



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
荣获第二届全国高等学校优秀教材一等奖

特种加工

第5版

Non-Traditional Machining

哈尔滨工业大学 刘晋春 白基成 郭永丰 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



TG66/2=3D

2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
荣获第二届全国高等学校优秀教材一等奖

特种加工 第5版

主编 刘晋春 白基成 郭永丰
主审 周正干 郭艳玲

机械工业出版社

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书第1版获第二届全国高等学校机电类专业优秀教材一等奖。

本书主要阐述电火花加工、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、快速成形以及化学加工、磨料流加工和特殊、复杂、典型难加工零件等特种加工方法的基本原理、基本设备、基本工艺规律、主要特点和适用范围。本书为高等工业院校机械类专业特种加工课程教材，也可供从事机械制造方面的工程技术人员和技术工人参考。

本书配有学生版CAI课件（随书出版）和教师版CAI课件（另行订购），并由V1.0版升级为V1.1版。

图书在版编目(CIP)数据

特种加工/刘晋春等主编.—5版.—北京：机械工业出版社，2008.3
(2008.7重印)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-06868-6

I. 特… II. 刘… 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(2008)第017892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：高文龙 责任编辑：刘小慧 责任校对：樊钟英
封面设计：张静 责任印制：杨曦
北京机工印刷厂印刷(兴文装订厂装订)
2008年7月第5版第2次印刷
184mm×260mm·14.5印张·354千字
标准书号：ISBN 978-7-111-06868-6
ISBN 978-7-89492-044-7(光盘)
定价：28.00元(含1CD)

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
销售服务热线电话：(010) 68326294
购书热线电话：(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话：(010) 88379712
封面无防伪标均为盗版

第5版前言

本书第5版与第4版相比在文字和插图方面推陈出新,改动量约30%有余。文中特别加强了对学生、读者创新性思维的培养。第5版对多媒体课件CAI作了升级改进,增加了30%以上的录像和动画等内容。有关多媒体课件光盘的基本说明请见本书第4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为6mm、深为10mm的定位销孔?
- 2) 如何在厚12mm的硬质合金板上加工一个四方形或六角形的型孔(有3~4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为1.0mm、深为100mm的小孔?
- 4) 有哪些方法可以在0.2mm厚的不锈钢板上加工出一排20个直径为 (0.1 ± 0.03) mm的小孔(有3~4种可能的加工方法)?
- 5) 有哪些方法可以在0.1mm厚的钨箔上加工出直径为 (0.05 ± 0.002) mm的微孔?

如果您对上述问题能正确回答出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之甚少。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,而是用软的工具(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,并举办了很短训班。

本书内容主要包括:概述、电火花加工、电火花线切割加工技术、电化学加工技术、激光加工技术、电子束和离子束加工技术、超声加工技术、磨料流加工、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、基本工艺规律、主要特点和应用范围。

本书随书附赠学生版多媒体课件光盘一张,内有大量的附加文字说明、图片、录像片段和动画,使读者能更快、更深地了解、掌握特种加工技术。本书另有教师版多媒体课件光盘一张,内有大量的知识扩展,能帮助教师更深入地掌握特种加工技术,有助于特种加工课程的备课和提高课堂教学水平。

本书可作为高等工业院校机械专业(机械设计制造及其自动化)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刘晋春、白基成、郭永丰教授主编,参加编写的人员按工作量排序有杨晓冬、李立青副教授,赵家齐、王振龙、狄

士春教授,胡富强研究员,王致良高级工程师,迟关心、宋博岩副教授,曹国辉博士、讲师韩国柱工程师等。全书由北京航空航天大学周正干教授、博士生导师和东北林业大学郭艳玲教授、博士生导师主审。

参加本书第5版教材多媒体升级编制工作的人员有:机电工程学院刘晋春、白基成、郭永丰、赵家齐教授,曹国辉博士、杭观荣博士研究生,计算机学院本科生严永亮、温良巍、曹佳俊。

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。对本教材的意见、建议,除填写书末信息反馈表反映给出版社外,也可与主编联系。联系方式是:哈尔滨市哈尔滨工业大学421信箱刘晋春、白基成或郭永丰,邮编:150001。

刘晋春,电话:0451-86413834,电子邮箱:liu3ll@hit.edu.cn

白基成,电话:0451-86402636,电子邮箱:jicheng bai@hit.edu.cn

郭永丰,电话:0451-86418084,电子邮箱:guoyf@hit.edu.cn

编者

第 4 版前言

本书第 1 版自 1987 年 6 月第 1 次印刷到 1992 年 4 月第 6 次印刷, 共计发行 33000 册, 第 2 版自 1994 年 5 月第 8 次印刷到 1998 年 5 月第 11 次印刷, 共计发行 76950 册, 第 3 版自 1999 年 1 月第 12 次印刷到 2003 年 1 月第 19 次印刷, 共计发行 41000 册, 第 1、2、3 版累计共印刷发行了 109950 册, 深得各高等院校师生以及广大读者的好评, 认为本教材在现代先进制造技术领域内向读者介绍了很多具体的先进加工工艺方法和设备, 很好地起到了知识更新和知识储备的作用。

为了更好地体现与时俱进、精益求精的精神, 自 2003 年 1 月至 10 月, 组织编写了第 4 版。

本书第 4 版主要作了以下三方面的改进:

(1) 对书中内容进一步推陈出新 删除了某些陈旧繁琐的内容, 增加了一些特种加工技术中新发展的内容。例如加强了电火花展成、磨削加工, 增加了第八章快速成形技术和在第九章其他特种加工中增加了第六节铝合金微弧氧化表面陶瓷化处理技术等。

(2) 对原书中各章末的思考题和习题增加了标准答案 应广大读者(包括学校师生和企业中的工程技术人员) 来电来函的要求, 特组织编写了这些思考题和习题的标准答案, 供广大读者作启发参考。为了不致使教材的文图篇幅超限, 特将这些标准答案收录入随书发行的电子光盘中。

(3) 本书同时制作并配套发行了多媒体 CAI 课件——《特种加工》多媒体课件 V1.0 版 此套多媒体课件共有两张光盘, 一张光盘为学生版, 随书发行; 另一张光盘为教师版, 需另订购。无论学生版光盘或教师版光盘, 课件内容的形式有: 文字表格、图片、录像片断和动画四种。

本套多媒体课件的目的和作用在于增加学生、读者的感性认识, 深化理性认识, 提高学习效果; 对授课教师而言, 提供教案编排系统、典型的讲课教案和大量的备课素材, 可以丰富教学内容, 提高教学效果。

教师版光盘的内容及功能为:

教学演示: 按章节编排, 对教材中的难点用多媒体方式进行演示讲解;

教案编排: 提供教案创建、教案修改、教案演示和典型教案等强大功能, 使教师逐步摆脱黑板和粉笔的束缚;

习题解答: 包括教材的课内习题和扩充的课外习题及答案, 使教师具有更广阔的习题参考空间;

实验指导: 涵盖实验辅导、实验报告及部分实验仿真内容;

教材作者: 介绍本书三位主编的情况;

使用帮助: 提供课件的软件说明和国内外与特种加工相关的网站连接, 以及推荐其他参考书目;

知识扩展: 增加一些教材之外的特种加工工艺实例、样件图片, 以及教材中个别内容的

进一步补充等知识背景;

全书插图:可根据书中的图号很方便地查找和调用《特种加工》第4版书中所有的插图,以便于教师组织教案和多媒体教学。

学生版光盘的内容及功能为:

教学演示:同教师版;

习题解答:包括教材中的习题及其答案;

实验指导:同教师版;

教材作者:同教师版;

使用帮助:同教师版。

本书第4版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刘晋春、赵家齐、赵万生三位教授主编,由哈尔滨工程大学孟庆鑫教授主审。

参编人员有哈尔滨工业大学白基成教授、郭永丰教授、王振龙教授和曹国辉博士等。

参加编制本书第4版多媒体课件的有:哈尔滨工业大学机电工程学院刘晋春、赵家齐、赵万生、白基成、郭永丰、王振龙教授,制图教研室栾英艳副教授,特种加工及机电控制研究所曹国辉博士,机电工程学院硕士生杭观荣、孙姝,本科生辛跃、李露妮,计算机学院学生李静和张露等。

由于时间及水平有限,书中和课件中难免会有错误和不足之处,恳请广大读者指正。

编者

2003年11月

第3版前言

本书自1994年5月第2版第8次印刷到1998年5月已第11次印刷，共计66950册。

本书在被各高等学校采用作为普通高等教育机电类规划教材的教学过程中，普遍获得良好的反映。

随着近年来教学改革不断深入，在第3版中进一步删除了某些繁琐陈旧的内容，加强了一些概念性的论述，增加了一些特种加工技术的新进展，使全书概念更清晰，文字更流畅，内容更充实。

第3版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的刘晋春、赵家齐、赵万生主编，参编人员有哈尔滨工业大学郭永丰、狄士春和耿春明。全书由南京航空航天大学金庆同教授主审。

由于时间及水平有限，书中错误和不足之处恳请读者指正。

编者

1998年8月

吉林

1998年8月

第2版前言

本书自1987年6月第1版第1次印刷，到1992年4月已印刷6次，共计33300册。

本书在各高等学校的试用过程中，普遍反映良好。1992年本教材被评为第二届全国高等学校机电类专业优秀教材一等奖和第二届普通高等学校的全国优秀教材奖。

根据近年来科技进步和生产发展的需要，并鉴于多年来各高等院校开设此课程已积累了更多的教学实践经验，感到原教材中如电火花加工一章有些内容已显得陈旧和繁琐，应适当删除和修改，而电火花线切割加工，尤其是数控线切割加工，在生产中日益获得广泛应用，在内容上应有所加强并另立为一章。其他章节也应本着这一精神有增有减，使之更能符合知识更新，更好满足教学、科研和生产发展的需要。

为此，全国机械制造工艺及设备专业教学指导委员会决定在原第1版的基础上，组织编写此第2版教材。

在第2版中，第四章增加了复合镀加工，第八章增加了磁性磨料研磨加工，同时为加强培养学生独立思考和解决问题的能力，每章之后还适当增加了一些思考题和习题。

第2版由哈尔滨工业大学刘晋春、赵家齐主编。具体章节的编写人员如下：第一章：哈尔滨工业大学刘晋春；第二章：哈尔滨工业大学赵万生、郭永丰；第三章：哈尔滨工业大学白基成；第四章：哈尔滨工业大学赵家齐；第五章：深圳大学朱企业；第六章：深圳大学朱企业、清华大学范玉殿；第七章：哈尔滨工业大学任宝仓；第八章：哈尔滨工业大学刘晋春、郭永丰。全书由南京航空学院金庆同教授主审。

由于水平有限，书中难免有错误和不足之处，请读者指正。

编者

1993年7月

第1版前言

本书是根据机械制造（冷加工）类教材编审委员会制订的教学计划和高等工业院校特种加工教学研究会制订的教学大纲和审定的编写大纲编写的。

特种加工是指传统切削加工以外的新的加工方法。由于特种加工主要不是依靠机械能、切削力进行加工，因而可以用软的工具（甚至不用工具）加工硬的工件，可以用来加工各种难加工材料、复杂表面和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，仅电加工机床年产量的平均增长率无论在国内或国外，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，近年来我国已有愈来愈多的工科院校陆续开设“特种加工”课程，并举办了很短训班。

本书内容主要包括电火花加工、电化学加工、超声加工、激光加工、电子束和离子束加工以及化学加工、磨料流动加工等特种加工方法的基本原理、基本设备、工艺规律、主要特点和范围。

本书为高等工业院校机械制造工艺和设备专业及其他相近专业的“特种加工”课程的教材，也可供从事机械制造方面的工程技术人员和技术工人参考和自学之用。

本书由哈尔滨工业大学刘晋春、陆纪培主编，具体编写分工如下：刘晋春（第一章、第二章§3-4、第七章§7-1）；陆纪培（第二章§2-1、2、3、6、7、9，第三章§3-1、2、3，第七章§7-2、3、4、5）；上海交通大学李明辉（第二章§2-4、5、8）；华东纺织工程学院徐仁、贺庆华（第四章）；吉林工业大学孙坤（第五章）；深圳大学朱企业（第六章）。本书由上海交通大学陈湛清主审。参加审稿的还有哈尔滨船舶工程学院范广信、广东工学院陆友慈、哈尔滨科技大学张国林以及哈尔滨工业大学李家宝、赵家齐、任宝昌等。

由于收集的资料有一定限度，而且本书包括的内容相当广泛，书中难免有不足和欠妥之处，恳请广大读者批评指正。

编者

1986年2月

本书所用主要符号

- | | |
|--|--|
| <p>A 振幅; 加工面积</p> <p>a 加速度; 有效离子浓度</p> <p>B 宽度; 分隔符</p> <p>b 宽度; 缩量</p> <p>C 电容; 热容; 双曲线常数</p> <p>c 比热容; 波速; 光速</p> <p>C_B B 的浓度或称 B 的物质的量浓度</p> <p>D, d 直径</p> <p>E 光子能量; 原子能级</p> <p>e 电子负电荷</p> <p>F 偏差值; 作用力; 法拉第常数</p> <p>f 频率; 焦距</p> <p>G 重力; 计数方向</p> <p>g 重力加速度</p> <p>H 磁场强度; 高度</p> <p>h 深度; 高度; 厚度; 普克朗常数</p> <p>I 电流; 纸带孔符号</p> <p>I_0 光强度; 同步孔符号</p> <p>i 电流密度</p> <p>i_a 切断电流密度</p> <p>i_c 放电电流</p> <p>\hat{i}_c 脉冲电流幅值, 或称峰值电流</p> <p>\bar{i}_c 平均放电电流</p> <p>J 能量密度; 计数长度</p> <p>K 质量电化学当量; 传热系数; 某种常数; 腐蚀系数</p> <p>K_a, K_c, K_u 与工艺参数有关的常数</p> <p>K_R 与材料有关的常数</p> <p>L 电感; 长度</p> <p>l 长度</p> <p>m 质量</p> <p>\bar{P} 平均功率</p> <p>p 压强; 能量密度</p> <p>q 蚀除量; 流量</p> <p>q' 单个脉冲蚀除量</p> <p>q_a 正极(阳极)蚀除量</p> <p>q_c 负极(阴极)蚀除量</p> | <p>q_g 气体流量</p> <p>q_l 液体流量</p> <p>q_q 气化热</p> <p>q_r 熔化热</p> <p>R 电阻; 半径</p> <p>S 火花放电间隙, 顺圆, 加工间隙, 位移量</p> <p>S_B 最佳火花放电间隙</p> <p>S_m 物理因素造成的机械间隙</p> <p>T 温度</p> <p>T_f 沸点</p> <p>T_r 熔点</p> <p>t 时间</p> <p>t_c 充电时间</p> <p>t_e 放电时间</p> <p>t_i 脉冲宽度(简称脉宽)</p> <p>t_0 脉冲间隔(简称脉间)</p> <p>t_p 脉冲周期</p> <p>u 电压</p> <p>u_d 火花击穿电压</p> <p>u_c 火花放电电压</p> <p>\bar{u}_c 平均电压</p> <p>\hat{u}_i 开路电压、空载电压或峰值电压</p> <p>U 电位差</p> <p>U_a 阳极电压</p> <p>U_c 阴极电压</p> <p>U_R 欧姆电压</p> <p>U' 平衡电极电位</p> <p>U^0 标准电极电位</p> <p>V 体积; 电位</p> <p>v 进给速度</p> <p>v_A 加工速度(以长度表示)</p> <p>v_a 阳极蚀除速度</p> <p>v_c 阴极进给速度</p> <p>v_d 工具电极的进给速度</p> <p>v_{dA} 空载时工具电极的进给速度</p> <p>v_{d0} 短路时工具电极的回退速度</p> <p>v_E 工具损耗速度</p> |
|--|--|

v_m	加工速度 (以质量表示)	α	热扩散率; 落料角; 两轴间夹角
v_g	工件蚀除速度	β	刃口斜度
v_n	法向进给速度	δ	放电间隙
v_s	走丝速度	η	效率; 电流效率
v_w	加工速度 (以体积表示)	θ	工具电极的相对损耗率; 角度; 旋转运动; 发 散角; 入射角
W	宽度; 能量; 功	κ	温度扩散率
W_M	单个脉冲能量	λ	波长; 热导率
Z	加工指令; 加工余量; 气液混合比	λ_0	中心波长
Δ	加工间隙 (一般指电解加工)	Δ_λ	光源的谱线宽度
Δ_a	切断间隙 (电解加工)	ρ	密度; 电阻率
Δ_b	平衡间隙 (电解加工)	σ	电导率
Δ_f	端面间隙 (电解加工)	τ	时间常数
Δ_n	法向间隙 (电解加工)	ω	体积电化学当量; 圆频率; 角速度
Δ_0	起始间隙 (电解加工)	φ	有效脉冲利用率
Δ_s	侧面间隙 (电解加工)		

目 录

第5版前言	
第4版前言	
第3版前言	
第2版前言	
第1版前言	
本书所用主要符号	
第一章 概论	1
第一节 特种加工的产生及发展	1
第二节 特种加工的分类	3
第三节 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	6
第二章 电火花加工	7
第一节 电火花加工的基本原理及其 分类	7
第二节 电火花加工的机理	10
第三节 电火花加工中的一些基本 规律	13
第四节 电火花加工用的脉冲电源	23
第五节 电火花加工的自动进给 调节系统	29
第六节 电火花加工机床	34
第七节 电火花穿孔成形加工	36
第八节 其他电火花加工	48
思考题和习题	56
第三章 电火花线切割加工	57
第一节 电火花线切割加工原理、特点 及应用范围	57
第二节 电火花线切割加工设备	59
第三节 电火花线切割控制系统和编程 技术	64
第四节 影响线切割工艺指标的因素	69
第五节 线切割加工工艺及其扩展应用	75
思考题和习题	78
第四章 电化学加工	79
第一节 电化学加工原理及分类	79
第二节 电解加工	84
第三节 电解磨削	111
第四节 电铸、涂镀及复合镀加工	120
思考题和习题	127
第五章 激光加工	128
第一节 激光加工的原理和特点	128
第二节 激光加工的基本设备	132
第三节 激光加工工艺及应用	136
思考题和习题	140
第六章 电子束和离子束加工	141
第一节 电子束加工	141
第二节 离子束加工	146
思考题和习题	153
第七章 超声加工	154
第一节 超声加工的基本原理和特点	154
第二节 超声加工设备及其组成部分	157
第三节 超声加工速度、精度、表面 质量及其影响因素	162
第四节 超声加工的应用	163
思考题和习题	168
第八章 快速成形技术	169
第一节 光敏树脂液相固化成形	169
第二节 选择性激光粉末烧结成形	172
第三节 薄片分层叠加成形	175
第四节 熔丝堆积成形	176
思考题和习题	178
第九章 其他特种加工	179
第一节 化学加工	179
第二节 等离子体加工	187
第三节 磨料流加工	189
第四节 水射流切割	191
第五节 磁性磨料研磨加工和磁性磨料 电解研磨加工	193
第六节 铝合金微弧氧化表面陶瓷 化处理技术	195
思考题和习题	199

第一章

概论

第一节 特种加工的产生及发展

传统的机械加工已有很久的历史，它对人类生产和物质文明起到了极大的作用。例如18世纪70年代就发明了蒸汽机，但苦于制造不出有配合要求、高精度的蒸汽机气缸，无法推广应用。直到有人创造出和改进了气缸镗床，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，引起了世界性的第一次产业革命。这一事实充分说明了加工方法对新产品的研制、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去除多余的金属，以达到加工要求这一框框之内。

直到1943年，前苏联鲍、洛、拉扎林柯（B. P. Лазаленко）夫妇研究开关触点遭受火花放电腐蚀损坏的有害现象和原因，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，开创和发明了变有害的电蚀为有用的电火花加工方法，用铜杆在淬火钢上加工出小孔，可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、小型化等方向发展，它们所使用的材料愈来愈难加工，零件形状愈来愈复杂，加工精度、表面粗糙度和某些特殊要求也愈来愈高，对机械制造部门提出了下列新的要求：

(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、高韧性、高脆性的金属及非金属材料

(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、锻压模和注塑模的立体成型表面,各种冲模、冷拔模上特殊截面的型孔,炮管内膛线,喷嘴、栅网、喷丝头上的小孔、异形小孔、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、弹性元件等低刚度零件的加工。

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。为此,人们相继探索、研究新的加工方法。特种加工就是在这种前提条件下产生和发展起来的。但是,社会需求等外因是条件,能解决社会需求的可能性等内因是根本,事物发展的根本原因在于事物的内部。特种加工所以能产生和发展的内因,就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:一是靠刀具材料比工件更硬;二是靠机械能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,当工件材料愈来愈硬,加工表面愈来愈复杂时,“物极必反”,原来行之有效的方法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,国外称作非传统加工(NTM, Non-Traditional Machining)或非常规机械加工(NCM, Non-Conventional Machining)。它们与切削加工的不同本质和特点是:

1) 不是主要依靠机械能,而是主要用其他能量(如电、化学、光、声、热等)去除金属材料。

2) 工具硬度可以低于被加工材料的硬度,如激光、电子束等加工时甚至没有成形的工具。

3) 加工过程中工具和工件之间不存在显著的机械切削力,如电火花、线切割、电解加工时工具与工件不接触。

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和开展电火花加工的科研工作。20世纪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靠模仿形电火花线切割机床,这是我国电火花线切割加工的第一只“春燕”。20世纪60年代末,上海电表厂张维良工程师在阳极-机械切割的基础上发明出我国独创的往复高速走丝线切割机床,上海复旦大学研制出电火花线切割3B代码的数控系统。从此,电火花、线切割加工技术在我国如雨后春笋一般迅速发展。

20 世纪 50 年代末, 电解加工也开始在原兵器工业部采用, 用来加工炮管内的膛线等。以后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的型腔模具等。

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。为此, 成立了上海超声仪器厂和无锡超声电子仪器厂。

1963 年哈尔滨工业大学最早开设特种加工课程和实验, 并编印出相应的教材。以后经修订成为 39 所院校统编教材和现机制专业的通用教材。2006 年经教育部审批成为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

1979 年我国成立了全国性的电加工学会。1981 年我国高校间成立了特种加工教学研究会, 这对特种加工的普及和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。以后逐年均以 20% ~ 30% 的速度增长。2006 年电火花穿孔成形机床年产量大于 3000 台, 电火花数控线切割机床年产量大于 40000 台, 电加工机床生产企业已由 50 家增至 200 家以上。电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, 特种加工设备的设计和制造水平以及整体特种加工的技术水平与国际先进水平还有不小差距, 高档技术密集型的电加工机床每年还要从国外进口 300 台以上, 我国大量生产的电加工机床往往是技术含量较低、售价和利润也较低的劳动力密集型的产品。这些都有待于我们去努力赶超, 使我国从制造大国发展成制造强国。

第二节 特种加工的分类

特种加工的分类还没有明确的规定, 一般按能量来源和作用形式以及加工原理可分为表 1-1 所示的各种加工方法。

表 1-1 常用特种加工方法分类表

特种加工方法		能量来源及形式	作用原理	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
电化学加工	电解加工	电化学能	金属离子阳极溶解	ECM
	电解磨削	电化学、机械能	阳极溶解、磨削	EGM (ECG)
	电解研磨	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
	涂镀	电化学能	金属离子阴极沉积	EPM
激光加工	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