

第 13 章 快速成型 (RP)	261	13.3 粉体材料的快速成型	273
13.1 概述	263	13.4 固态原材料的快速成型	277
13.2 液态原材料快速成型工艺	267	13.5 应用案例	278
		习题	280
参考文献	282		

第 0 章

总 论

本章教学要点

知识要点	掌握程度	相关知识
制造技术两大类 加工技术两大类	了解成形和加工两大类； 掌握传统加工和特种加工两条导轨的互补性	传统加工：车、铣、刨、镗、钻、磨削、拉削、钳工等； 特种加工：本书目录所列
特种加工机床运动	了解工具运动和工件运动； 对比传统加工主运动和进给运动	传统加工必须有主运动，多数还需进给运动； 特种加工有的可以没有主运动；有的没有进给运动
电火花技术的产生	掌握电火花技术的产生从偶然到必然，偶然中包含必然	变害为利的典范；发明创新启迪和动力
对制造业的影响	掌握对传统加工业的影响；打破传统加工观念，变不可能为可能；变难为易	零件结构、工艺路线、可加工性、细微制造



导入案例

荷兰首都将建成世界上第一座 3D 打印房屋

根据计算机绘制的方案，这台打印机使用不同的塑料和木质纤维首先来制造建筑外墙，然后是天花板和房间的其他部分，最后是家具。这些部件将在原地进行装配，由于它们的一些边缘已经像巨型乐高



【参考图文】



积木一样设计成型，因此能够互相连接到一起。位于草地上的这台 3D 打印机就像现代雕塑的作品一样矗立在那。这不仅仅是因为它太大无法运到办公室，研究团队也想要让公众能够看到这台 3D 打印机工作时的精湛技巧。

最新的 3D 打印技术源自计算机屏幕图形的一种可定制建筑设计转变成现实世界的一处住所。虽然这个梦想仍然是我们所无法企及的，但是全球的建筑师团队正通过建造世界上第一个 3D 打印房屋来向这个梦想迈出一大步。参与该项目的建筑师 Heinsman 女士说道：“我们内心都是建造者，而且一台 3D 打印机为我们提供了一个自己动手制作的工具。”

阿姆斯特丹的 Dus 建筑公司是参与者之一，它计划在荷兰首都打印一座运河住宅。KamerMaker 打印机将使其成为可能，而它本身就是一个奇迹。它的名字来自荷兰语的“房屋制造者”。它使用一个船运集装箱建造而成，拥有闪亮的金属外壳，高 6m，而且能够轻易塞满普通的客厅。

完成 3D 打印房屋不太可能和普通的运河房屋一样廉价，但是建筑师们把它作为一种实验，来实现这种概念。它似乎就像是科幻小说，或者是一位百万富翁所渴望的一种形象工程，但是这事实上这是一种理想主义的空想概念，但却由冷静的建筑师借助模式预算实现。开发商现在或许不会被吓到，但是 3D 打印技术完全有可能改变建筑行业以及城市的样貌。

资料来源：<http://www.niurenqushi.com/news/3/7068.html>。

1. 制造技术的总体认知

制造技术的工艺方法林林总总，但基本上可以归结为两大类，即成形和加工，如图 0.1 所示的虚线左右分隔，左边的“成形”大类更多场合用于毛坯的准备；右边的“加工”大类主要用于达到图样要求的最终成品加工，其中的传统加工技术的工艺方法又分为车、铣、刨、镗、钻、拉等切屑去除的切削加工，以及主要由砂轮磨削、砂带磨削构成的产生磨屑的磨削加工两类。特种加工技术工艺方法分为靠热量熔蚀与化学能腐蚀的蚀出加工类和靠机械能（磨料）的磨蚀加工类。

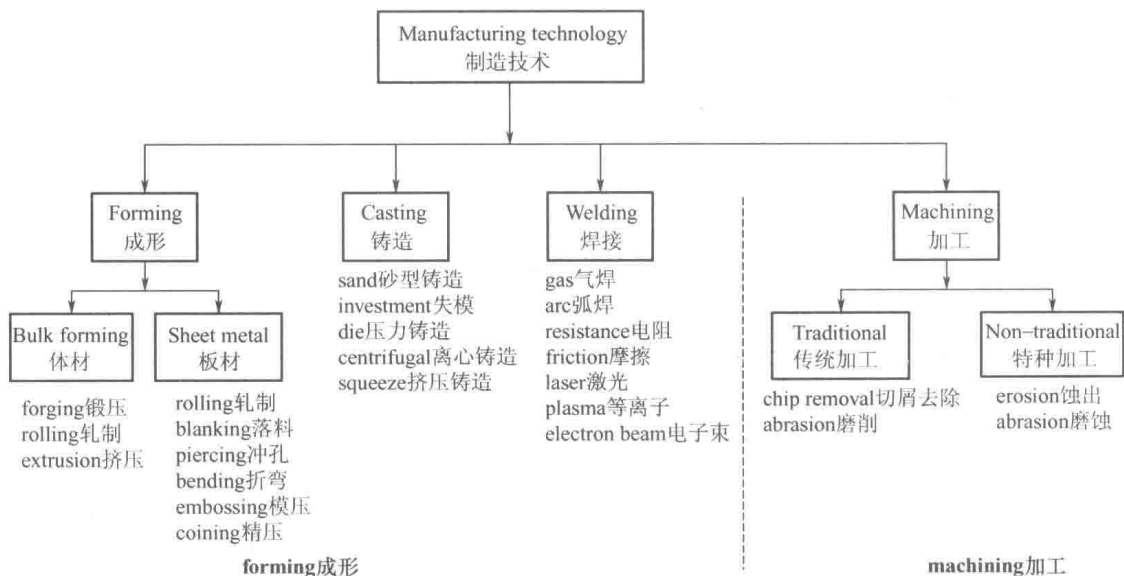


图 0.1 制造技术分类
Classification of manufacturing processes

必须指出的是，传统的磨削加工的磨具（砂轮、砂带）的磨料基本上是固定的形式；而非传统加工的磨蚀加工（超声冲击研磨、磨料流挤压珩磨、磨料喷射加工、磨料水射流加工、磁性磨料加工）类使用的磨料基本上是游离的、不固定的形式，因此我们称之为“磨蚀加工”，而非磨削加工。

2. 特种加工机床及其运动

1) 特种加工机床的类别（图 0.2）

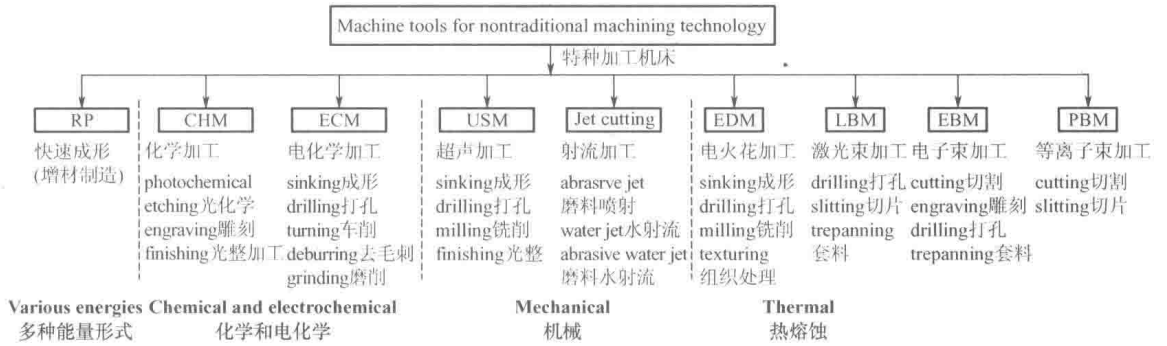


图 0.2 特种加工机床的分类

Classification of machine tools for nontraditional machining technology

2) 特种加工机床工件和工具的运动（表 0.1）

表 0.1 特种加工机床工件和工具的运动

Tool and work piece motions for nontraditional machine tools

Machining process 加工工艺	Workpiece 工件	Tool 工具	Remark 备注
Chemical (erosion) 化学（腐蚀）：			
CHM 化学铣削	●	●	
ECM (sinking) 电化学加工（成形）	●	↓	
Thermal (erosion) 热（蚀出）：			
EDM (sinking) 电火花加工（成形）	●	↓ ↷	In the slitting processes (plate cutting), a relative motion between tool and WP (traverse speed v_t) is imparted in horizontal directions (X, Y) 在（板材）切割工艺中，水平方向（X, Y）需工具和工件（横向进给 v_t ）的相对运动
EBM (drilling) 电子束加工（钻孔）	●	●	
LBM (drilling) 激光束加工（钻孔）	●	●	
PBM (drilling) 等离子加工（钻孔）	●	●	



Machining process 加工工艺	Workpiece 工件	Tool 工具	Remark 备注
Mechanical (abrasion) 机械 (磨蚀):			
USM 超声加工	●	↓ ↻	
AJM 磨粒喷射加工	●	↓ ↻	
WJM 水射流加工	●	● →	
AWJM 磨料水射流加工	● ↓ ↻	● →	

注: ↻, rotation 回转; ●, stationary 静止; →, linear motion 线性运动。

3. 特种加工技术产生的偶然及其特点促使其发展的必然

1) 产生的偶然、变害为利之典范

1943年苏联科学家拉扎林柯夫妇研究开关触点遭受火花放电熔蚀损坏现象及其原因时,发现电火花的瞬时高温可使局部的金属熔化、气化而被熔蚀掉,由此开创和发明了电火花加工,可以说这一发明很具偶然性。

对于电工设备,开关触点受熔蚀破坏本为坏事,但是对于加工则不然。特种加工著名学者及思想家周锦进教授说过:“加工就是按照要求(需求)而达到有规律的破坏”。可见电火花加工技术的发明就是“变害为利”的典型代表。特种加工工艺方法中还有诸多“变害为利”的启迪:“水滴石穿”与水射流加工,“金属阳极腐蚀”与电化学加工,“摩擦发热”与热熔钻加工、“沙尘暴”与磨料(气)喷射加工等。

2) “特”在何处

传统的机械加工方法绝大多数需要高速大功率的主运动(动能)、中低速进给运动和吃刀运动(即切削加工三要素)的配合来完成,相比而言,特种加工多数工艺方法不需主运动,有的也不需要进给运动和吃刀运动。这些都赋予特种加工“特”在以下几个方面。

(1) 多数工艺方法对工件材料的去除主要靠(电)化学能、热能等而非依靠机械动能。可以说是一种“以静制动”的方式,这样机床可以没有主轴,结构相对简单,且多数机床无须冷却润滑液系统,达到“化繁为简”之效果。

(2) 加工过程中工具和工件之间不存在显著的机械切削力。许多工艺方法中工具与工件不需接触,有些“隔山打牛”的味道,从而可以解决传统加工中存在的工艺系统刚度问题,如“车工怕细长,磨工怕薄片”。进一步讲,还可以简化夹具,甚至不需夹具。

(3) 工具的硬度可以比加工的工件更低。可以做到“以柔克刚”“以卵击石”“以弱胜强”。由此工具易于准备(设计和制造),也不需要金刚石、CBN等超硬材料或硬质合金、涂层刀具等高硬度材料,极大降低工具成本。

(4) 容易形成复合加工工艺。既可以与传统加工工艺复合,例如电化学机械加工;又可以与特种加工工艺复合,如超声电化学加工、电火花电化学加工。从而可以达到“各尽所能”“取长补短”的目标。

3) 发展的必然

常规的金属切削工艺以摩擦、挤压、塑性变形、剪切为基础去除材料；而特种加工工艺依靠其他要素（去除材料），诸如金属的熔化气化、电解移除、化学反应和机械磨蚀。推动特种加工工艺发展的主要原因有：高强度高硬度合金、复杂表面与结构、更高的精度和较低的表面粗糙度。

(1) 高强度高硬度合金：工件材料硬度常常高于刀具材料，有时对于硬脆材料再无必要采用机械加工方法。材料去除率随工件硬度的增加而降低，同时刀具磨损增大，这种情况可以考虑电化学方法。传统方法难于加工的新材料有：高强度/质量比材料、高抗热材料、高硬度材料，诸如：钛合金、镍合金或含有合金元素为钨、钼、铌的合金。

(2) 复杂表面与结构：采用传统工艺方法加工这些材料的复杂形状要么困难重重，要么费工费时。如此情况，特种加工工艺获得广泛应用和发展。有时需要加工三维的复杂表面，如模具表面，其表面的硬化工具钢材料很难用常规方法加工。RP 快速成形可以制造出常规加工不可想象的零件结构，如无缝链条、空心球体、镂空结构的零部件。

(3) 高精度和低的粗糙度：硬质工件材料在要求高精度和低粗糙度时，常规方法难以达到，因为其加工节拍太慢而成本增加。

除了几何形状复杂情况之外，有时还会要求加工难于达到的几何尺寸，例如长径比达到 1 000 的深长孔或直径小于 0.01mm 的极小孔，这些孔的加工采用常规方法几乎是不可能的事。

特种加工工艺的特点正好契合以上问题的解决，所以其相关技术和工艺方法应运而生并必然得到发展。

需要说明的是，特种加工工艺方法并非一定要取代传统加工方法，它们是传统加工方法的有益的必要的补充，而非“既生瑜，何生亮”。

4. 对制造业的影响与展望

特种加工工艺方法的产生、发展和广泛应用对传统加工制造业领域产生了许多前所未有的变革或思路的革新。具体体现在以下几个方面。

1) 思维方式的完善

传统的加工工艺多数为去除材料的减材形式，即产生切屑废料，总之成品比毛坯更轻；而特种加工工艺既有减材加工，还有增材加工（如电镀、快速成形），甚至还有不增不减的加工（如热熔钻加工）。如果说减材加工为传统的正向思维，那么增材加工无疑就是其逆向思维的结果。

2) 零部件结构设计的变更

一般地，产品设计、零部件设计都不能闭门造车、随心所欲，而必须考虑到其后续制造阶段可能性、方便性、成本、效率，即必须考虑零件加工的结构工艺性。如电火花、电解加工能够加工轴线弯曲各种截面的孔，这样传统的拼镶结构设计就可以变为整体结构设计。再如，装修行业大理石、陶瓷、玻璃等薄板件脆性材料，传统的方法难于加工复杂图案，只能采用拼接方式，而采用磨料水射流可以轻易完成复杂图案加工，从而使得其结构设计可以采用复杂的整体图案。传统的细长、薄壁、深小孔等难加工结构对于特种加工工艺也不再存在困难，传统加工对零件结构工艺性的诸多设计禁忌可以不再考虑。



3) 新品研发试制途径的改善

新品样机研发试制基本都为单件生产，其中涉及模具制造的零部件采用传统方法就会费工费时、增加成本。如一台计算机的外壳，采用快速成形可以在几个小时内制成，而要靠模具则需要数天才能完成，如果新品不量产，模具仅仅完成样品试制就报废，这将极大地增加试制成本。如果新品有冲裁零件，同样地采用电火花线切割加工可以很快很简单地直接切割出来，不再需要烦琐的冲压模具准备。

4) 制造工艺路线的更新

传统的工艺路线中提高硬度的热处理一般都安排在切削加工之后磨削精加工之前，原因在于低硬度材料的切削加工性好。而采用特种加工工艺可以把热处理工序排列在第一道工序；传统工艺工序排列一般遵从先面后孔、先基准面后其他面等原则，特种加工工艺可以做到先加工孔再加工表面，而其加工质量几乎没有差别。

5) 对材料可加工性的重新定义

高硬度、高脆性、高强度、高韧性等传统意义上的难加工材料已经不再是难加工材料，如硬质合金、淬火钢、不锈钢、钛合金、镍合金、各种工具钢、纤维增强复合材料、超硬材料（金刚石、CBN）、各种陶瓷等，采用特种加工技术几乎都可以比较容易进行。

6) 微观制造领域的可行手段

特种加工工艺技术中，有的是在分子、原子、离子、电子等层面进行，从理论上讲，就是实现纳米加工、各种细微加工、精细加工、MEMS（Micro Electronic and Mechanical System，微电子机械系统）的可行手段。

习 题

1. 特种加工在国外也叫做“非传统加工技术”，其“特”在何处？
2. 试述特种加工技术与传统加工技术的并存关系，并说明特种加工技术对现代制造业存在的必然性和影响。
3. 人们常言“打破传统，锐意创新”，特种加工技术的产生和发展对于科研和工程技术人员从事发明创新工作有哪些启迪？试举例说明生产、生活中还有哪些可以变害为利产生发明和创新的情形？



第1篇

热能蚀出

第 1 章

电火花成形加工 (EDM SINKING)

本章教学要点

知识要点	掌握程度	相关知识
电火花工作原理	掌握电火花加工原理，加工三个条件	高温熔蚀，工具电极和工件电极，一定间隙、工作液、脉冲电源
材料去除机理	了解材料去除四个过程	形成放电通道、熔化气化、材料抛出、消电离
EDM 特点	熟悉工艺特点	非接触加工等优点和不能加工非导体、效率低下等缺点
EDM 机床构成	熟悉机床结构；了解构成单元	脉冲电源、工作液、工具电极材料、供液方式、工具自动进给调节系统
工艺能力及规律	熟悉效率、质量指标及参数影响的定性规律；掌握工艺策略	材料去除率、电极损耗率、侧面间隙；效率与质量的协调
电火花加工工艺形式	掌握电火花加工的各种工艺形式及加工应用场合	EDM 铣削、穿孔、型腔加工、磨削、共轭回转、表面强化、镜面加工、复合工艺、圆角去毛刺等；反拷法、群电极
应用案例	了解共轭回转原理；熟悉供液装置及工艺要点	齿轮参数、内喷定向供液、二轴回转数控

(续)

知识要点	掌握程度	相关知识
应用案例	了解难点所在及其相应对策; 了解自导向工具电极	排屑、散热、内喷压力供液、导向器、内部自导向
	了解工具直线进给转化成角度进给的思路和机构	圆弧管电极, 设备改装



导入案例

模具行业的迅猛发展,对模具技术提出了新的挑战。镜面电火花加工一直以来都是模具技术的核心部分,尤其是在注塑模制造中发挥着举足轻重的作用。目前高速铣削技术的进步已经替代了模具制造中一些电火花加工工序,因此有人认为其发展趋势将替代电火花加工。但如果对这两大模具成形技术各自的优势及不足给予认真分析就可以发现,高速铣加工由于受铣削加工方式本身特点的制约,它在模具加工中并不能替代电火花加工。像深槽窄缝、内清角、棱边清晰的加工,细微、复杂、精密图案的加工,深型腔的加工,还有超硬材料的加工,这些都是高速铣加工能力所欠缺之处,相反电火花加工却占有绝对优势。另外,电火花加工在目前数控技术发展新形势的影响下,朝着更深层次、更高水平的数控化方向快速发展。

如今新型数控电火花机床层出不穷,各种品牌的数控电火花机床的性能有了全面提升,模具镜面火花机加工的精度已有全面提高,尺寸加工要求可达 $\pm 3\sim 4\mu\text{m}$ 、底面拐角 R 值要求小于 0.03mm ,加工表面粗糙度要求低至 $Ra0.3\mu\text{m}$,甚至要求镜面加工。模具镜面火花机加工精度的提高,完全受益于数控电火花机床精度的提高。因为使用机床进行加工,加工精度无法超越机床自身精度。因此一般放电机床难以胜任完成高精度的镜面火花机加工,选择好的放电机床是保证加工精度的前提。

资料来源: <http://comnews.cninfo.net/186140.htm>。

电火花加工(Electrospark Machining)又叫放电加工(Electrical Discharge Machining, EDM)。目前所有特种加工工艺方法中,电火花加工是工业应用最为广泛的一种,电火花加工的出现标志着特种加工技术学科的诞生。

1.1 电火花加工工作原理及材料去除机理



【参考视频】

1.1.1 电火花加工工作原理

电火花加工工作原理是基于极间放电产生火花带来的高温烧蚀。如图1.1所示,脉冲电源正负极分别与工件和工具连接,形成所谓的工件电极和工具电极,工件浸没在导电性能较差的液体介质里。当工具成形电极沿进给方向靠近工件且间隙小于一定值时,极间最靠近处形成脉冲式火花放电,其热能密度可达 $10^8\text{W}/\text{mm}^2$,在电火花通道中产生瞬时高温



使金属局部熔化、气化，从而蚀除少许金属，随着时间的推移和后续脉冲的到来，循环前述过程去除材料，累计去除材料越来越多，最终将工具电极的形状“复制”到工件之上如图 1.2 所示，达到加工去除之目的。



【参考视频】

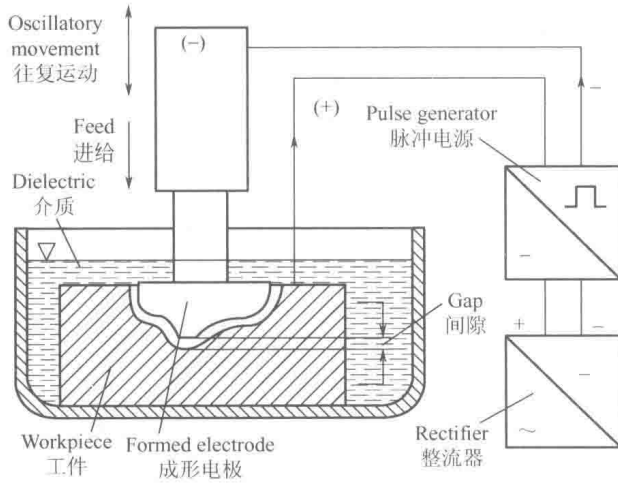


图 1.1 电火花加工原理 Principle of EDM

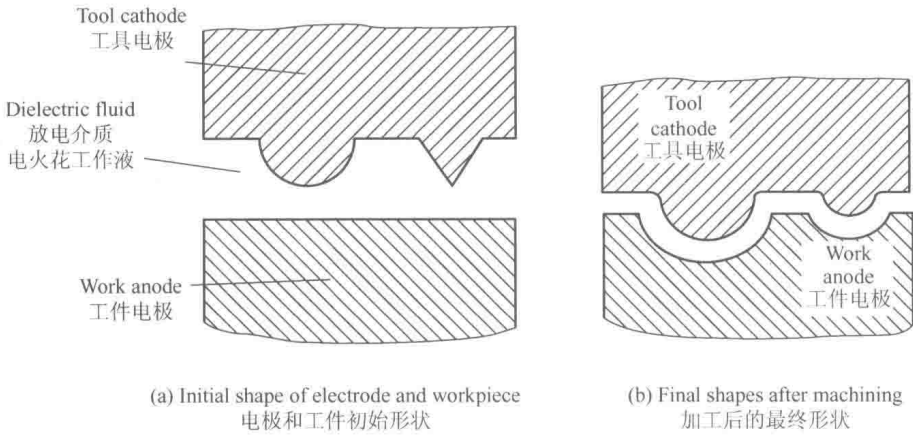


图 1.2 电火花加工典型的表面形成过程 Typical surface generation in EDM process

在去除工件材料的同时，加工区的热量部分被工具吸收造成工具耗损，只要加工条件或参数合理，工具的耗损率可以控制在工件的 1% 或更低。

上述过程可以看出，要实现电火花加工必须满足以下条件：①一定的间隙，一般为 10~500μm；②脉冲电源，常常采用晶体管脉冲电源；③绝缘液体介质。

1.1.2 电火花加工材料去除机理

电火花加工材料去除的微观机理比较复杂，目前比较通用的解释分为以下 4 个过程。

(1) 极间介质的电离、击穿，形成放电通道。工具电极与工件电极缓缓靠近，极间的电场强度增大，由于两电极的微观表面是凹凸不平的，因此在两极间距离最近处电场强度最大。