

“十二五”国家重点图书出版规划项目

先进制造理论与工程技术系列

TECHNOLOGY OF NON-TRADITIONAL
MACHINING

特种加工技术

(第2版)

主编 白基成 郭永丰 杨晓冬

主审 刘晋春 王 彤

哈尔滨工业大学出版社

“十二五”国家重点图书出版规划项目

先进制造理论研究与工程技术系列

**TECHNOLOGY OF NON-TRADITIONAL
MACHINING**

特种加工技术

(第2版)

主编 白基成 郭永丰 杨晓冬

主审 刘晋春 王 彤

哈尔滨工业大学出版社



内 容 简 介

本书讲述常规与传统切削、磨削加工技术以外的特种加工新技术,主要有电火花加工、数控电火花线切割加工、电化学加工、激光加工、电子束和离子束加工、超声加工、快速成形、化学加工等技术。它们的主要特点是不依靠机械能、切削力,而是采用电、热、光、声、化学等多种能量,可以“以柔克刚”,用软的工具加工硬的工件。

书中讲述各种特种加工的基本原理、基本设备、基本工艺规律、主要特点和应用范围。

本书可作为高等院校、中专学校机械制造工艺及机械电子专业和模具制造专业的特种加工课程的教材,也可作为机械制造、机械加工、模具加工等工程师、技术员和技术工人的自学教材和参考书。

本书配有多媒体课件光盘,内有与书中内容相对应的大量照片、录像和动画。其中学生版课件光盘随书赠送,读者可在计算机上自学,深化感性和理性认识,大大提高教学效果;教师版课件光盘需另行订购,其内容增加了教案编写和知识拓展等,有利于教师备课。

Non-Traditional Machining (NTM) is a category of technologies beyond conventional cutting and grinding. It covers Electrical Discharge Machining (EDM), Wire Electrical Discharge Machining (WEDM), Electrochemical Machining (ECM), Laser Beam Machining (LBM), Electron Beam Machining (EBM), Ion Beam Machining (IBM), Ultrasonic Machining (USM), Rapid Prototyping (RP), Chemical Machining (CHM), et al. NTM uses electrical energy, thermal energy, light energy, sonic energy and chemical energy as their primary sources of energy, but not mechanical energy, so NTM can use tools of soft materials to shape workpieces of hard materials.

图书在版编目(CIP)数据

特种加工技术/白基成,郭永丰,杨晓冬主编.—2版.—哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社,2015.1
ISBN 978-7-5603-4636-6

I.特… II.①白… ②郭… ③杨… III.特种加工—高等学校—教材 IV.TG66

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第048334号

责任编辑 黄菊英 李子江

封面设计 卞秉利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街10号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 19 字数 456千字

版 次 2015年1月第2版 2015年1月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-4636-6

定 价 38.00元(含学生版课件)

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

编写委员会名单

(按姓氏笔画排序)

主任	姚英学				
副主任	尤波	巩亚东	高殿荣	薛开	戴文跃
编委	王守城	巩云鹏	宋宝玉	张慧	张庆春
	郑午	赵丽杰	郭艳玲	谢伟东	韩晓娟

编审委员会名单

(按姓氏笔画排序)

主任	蔡鹤皋				
副主任	邓宗全	宋玉泉	孟庆鑫	闻邦椿	
编委	孔祥东	卢泽生	李庆芬	李庆领	李志仁
	李洪仁	李剑峰	李振佳	赵继	董申
	谢里阳				

总 序

自 1999 年教育部对普通高校本科专业设置目录调整以来,各高校都对机械设计制造及其自动化专业进行了较大规模的调整和整合,制定了新的培养方案和课程体系。目前,专业合并后的培养方案、教学计划和教材已经执行和使用了几个循环,收到了一定的效果,但也暴露出一些问题。由于合并的专业多,而合并前的各专业又有各自的优势和特色,在课程体系、教学内容安排上存在比较明显的“拼盘”现象;在教学计划、办学特色和课程体系等方面存在一些不太完善的地方;在具体课程的教学大纲和课程内容设置上,还存在比较多的问题,如课程内容衔接不当、部分核心知识点遗漏、不少教学内容或知识点多次重复、知识点的设计难易程度还存在不当之处、学时分配不尽合理、实验安排还有不适当的地方等。这些问题都集中反映在教材上,专业调整后的教材建设尚缺乏全面系统的规划和设计。

针对上述问题,哈尔滨工业大学机电工程学院从“机械设计制造及其自动化”专业学生应具备的基本知识结构、素质和能力等方面入手,在校内反复研讨该专业的培养方案、教学计划、培养大纲、各系列课程应包含的主要知识点和系列教材建设等问题,并在此基础上,组织召开了由哈尔滨工业大学、吉林大学、东北大学等 9 所学校参加的机械设计制造及其自动化专业系列教材建设工作会议,联合建设专业教材,这是建设高水平专业教材的良好举措。因为通过共同研讨和合作,可以取长补短、发挥各自的优势和特色,促进教学水平的提高。

会议通过研讨该专业的办学定位、培养要求、教学内容的体系设置、关键知识点、知识内容的衔接等问题,进一步明确了设计、制造、自动化三大主线课程教学内容的设置,通过合并一些课程,可避免主要知识点的重复和遗漏,有利于加强课程设置上的系统性、明确自动化在本专业中的地位、深化自动化系列课程内涵,有利于完善学生的知识结构、加强学生的能力培养,为该系列教材的编写奠定了良好的基础。

本着“总结已有、通向未来、打造品牌、力争走向世界”的工作思路,在汇聚多所学校优势和特色、认真总结经验、仔细研讨的基础上形成了这套教材。参加编写的主编、副主编都是这几所学校在本领域的知名教授,他们除了承担本科生教学外,还承担研究生教学和大量的科研工作,有着丰富的教学和科研经历,同时有编写教材的经验;参编人员也都是各学校近年来在教学第一线工作的骨干教师。这是一支高水平的教材编写队伍。

这套教材有机整合了该专业教学内容和知识点的安排,并应用近年来该专业领域的科研成果来改造和更新教学内容、提高教材和教学水平,具有系列化、模块化、现代化的特点,反映了机械工程领域国内外的新发展和新成果,内容新颖、信息量大、系统性强。我深信:这套教材的出版,对于推动机械工程领域的教学改革、提高人才培养质量必将起到重要推动作用。

蔡鹤皋

哈尔滨工业大学教授

中国工程院院士

丁酉年 8 月

第 1 版前言

如果您是一位机械制造、机械加工工艺工作者,或是有志于机械制造的人员,则请您在阅读本书之前思考并回答下列问题:

1. 如何在淬火钢上加工一个直径 5 mm、深 5 mm 的定位销孔?
2. 如何在厚 10 mm 的硬质合金上加工一个四方形或六角形的型孔?(有三四种可能的加工方法)
3. 如何在中碳钢的气动、液压元件上加工一个直径 0.8 ~ 1 mm、深 100 mm 的小孔?
4. 有哪些方法可以在 0.2 mm 厚的不锈钢板上加工出一排直径为 (0.1 ± 0.03) mm 的小孔?(有三四种可能的加工方法)
5. 有哪些方法可在 0.2 mm 厚的钨箔上加工出直径为 (0.05 ± 0.02) mm 的微孔?

如果您对上述问题能正确回答 4 道题以上,则可认为您对特种加工技术已基本了解;如果能正确回答 3 道题,则您对特种加工技术已基本入门;如果只能回答 2 道题或更少,则您对特种加工技术知道甚少。本着与时俱进的要求,您迫切需要知识更新,学习特种加工新技术。

特种加工是指传统的切削加工以外的新的加工方法。特种加工主要不是依靠机械能、切削力进行加工,且可用软的工具(甚至不用工具)加工硬的工件,可以加工各种难加工材料、复杂表面和小孔、深孔、窄缝等有某些特殊要求的零件。

各种特种加工方法在生产中的应用日益广泛,近十几年来无论在国内或国外,电加工机床年产量的平均增长率均大大高于金属切削机床的增长率,生产中已形成一支从事特种加工的技术队伍。为了适应特种加工技术的迅速发展和应用的需要,近年来我国已有越来越多的工科院校陆续开设特种加工课程,并举办了很多短训班。

本书内容主要包含:概述、电火花加工、电火花线切割加工技术、电化学加工技术、超声加工技术、激光加工技术、电子束和离子束加工技术、磨料流动加工、水射流切割、快速成形技术等特种加工方法的基本原理、基本设备、工艺规律、主要特点和应用范围。

本书可作为高等工科院校机制专业(机械制造工艺和设备)及其他相近专业的特种加工课程的教材,也可作为从事机械制造方面的工程技术人员和技术工人的参考书。

本书由哈尔滨工业大学机电工程学院特种加工及机电控制研究所白基成、郭永丰、刘晋春教授主编,参加编写人员有赵家齐、王振龙、狄士春、胡富强、王致良、杨晓冬、迟关心、宋博岩、曹国辉、刘华、韩国柱等。全书由北京航空航天大学周正干教授主审。

由于本书涉及的内容较为广泛,但收集的资料有限,时间仓促,难免有不足和欠妥之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2006 年 8 月

第2版前言

特种加工是现代先进制造工程技术中较为重要和实用的新技术之一,而且在生产中已较为广泛地获得应用,它是我国从制造大国过渡到制造强国的重要手段之一。但是现在仍有一些工程技术人员,尤其是大专院校师生,对它还知之甚少。

如果您是一位机械制造、机械加工工艺工作者,或是有志于机械制造的人员,则请您在阅读本书之前思考并回答下列问题:

1. 如何在淬火钢上加工一个直径 5 mm、深 5 mm 的定位销孔?
2. 如何在厚 10 mm 的硬质合金上加工一个四方形或六角形的型孔?(有三四种可能的加工方法)
3. 如何在中碳钢的气动、液压元件上加工一个直径 0.8~1 mm、深 100 mm 的小孔?
4. 有哪些方法可以在 0.2 mm 厚的不锈钢板上加工出一排直径为 0.1 ± 0.03 mm 的小孔?(有三四种可能的加工方法)
5. 有哪些方法可在 0.2 mm 厚的钨箔上加工出直径为 0.05 ± 0.02 mm 的微孔?

如果您能正确回答出 4 道题以上,则可认为您对特种加工技术已基本了解;如果能正确回答 3 道题,则您对特种加工技术已基本入门;如果只能回答出 2 道题或更少,则您对特种加工技术知道尚少。本着与时俱进的要求,您迫切需要知识更新,学习特种加工新技术。

特种加工是指传统的切削加工以外的新的加工方法。特种加工主要不是依靠机械能、切削力进行加工,而且可用软的工具(甚至不用工具)加工硬的工件,可以加工各种难加工材料、复杂表面和小孔、深孔、窄缝等有某些特殊要求的零件。

各种特种加工方法在生产中的应用日益广泛,近十几年来无论在国内或国外,电加工机床年产量的平均增长率均大大高于金属切削机床的增长率,生产中已形成一支从事特种加工的技术队伍。为了适应特种加工技术的迅速发展和应用的需要,近年来我国已有越来越多的工科院校陆续开设特种加工课程,并举办了很多短训班。

为满足科学技术和生产发展的需求,本书第 2 版在第 1 版的基础上增加了第 11 章精密、微细加工技术及第 12 章纳米技术和纳米加工技术,还对全书内容进行了补充、完善和修改。同时增加了与本书内容配套的学生版和教师版多媒体课件,以便于教师授课、学生学习,更好地提高教学质量。

随书赠送学生版多媒体课件光盘一张,内容有教学演示、习题解答、实验指导、知识扩展及使用帮助五大模块,并附加文字说明、图片、录像片段和大量形象逼真的动画,使读者能更快、更深地了解 and 掌握特种加工技术。本书另有教师版多媒体课件光盘一张,增加了教案编写和大量的知识扩展等,能帮助教师更深入地掌握特种加工技术,有助于教师备课和学生学习。如需教师版课件,请与本书主编杨晓冬联系。

本书可作为高等工科院校机制专业(机械制造工艺和设备)和其他相近专业的特种加工课程的教材,也可作为从事机械制造方面的工程技术人员和技术工人的参考书。

本书由哈尔滨工业大学机电工程学院特种加工和机电控制研究所白基成、郭永丰、

杨晓冬三位教授主编,由该所刘晋春教授、王彤修改并主审。

参加本书编写工作的人员(按章节次序)有:第1章概念,白基成;第2章电火花加工技术,迟关心;第3章电火花线切割加工技术,李立青,刘华;第4章电化学加工技术,郭永丰,第5章激光加工技术,杨晓冬;第6章电子束和离子束加工技术,胡富强;第7章超声加工技术,胡富强;第8章快速成形技术,杨晓冬;第9章其他特种加工技术,韦东波;第10章特殊、复杂、典型难加工零件的特种加工技术,王玉魁;第11章精密、微细加工技术,刘晋春,郭永丰,刘庆滨;第12章纳米技术和纳米加工技术,刘晋春,郭永丰,刘庆滨;第13章特种加工中的安全、低碳环保和绿色加工技术,刘晋春,刘庆滨。

参加本书多媒体课件策划及主编的人员有:韦东波,迟关心,杭观荣,曹国辉;参加课件制作的人员有:韦东波,王玉魁,张恒,凡银生,曹国辉,杭观荣,刘庆滨,哈尔滨工业大学媒体系陈康等多名研究生及本科生。

由于本书涉及的内容较为广泛,但收集的资料仍有限,时间仓促,难免有不足和欠妥之处,恳请广大读者批评指正。

对本书的意见和建议除反映给出版社外,也可直接与主编及主审联系:

地址:哈尔滨工业大学 421 信箱 白基成,郭永丰,杨晓冬,刘晋春

邮政编码:150001

电子邮箱为:

白基成 jicheng@hit.edu.cn

郭永丰 guoyf@hit.edu.cn

杨晓冬 xdyang@hit.edu.cn 或 luty95@jahoo.com.cn

刘晋春 liulll@hit.edu.cn

编 者

2014年12月

本书所用主要符号

A	振幅,加工面积	K_R	与材料有关的常数
a	加速度,有效离子浓度	L	电感,长度
B	宽度	$L_{1,2,3,4}$	线切割直线指令
B	数控线切割编程中的分隔符号	l	长度
b	宽度,缩放量	m	质量
C	电容,热容,电解加工中的双曲线常数	$NR_{1,2,3,4}$	线切割逆圆指令
c	比热容,波速,光速	\bar{P}	平均功率
C_B	B 的浓度或称 B 的物质的质量浓度	p	压强,能量密度
D	直径,线切割中的停机代码	q	蚀除量,流量
d	直径	q'	单个脉冲蚀除量
E	光子能量,原子能级,电源电压,工具电极	q_a	正极(阳极)蚀除量
e	电子负电荷	q_c	负极(阴极)蚀除量
F	偏差值,作用力,电化学中的法拉第常数,焦距	q_g	气体流量
f	频率,焦距	q_l	液体流量
G	重力	q_q	气化热
G	数控编程中准备功能代码或数控线切割编程中的计数方向	q_r	熔化热
g	重力加速度	R	电阻,半径
H	磁场强度,高度	r	半径
h	深度,高度,厚度,普朗克常数	S	放电间隙,加工间隙,位移量
I	电流,纸带孔符号	S_B	最佳放电间隙
I_0	光强度,同步孔符号	S_L	侧面单边放电间隙
i	电流密度	S_m	物理因素造成的机械间隙
i_a	切断电流密度	$SR_{1,2,3,4}$	线切割顺圆指令
i_e	放电电流	T	温度
\hat{i}_e	脉冲电流幅值	T_f	沸点
\bar{i}_e	平均放电电流	T_r	熔点
J	能量密度	t	时间
J	数控线切割中的计数长度	t_c	充电时间
K	质量电化学当量,传热系数,某种常数,腐蚀系数	t_e	放电时间
K_a, K_c, K_u	与工艺参数有关的常数	t_i	脉冲宽度(简称脉宽)
		t_o	脉冲间隔(简称脉间)
		t_p	脉冲周期
		u	电压

- u_d 击穿电压
 u_e 放电电压
 \bar{u}_e 平均电压
 \hat{u}_i 开路电压,空载电压,峰值电压
 U 电位差,电源电压,空载电压
 U_a 阳极电压
 U_c 阴极电压
 U_R 欧姆电压
 U' 平衡电极电位
 U^0 标准电极电位
 V 体积,电位
 v 进给速度
 v_A 加工速度(以长度表示)
 v_a 电解加工中阳极蚀除速度
 v_c 电解加工中阴极进给速度
 v_d 工具电极的进给速度
 v_{dA} 空载时工具电极的进给速度
 v_{d0} 短路时工具电极的回退速度
 v_E 工具电极损耗速度
 v_m 加工速度(以质量表示)
 v_g 工件蚀除速度
 v_n 法向进给速度
 v_s 走丝速度
 v_w 加工速度(以体积表示)
 W 宽度,能量,功
 W_M 单个脉冲能量
 Z 数控线切割中加工指令
 Z 加工余量,气液混合比
 Δ 加工间隙
 Δ_a 电解加工时的切断间隙
 Δ_b 电解加工时的平衡间隙
 Δ_f 电解加工时的端面间隙
 Δ_n 电解加工时的法向间隙
 Δ_0 电解加工时的起始间隙
 Δ_s 电解加工时的侧面间隙
 α 热扩散率,落料角
 β 刃口斜度
 δ 放电间隙
 η 效率,电流效率
 θ 工具电极的相对损耗率,角度,旋转运动,发散角,入射角
 θ_L 长度相对损耗率
 κ 温度扩散率
 λ 波长,热导率
 λ_0 中心波长
 Δ_λ 光源的谱线宽度
 ρ 密度,电阻率
 σ 电导率
 τ 时间常数
 ω 体积电化学当量,圆频率,角速度
 φ 电火花加工有效脉冲利用率,相对放电时间率
 Φ 电火花加工绝对放电时间率
 ϕ 直径

目 录

第1章 概 述	(1)
1.1 特种加工的产生和发展	(1)
1.2 特种加工的分类	(3)
1.3 特种加工对材料可加工性和结构工艺性等的影响	(5)
思考题与习题	(6)
第2章 电火花加工技术	(7)
2.1 电火花加工的基本原理、分类和用途	(7)
2.2 电火花加工的机理	(11)
2.3 电火花加工中的一些基本规律	(14)
2.4 电火花加工用的脉冲电源	(26)
2.5 电火花加工的自动进给调节系统	(33)
2.6 电火花加工机床	(40)
2.7 电火花穿孔成形加工	(42)
2.8 其他电火花加工和短电弧加工	(54)
思考题与习题	(69)
第3章 电火花线切割加工技术	(71)
3.1 电火花线切割加工的原理、特点和应用范围	(71)
3.2 电火花线切割加工设备	(73)
3.3 电火花线切割控制系统和编程技术	(80)
3.4 影响线切割工艺指标的因素	(89)
3.5 线切割加工工艺及其扩展应用	(95)
思考题与习题	(99)
第4章 电化学加工技术	(101)
4.1 电化学加工的原理及分类	(101)
4.2 电 解 加 工	(107)
4.3 电 解 磨 削	(137)
4.4 电铸、涂镀及复合镀加工	(147)
思考题与习题	(155)
第5章 激光加工技术	(157)
5.1 激光加工的原理和特点	(157)
5.2 激光加工的基本设备	(162)
5.3 激光加工工艺及应用	(166)
思考题与习题	(172)

第 6 章 电子束和离子束加工技术	(173)
6.1 电子束加工	(173)
6.2 离子束加工	(179)
思考题与习题	(186)
第 7 章 超声加工技术	(187)
7.1 超声加工的基本原理和特点	(187)
7.2 超声加工设备及其组成部分	(190)
7.3 超声加工的速度、精度、表面质量及其影响因素	(195)
7.4 超声加工的应用	(197)
思考题与习题	(202)
第 8 章 快速成形技术	(203)
8.1 光敏树脂液相固化成形	(203)
8.2 选择性激光粉末烧结成形	(206)
8.3 薄片分层叠加成形	(209)
8.4 熔丝堆积成形	(212)
思考题与习题	(214)
第 9 章 其他特种加工技术	(215)
9.1 化学加工	(215)
9.2 等离子体加工	(223)
9.3 挤压珩磨	(226)
9.4 水射流切割	(228)
9.5 磁性磨料研磨加工和磁性磨料电解研磨加工	(231)
9.6 铝合金微弧氧化表面陶瓷化处理技术	(232)
思考题与习题	(237)
第 10 章 特殊、复杂、典型难加工零件的特种加工技术	(238)
10.1 航天、航空工业中小深孔、斜孔、群孔零件的特种加工	(238)
10.2 排孔、小方孔筛网的特种加工	(240)
10.3 薄壁、弹性、低刚度零件的特种加工	(243)
10.4 微细表面、零件的电火花加工	(247)
10.5 超短脉冲微细电化学加工	(252)
思考题与习题	(254)
第 11 章 精密、微细加工技术	(255)
11.1 产生精密、微细加工的社会需求	(255)
11.2 微细加工的特点	(256)
11.3 微细加工的机理	(256)
11.4 微细加工方法	(257)
思考题与习题	(265)
第 12 章 纳米技术和纳米加工技术	(266)

12.1	纳米技术概述	(266)
12.2	纳米级测量和扫描探针测量技术	(266)
12.3	纳米级加工和原子操纵技术	(271)
12.4	微型机械、微型机电系统及其制造技术	(278)
	思考题与习题	(279)
第 13 章	特种加工中的安全、低碳环保和绿色加工技术	(280)
13.1	特种加工中的安全、低碳环保技术	(280)
13.2	特种加工中的绿色加工和节能技术	(285)
	思考题与习题	(286)
	参考文献	(287)

1.1 特种加工的产生和发展

传统的机械加工已有很久的历史,它对人类的生产和物质文明起到了极大的作用。例如,在18世纪70年代就发明了蒸汽机,但苦于加工不出高精度的蒸汽机气缸而无法推广应用,直到有人创造和改进了气缸镗床,解决了蒸汽机主要部件的加工工艺,才使蒸汽机获得广泛应用,引起世界性的第一次产业革命。这一事例充分说明了加工方法对新产品研制、推广和社会经济等起着多么重大的作用。随着新材料、新结构的不断出现,情况将更是这样。

但是从第一次产业革命以来,一直到第二次世界大战以前,在这段长达150多年都靠机械切削加工(包括磨削加工)的漫长年代里,并没有产生特种加工的迫切要求,也没有发展特种加工的充分条件,人们的思想一直还局限在自古以来传统的用机械能量和切削力来除去多余的金属,以达到加工的要求。

直到1943年,前苏联拉扎连柯夫妇研究电器开关触点遭受火花放电腐蚀损坏的现象和原因时,发现电火花的瞬时高温可使局部的金属熔化、气化而被蚀除掉,从而把有害的电火花腐蚀变为有用的新加工方法,开创和发明了电火花加工方法,即用铜丝在淬火钢上加工出小孔,用软的工具加工任何硬度的金属材料,首次摆脱了传统的切削加工方法,直接利用电能和热能来去除金属,获得“以柔克刚”的效果。

第二次世界大战后,特别是进入20世纪50年代以来,随着生产发展和科学实验的需要,很多工业部门,尤其是国防工业部门,要求尖端科学技术产品向高精度、高速度、高温、高压、大功率、小型化等诸多方向发展,它们所采用的材料越来越难加工,零件形状越来越复杂,加工精度、表面粗糙度和某些特殊要求也越来越高,对机械制造部门提出了以下新的要求:

(1) 解决各种难切削材料的加工问题

如硬质合金、钛合金、耐热钢、不锈钢、淬火钢、金刚石、宝石、石英以及锆、硅等各种高硬度、高强度、高脆性的金属及非金属材料的加工。

(2) 解决各种特殊、复杂表面的加工问题

如喷气涡轮机叶片、整体涡轮、发动机机匣及锻压模、注塑模的立体成形表面,各种冲模、冷拔模特殊截面的型孔,炮管内膛线,喷油嘴、栅网、喷丝板上的小孔、窄缝等的加工。

(3) 解决各种超精、光整或具有特殊要求的零件的加工问题

如对表面质量和精度要求很高的航天、航空陀螺仪、伺服阀,以及细长轴、薄壁零件、弹性元件、低刚度零件等的加工。

要解决上述一系列工艺问题,仅仅依靠传统的切削加工方法就很难实现,甚至根本无法实现,人们相继探索研究新的加工方法,特种加工就是在这种历史条件下产生和发展起

来的。但外因是条件,内因是根本,事物发展的根本原因在于事物的内部,特种加工之所以能产生和发展的内因,在于它具有切削加工所不具有的本质和特点。

切削加工的本质和特点为:一是刀具材料比工件更硬;二是利用机械能和切削力把工件上多余的材料切除。一般情况下这是行之有效的方法。但是,在工件材料越来越硬、加工表面越来越复杂的情况下,矛盾转化,“物极必反”,原来行之有效的方法却转化为限制生产率和影响加工质量的不利因素了。于是人们开始探索用软的工具加工硬的材料,不仅用机械能,而且还采用电、化学、光、声等能量来进行加工。到目前为止,已经找到了多种这一类的加工方法。为区别于现有的金属切削加工,这类新加工方法统称为特种加工,国外称为非传统加工(Non-Traditional Machining,简称NTM)或非常规机械加工(Non-Conventional Machining,简称NCM)。

特种加工与切削加工的不同点是:

① 特种加工主要依靠电、化学、光、声、热或其组合等能量去除金属材料,而不主要依靠机械能;

② 工具硬度可以低于被加工材料的硬度;

③ 加工过程中工具和工件之间不存在显著的机械切削力。

正因为特种加工工艺具有上述特点,所以就总体而言,特种加工可以加工任何硬度、强度、韧性、脆性的金属或非金属材料,且专长于加工复杂、微细表面和低刚度零件。同时,有些方法还可用以进行超精加工、镜面光整加工和纳米级(原子级)加工。

我国的特种加工技术起步较早。20世纪50年代中期我国工厂中已设计研制出电火花穿孔机床、电火花表面强化机,中国科学院电工研究所、原机械工业部机床研究所、原航空工业部625研究所、哈尔滨工业大学、原大连工学院等相继成立电加工研究室,并开展电火花加工和电化学加工的科研工作。50年代末营口电火花机床厂开始成批生产电火花强化机和电火花机床,成为我国第一家电加工机床专业生产厂。以后上海第八机床厂、苏州第三光学仪器厂、苏州长风机械厂和汉川机床厂等专业生产电火花加工机床。

20世纪60年代初,中国科学院电工研究所研制成功我国第一台模仿形电火花线切割机床,这是我国电火花线切割加工的“春燕”。60年代末上海电表厂张维良工程师在阳极-机械切割技术的基础上发明了我国独创的高速走丝线切割机床,上海复旦大学配套研制出电火花线切割数控系统,从此如雨后春笋一般,电火花、线切割加工技术在我国迅速发展起来。

20世纪50年代末电解加工在兵器工业部系统开始用来加工高射炮管内的膛线等,又逐步用于航空工业中加工喷气发动机叶片和汽车拖拉机行业中加工型腔模具等。

20世纪50年代末我国曾出现“超声波热”,把超声技术用于强化工艺过程和加工,成立了上海超声仪器厂和无锡超声电子仪器厂等。

1963年哈尔滨工业大学在国内最早开设特种加工课程和实验,并编印出相应的教材,之后经修订成为39所院校的统编教材和机械制造专业的通用教材、规划教材。

1979年我国成立了全国性的电加工学会,创办了全国发行的《电加工》杂志(2000年改名为《电加工及模具》,2001年电加工学会改名为特种加工学会)。1981年在我国高校成立了特种加工教学研究会。同年我国在机床与工具协会下还成立了特种加工机床行业协会,挂靠苏州电加工机床研究所,这对电加工和特种加工的普及、提高起了很大的促进作用。由于我国幅员辽阔、人口众多,在工业化过程中,对特种加工技术,既有广大的社会需求,又有巨大的发展潜力。1997年我国电火花穿孔、成形机床的年产量大于1000台,电火花数控线切割机床的年产量超过3800台,其他电加工机床在200台以上。2002年

内电火花穿孔、成形机床年产量超过 3 000 台,电火花数控线切割机床年产量超过15 000 台。2004 年的产量更是翻一番还多,电加工机床生产企业已由 50 家增至 150 家以上。2005 年电火花成形机床年产量约 4 000 台,高速电火花小孔加工机床年产约 2 500 台,快走丝线切割机床年产量约 4 万台,慢走丝线切割机床年产量约 2 400 台。目前,我国特种加工机床生产企业在 300 家以上,生产的主要产品有:电火花成形加工机床、电火花线切割加工机床、激光加工机床、快速成形机床等。2012 年我国电火花加工机床的总产量约 55 000 台。其中电火花成形加工机床 6 000 台;单向走丝(慢走丝)电火花线切割机床 3 000 台;往复走丝(快走丝)电火花线切割机床 42 000 台,带多次切割功能的机床(俗称“中走丝机床”)约占 20%;电火花高速小孔加工机床 3 000 台。2012 年我国大功率激光切割加工设备的产量在 1 000 台以上,激光切割在整个激光应用市场约占 28% 的份额(应用最多、产量最大的是激光打标机,这里未作统计)。2012 年我国快速成形机床的产量为 500 台。电加工、特种加工的机床总拥有量也居世界的前列。我国已有多名科技人员荣获电火花、线切割、超声波、电化学加工等八项国家级发明奖。但是由于我国原有的工业基础薄弱,特种加工设备和整体技术水平与国际先进水平还有一定差距,高档电加工机床每年还要从国外进口 300 台以上,这些都有待于我们将创新和加工制造共同发展,使我国从制造大国发展成为制造强国。

1.2 特种加工的分类

特种加工的分类目前还没有明确的规定,一般可按加工方法、能量来源、作用形式和加工原理来分类。常用特种加工方法的分类如表 1.1 所示。

表 1.1 常用特种加工方法的分类

特种加工方法		能量来源及作用形式	加工原理	英文缩写
电火花加工	电火花成形加工	电能、热能	熔化、气化	EDM
	电火花线切割加工	电能、热能	熔化、气化	WEDM
	短电弧加工	电能、热能	熔化、气化	SEDM
电化学加工	电解加工	电化学能	金属离子阳极溶解	ECM(ELM)
	电解磨削	电化学、机械能	阳极溶解、磨削	EGM(ECC)
	电解研磨、珩磨	电化学、机械能	阳极溶解、研磨	ECH
	电铸	电化学能	金属离子阴极沉积	EFM
激光加工	涂镀	电化学能	金属离子阴极沉积	EPM
	激光切割、打孔	光能、热能	熔化、气化	LBM
	激光打标	光能、热能	熔化、气化	LBM
激光处理、表面改性	光能、热能	熔化、相变	LBT	
电子束加工	切割、打孔、焊接	电能、热能	熔化、气化	EBM
离子束加工	蚀刻、镀膜、注入	电能、动能	原子撞击	IBM
等离子弧加工	切割(喷镀)	电能、热能	熔化、气化(涂覆)	PAM
超声加工	切割、打孔、雕刻	声能、机械能	磨料高频撞击	USM
化学加工	化学铣削	化学能	腐蚀	CHM
	化学抛光	化学能	腐蚀	CHP
	光刻	光、化学能	光化学腐蚀	PCM
快速成形	液相固化法	光、化学能	增材法加工	SL
	粉末烧结法			SLS
	纸片叠层法	光、热、机械能		LOM
	熔丝堆积法	电、热、机械能		FDM