


国家“十一五”应用型人才培养规划教材

先进 制造技术

XIANJIN ZHIZAO JISHU

陈立德 主编

 国防工业出版社
National Defense Industry Press

国家“十一五”应用型人才培养规划教材

先进制造技术

陈立德 主编

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

先进制造技术/陈立德主编. —北京:国防工业出版社,
2009.1

国家“十一五”应用型人才培养规划教材
ISBN 978-7-118-06012-6

I. 先... II. ①陈... III. 机械制造工艺-高等学校-教材
IV. TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第164648号

※

国防工业出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)
天利华印刷装订有限公司印刷
新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 9 $\frac{3}{4}$ 字数 180千字
2009年1月第1版第1次印刷 印数 1—4000册 定价 22.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422
发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474
发行业务:(010)68472764

前 言

20 世纪后期,随着现代科学技术的迅速发展,特别是微电子技术、计算机技术、信息技术等与制造技术的密切结合,使制造技术发生了根本性变化,形成了先进制造技术(或称现代制造技术)体系。为了培养能适应现代制造工业高速发展的高级应用型本科工程技术人才,机械类、近机类必须开设先进制造技术课程,以使学生了解、熟悉现代制造工业技术的内容及发展趋势。由于先进制造技术品种繁多,无法一一叙述。为使学生建立与现代制造工程发展相适应的、系统的知识体系,拓宽知识面,提高毕业后对工作环境的专业适应性,使之更适应社会的需要。

编写本书的指导思想首先为在内容取舍上不作科普性(新闻性)、全面性介绍,而以国内已应用的、收效较好的、技术较典型的先进制造技术为主要内容,进行提炼并强化现场的应用。重点放在机械知识方面,而其他学科知识(如电、光等)在不影响重要内容的叙述上可大大缩减、精炼。

本书可作为普通高等学校本科或应用型本科机械类专业的教材,同时也可作为高职教育的机械类专业的教材或参考书籍,并可供有关工程技术人员参考。

参加本书编写工作的有:陈立德(绪论、第 1 章、第 5 章),李颖(第 1.8 节),查全经(第 1.2.6 节),罗卫平、肖楠(第 2.1 节,第 2.2 节),肖楠(第 2.4 节),张元越(第 3 章),邱胜海(第 4.2,第 4.3,第 4.4 节),罗卫平(第 4.1 节),续海峰(第 4.5 节),全书由南京金陵科技学院陈立德教授任主编,并负责全书的统稿。南京工程学院邱胜海任副主编。

全书由上海新江机器厂陈立兴高级工程师任主审,提出了很多宝贵意见和建议,尤其是根据现场情况提出哪些是属于先进制造技术范畴,其内容如何选取等,在此表示衷心感谢。

在编写过程中得到了卞咏梅、褚无承等的大力支持与帮助,在此表示感谢。

由于编者水平有限,编写时间又较紧迫,错误和不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者
2008 年 6 月

目 录

绪论	1
习题与思考题	4
第1章 特种加工技术	5
1.1 概述	5
1.1.1 特种加工的产生背景及发展	5
1.1.2 特种加工的分类	6
1.1.3 特种加工的应用范围	8
1.2 电火花加工	10
1.2.1 电火花加工的机理	10
1.2.2 实现电火花加工的条件	12
1.2.3 电火花加工的特点及其应用	12
1.2.4 电火花加工的类型	13
1.2.5 电火花成形加工	14
1.2.6 电火花线切割加工	25
1.3 电解加工	36
1.3.1 电化学加工的基本原理	36
1.3.2 电解加工的工作原理	37
1.3.3 电解加工的工艺特点与应用	38
1.3.4 影响加工精度和表面质量的主要因素	38
1.4 激光加工	40
1.4.1 激光的概念	40
1.4.2 激光的特性	41
1.4.3 激光加工	42
1.4.4 激光加工装备	43
1.4.5 激光加工的应用	44
1.5 电子束加工	44
1.5.1 电子束加工的基本原理和特点	45
1.5.2 电子束加工装备	46

1.5.3	电子束加工的应用	47
1.6	超声加工	48
1.6.1	超声加工的基本原理	48
1.6.2	超声加工的特点	49
1.6.3	超声加工的应用	49
1.7	化学加工	50
1.7.1	化学铣削的基本原理	50
1.7.2	化学铣削工艺过程	50
1.7.3	化学铣削的特点及其应用	51
1.8	小孔电液束加工	52
1.8.1	电液束加工的基本原理	52
1.8.2	电液束加工的工艺过程	53
1.8.3	电液束加工的设备	54
1.8.4	电液束加工的应用	56
	习题与思考题	57
第2章	先进加工技术	59
2.1	超高速切削技术	59
2.1.1	超高速切削理论概述	59
2.1.2	超高速切削技术的特点	60
2.1.3	超高速切削技术的应用	61
2.1.4	超高速切削加工的关键技术	62
2.2	先进磨削加工技术	63
2.2.1	高速和超高速磨削技术	64
2.2.2	缓进给磨削与高效深切磨削	65
2.2.3	砂带磨削	66
2.2.4	精密和超精密磨削技术	67
2.3	超精密与纳米加工技术	68
2.3.1	金刚石刀具超精密切削	68
2.3.2	超精密磨削及研磨抛光	69
2.3.3	超精密特种加工	70
2.3.4	微细加工技术	70
2.3.5	纳米加工技术	71
2.4	快速成形技术	71
2.4.1	概述	71
2.4.2	快速成形技术的基本原理	72

2.4.3	快速成形技术的实现方法	72
2.4.4	快速成形技术的特点	75
2.4.5	快速成形技术的应用	76
	习题与思考题	77
第3章	制造自动化技术	78
3.1	数控加工技术	78
3.1.1	概述	78
3.1.2	数控加工与传统加工的区别	79
3.1.3	数控加工设备	82
3.1.4	数控加工方法	87
3.2	柔性制造系统	89
3.2.1	概述	89
3.2.2	FMS 的组成	90
3.2.3	分类	90
3.2.4	FMS 的发展趋势	91
3.3	计算机集成制造系统	93
3.3.1	概述	93
3.3.2	CIMS 的概念及组成	95
3.3.3	计算机集成制造的发展趋势	97
	习题与思考题	97
第4章	先进生产管理 & 设计技术	98
4.1	设计方法学	98
4.1.1	设计方法学产生、发展的背景	98
4.1.2	现代设计方法学与传统设计的主要区别	98
4.1.3	设计方法学简述	100
4.2	优化设计	104
4.2.1	概述	104
4.2.2	优化设计数学模型	106
4.2.3	常用优化设计方法	107
4.2.4	优化设计的一般过程	110
4.2.5	优化设计举例	112
4.3	成组技术	113
4.3.1	概述	113
4.3.2	基本原理	113
4.3.3	零件分类编码系统	114

4.3.4	成组工艺过程设计	119
4.3.5	成组技术的生产组织形式及其优越性	122
4.4	计算机辅助工艺过程设计	123
4.4.1	概述	123
4.4.2	CAPP 的组成及基本技术	124
4.4.3	CAPP 的类型及基本原理	126
4.4.4	CAPP 的发展方向和特点	128
4.5	计算机辅助设计与制造	130
4.5.1	概述	130
4.5.2	基本内容	132
4.5.3	发展特点	134
	习题与思考题	135
第5章	模具型腔的光整加工	136
5.1	模具的光整加工	136
5.1.1	以机械作用为主的抛光方法	136
5.1.2	以化学、电化学作用的抛光方法	139
5.1.3	以复合作用为主的抛光方法	140
5.2	模具的表面强化技术	143
	习题与思考题	145
	参考文献	146

绪 论

一、机械制造技术的应用、地位和发展趋势

机械制造业是国民经济的装备部,在国民经济中具有十分重要的地位和作用。机械制造业提供的装备水平对国民经济各部门的技术进步有很大的直接的影响。机械制造工业的规模和水平是反映国民经济实力和科学技术水平的重要标志。因而,世界各国都把发展机械制造业作为振兴和发展本国经济的战略重点之一。

世界上各国经济的竞争,主要是制造技术的竞争,因而各国政府都非常重视机械制造技术的研究。随着计算机、微电子、信息和自动化技术的迅速发展,20世纪末期制造业开始经历一场新的技术革命。美、日等发达国家相继提出了“现代制造技术”(或称为“先进制造技术”)的新概念。现代制造技术已成为各国经济发展、满足人民日益增长需要以及加速高新技术发展和实现国防现代化的主要技术支撑。现代制造技术集机械、电子、光学、信息、管理等最新科学技术于一体,已成为一个具有整体目标,并包括物料流、信息源和能量源的系统工程。其发展趋势为向精密化、自动化、柔性化、集成化、最优化、信息化的方向发展。机械制造业发展主要目标是成本低、效率高、质量优、服务好、适应性强。

二、我国 21 世纪机械制造技术的发展战略

21 世纪中国的机械制造技术的发展战略特别是冷加工技术的发展将沿着三条主线进行:

(1) 机械制造工艺方法进一步完善与开拓。一方面是传统的切削、磨削技术仍在不断地发展、不断上升到更高的高度;另一方面是各种特种加工技术也在不断开拓,努力开创新的工艺,达到新的技术水平,并在生产中发挥越来越大的作用。

(2) 加工技术向高精度方向发展,使“精密工程”和“纳米技术”逐步走向实用化和生产化。

(3) 加工技术向自动化方向发展,继续沿着 NC—CNC—FMS—CIMS 的台阶向上攀登。

从三条主线中就可看出我国发展先进制造技术的重要性,要使我国从制造业落后的弱国,变为制造业强国,其关键就在于发展先进制造技术。

三、先进制造技术分类和特点

(一) 先进制造技术的分类

先进制造技术可分为先进制造系统设计技术、先进制造系统工艺及自动化技

术、先进制造系统管理技术三大类。

1. 先进制造系统设计技术

这类技术中包括现代设计理论与设计方法学、计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工程分析(CAE)、计算机辅助工艺规程设计(CAPP)、设计过程管理与设计数据库、面向“X”的设计(DFX)、可靠性设计、优化设计、反求工程技术、价值工程设计、并行工程(CE)设计、仿真与虚拟设计、绿色设计等。

2. 先进制造系统工艺及自动化技术

这类技术中包括精密铸造、精密锻压、精密焊接、优质低耗热处理、精密切割、超精密加工、超高速加工、微米/纳米加工技术、复杂型面数控加工、特种加工工艺、快速原型制造、少无污染制造、报废产品的可拆卸重组技术、拟实制造与装配技术、工业机器人、柔性制造系统、计算机集成制造技术、检测自动化及在线质量控制、绿色制造技术等。

3. 先进制造系统管理技术

这类技术包括工程管理、质量管理、管理信息系统等,以及现代制造模式(如精益生产、CIMS、敏捷制造、智能制造等)、集成化的管理技术、企业组织结构与虚拟公司等生产组织方法。

(二) 先进制造技术的特点

先进制造技术是在传统制造技术的基础上,不断吸收和发展机械、电子、能源、材料、信息及现代管理技术的成果,将其综合应用于产品设计、制造、检验、管理、服务等产品生命周期的全过程,以实现优质、高效、低耗、灵活、清洁的生产技术模式,取得理想的技术经济效果。

与传统制造技术相比,先进制造技术具有以下特点:

(1) 先进制造技术的基础是优质、高效、低耗、无污染加工工艺,在此基础上形成了新的先进加工工艺与技术。

(2) 研究范围更为广泛。传统制造技术一般是指加工制造过程的工艺办法,而先进制造技术则覆盖了从产品设计、加工制造到产品销售、使用、维修和回收的整个过程。

(3) 传统制造技术一般只能驾驭生产过程中的物质流、能量流和信息流的系统工程。

(4) 制造向超微细领域扩展。微型机械、微米/纳米加工的发展要求用更新、更广的知识来解决这一领域的新课题。

(5) 制造过程多学科、多技术交叉及系统优化集成。传统制造技术的学科、专业单一,界限分明,而先进制造技术的各专业、学科、技术之间不断交叉、融合,形成了综合、集成的新技术。

(6) 制造领域全球化。制造国际化是 21 世纪制造技术发展的必然趋势。其

内容包括:制造企业在全球范围内的重组与集成(如虚拟公司);制造技术信息和知识的协调、合作与共享;全球制造的体系结构;制造产品与市场的分布及协调。

(7)制造技术与制造科学融合。制造科学是对制造系统和制造过程知识的系统描述、制造技术包含在制造科学之中。

(8)制造技术与生产管理的统一。制造技术的改进带动了管理模式提高,而先进的管理模式推动了制造技术的应用。

(9)先进制造技术特别强调人的主体作用,强调人、技术与管理三者的有机结合。

(10)先进制造技术具有鲜明的时代特征,是一个动态技术,在不同时期有不同的技术内涵和组成。

四、先进制造技术的发展方向

先进制造技术的发展方向如下:

(1)常规制造工艺的优化。综观现状,这方面的技术潜力很大,如高速、超高速切削,强力磨削,涂层刀具,超硬材料刀具(含磨具)的出现,对于切削理论的发展、加工质量和生产效率的提高都有极其重要的意义。此外,对于现有普通设备的改造和挖潜,均会促进机械工业的发展和提高。

(2)特种加工技术。它是指不单纯依靠机械能量,而是直接应用电、声、光、热、磁及化学能量对各种材料进行加工的技术,如电火花加工、电解加工、超声波加工、激光加工、电子束加工等。其主要对象是难加工材料的加工,加工精度可达分子级或原子级加工单位,常用于超精密加工。

(3)精密工程。它包括精密与超精密加工技术、微细和超微细加工技术、微型机械和纳米技术等方面。当前,以纳米技术为代表的超精密加工技术和以微细加工技术为手段的微型机械有着极其重要的意义,它代表着精密工程的发展方向。

(4)快速成型技术。这是近年来发展起来的应用于制造业的一种高新技术,其基本原理是用积分方法制造三维实体,在成型过程中,将计算机中存储的任意三维形体信息传递给成型机,使材料逐层添加而直接制造出产品,而不需要专用的模具、工具或人工干涉。目前,主要用于设计模型的制造,模具制造及小批量、特殊零件的加工。

(5)制造系统由自动化向柔性化、集成化和智能化发展。机械制造自动化的发展经历了单机自动化、刚性自动化、数控机床和加工中心、柔性制造系统和计算机集成制造系统等几个阶段,并向柔性化、集成化和智能化方向进一步发展。

(6)先进的生产制造系统正在形成和发展。积极参与激烈的国际竞争,在竞争中求得生存和发展,是所有企业的共同目标。为了实现这一目标,每个企业都在努力按照用户的不同需求进行新产品开发和生产,从而使产品品种不断增加,市场竞争更趋激烈,形成了世界市场多变的特点,即:产品生命周期明显缩短,产品品种

日益增多,产品成本结构发生变化,产品交货期不断缩短。为此,20世纪80年代以来,一种新型的现代生产制造系统正在形成和发展。

五、本课程的主要内容

先进制造技术源于传统制造技术,并不断吸收机械、电子、材料、能源、信息及现代管理等技术成果,综合应用于产品设计、制造、检测、控制、服务等生产制造全过程,涉及内容广泛、学科跨度大。因此本书内容无法覆盖全部,只得结合国情,突出重点,精选内容,着重介绍一些基本概念和发展方向、现场应用等,使学生对先进制造技术有一个较为全面的认识。

本书内容为:特种加工技术、先进加工技术(高速加工、高速磨削、快速成形技术)、制造自动化技术(CN,FMS,CIMS)、先进生产管理及设计技术(设计方法学、优化设计、成组技术、CAPP、CAD/CAM)等。

习题与思考题

- (1)我国21世纪机械制造技术的发展战略是什么?
- (2)先进制造技术有什么特点?

第 1 章 特种加工技术

1.1 概 述

我国 21 世纪机械制造技术的发展战略明确地指出,发展特种加工,要求达到新的技术水平,并在生产中发挥愈来愈大的作用。

特种加工是借助于电能等多种能量或其组合以实现材料切除的加工方法。由于它发展较晚,并区别于传统的切削加工方法,故又称“新工艺”或“非传统加工工艺”,国外称为“非传统加工”或“非常规机械加工”。

1.1.1 特种加工的产生背景及发展

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,如集成块的制造、高温材料的加工等。这就使机械制造面临一系列严峻的挑战,下列新的要求必须得到解决:

(1) 解决各种难切削材料的加工问题。如硬质合金、高温合金、耐热不锈钢、淬火工具钢、宝石陶瓷等高硬度、高韧性、高脆性、高熔点、高纯度的导体与非导体和半导体等的加工。

(2) 解决各种特殊复杂表面的加工问题。如喷丝头上的小孔,窄缝剃须刀网,弯孔等的加工。

(3) 解决各种超精、光精表面的加工问题。如航空陀螺、高压液压阀门、精密光学透镜等零件的加工,其尺寸精度可达 $0.1\mu\text{m}$,表面粗糙度 R_a 达 $0.01\mu\text{m}$ 。

(4) 解决特殊零件的加工问题。如细长轴、薄壁零件、弹性元件等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是很难实现的,甚至于根本无法做到。特种加工就是在这种形势下发展起来的,1943 年,苏联拉扎林柯夫妇研究开关触点遭受火花放电腐蚀损坏的现象和原因,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,开创和发明了电火花加工方法,在淬火钢上加工出小孔,当年此种加工方法称为电加工。后来应用能源种类越来越多,故称为电加工就不妥了,现改名为特种加工。

我国的特种加工技术起步较早,20 世纪 50 年代中期我国工厂已设计研制出电火花穿孔机、电火花表面强化机等。20 世纪 50 年代末我国相继设立了专业机床厂及研究单位。20 世纪 60 年代末发明了我国独创的高速走丝线切割机床。当时如雨后春笋般,电火花、切割加工技术得到迅速发展,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较大差距,如加工精度、数控技术、自动控制等,高档电加工设备每年还需从国外进口,必须迎头赶上。

1.1.2 特种加工的分类

特种加工的分类目前无统一明确的规定,一般按能量来源和作用形式以及加工原理来分,如表 1.1 所列。

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(ELM)
	电解磨削	电化学、机械能	阳极溶解、磨削	ECM(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、镀覆、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、机械能		LOM
	熔丝堆积法	电、热、机械能		FDM

20世纪60年代以来,为了进一步发展特种加工,同时由于各种加工方法都有其优、缺点,必须相互取长补短,以多种能量同时作用为主要特征的复合加工得到发展,如电解磨削、电火花磨削、电火花加工、电火花放电加工、超声电火花加工等,如图 1.1 所示。

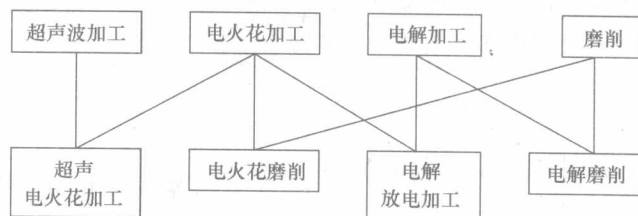


图 1.1 复合加工示意图

本章主要介绍电火花加工、电解加工、激光加工、电子束加工、超声加工等加工方法的基本原理、基本设备、主要特点及适用范围,如表 1.2 所列为上述特种加工方法的综合比较。

表 1.2 几种常用特种加工方法的综合比较

加工方法	可加工材料	工具损耗率/% 最低/平均	材料去除率/ $\text{mm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ 平均/最高	可达到尺寸精度/mm 平均/最高	可达到表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$ 平均/最高	主要适用范围
电火花加工	任何导电的金属	0.1/10	30/3000	0.03/0.003	10/0.04	从数微米的孔、槽到数米的超大型模具、工件等。如圆孔、方孔、异形孔、深孔、微孔、弯孔、螺纹孔以及冲模、锻模、压铸模、塑料模、拉丝模,还可刻字、表面强化、涂敷加工
电火花线切割加工	金属材料如硬合金、耐热钢、不锈钢、淬火钢、钛合金等	较小(可补偿)	20/200 ^① mm^2/min	0.02/0.002	0.5/0.32	切割各种冲模、塑料模、粉末冶金模等二维及三维直线面组成的模具及零件。可直接切割各种样板、磁钢、硅钢片冲片。也常用于钼、钨、半导体材料或贵重金属的切割
电解加工	任何导电的金属	不损耗	100/10000	0.1/0.01	1.25/0.16	从细小零件到 1t 的超大型工件及模具。如仪表微型小轴、齿轮上的毛刺、蜗轮叶片、炮管膛线、螺旋花键孔、各种异形孔、锻造模、铸造模、抛光、去毛刺等
电解磨削	任何导电的金属	1/50	1/100	0.02/0.001	1.25/0.04	硬质合金等难加工材料的磨削。如硬质合金刀具、量具、轧辊、小孔、深孔、细长杆磨削,以及超精光整研磨、珩磨

(续)

加工方法	可加工材料	工具 损耗率/% 最低/平均	材料去除率 $\text{mm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ 平均/最高	可达到尺寸 精度/mm 平均/最高	可达到表面 粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$ 平均/最高	主要适用范围
超声加工	任何脆性材料	0.1/10	1/50	0.03/0.005	0.63/0.16	加工、切割脆硬材料。如玻璃、石英、宝石、金刚石、半导体单晶锗、硅等。可加工型孔、型腔、小孔、深孔、切割等
激光加工	任何材料	不损耗 (三种加工,没有成形的工具)	瞬时去除率很高,受功率限制,平均去除率不高	0.01/0.001	10/1.25	精密加工小孔、窄缝及成形切割、刻蚀。如金刚石拉丝模、钟表宝石轴承、化纤喷丝孔、不锈钢板上打小孔,切割钢板、石棉、纺织品、纸张,还可焊接、热处理
电子束加工						在各种难加工材料上打微孔、切缝、蚀刻、曝光以及焊接等,现常用于制造中、大规模集成电路微电子器件
离子束加工						对零件表面进行超精密、超微量加工、抛光、蚀刻、掺杂、镀覆等
水射流切割	钢铁、石材	无损耗	>300	0.2/0.1	20/5	下料、成形切割、剪裁
快速成形	增材加工,无可比性			0.3/0.1	10/5	快速制作样件、模具
注:①线切割加工的金属去除率按惯例均用 mm^2/min 为单位; ②这类工艺,主要用于精微加工,不能单纯比较材料去除率						

1.1.3 特种加工的应用范围

特种加工的应用范围是相当广泛的。由于各种特种加工的采用的能量形式及其工艺特征的不同,它的应用范围也不一样,下面从两个方面来分析。

一、对工件材料的适用性

特种加工对工件材料的适用性较切削加工好,但对不同工件材料还是有区别的,其大致情况如表 1.3 所列。

表 1.3 特种加工对工件材料的适用性

工件材料 加工方法	铝	钢	超级合金	钛	难熔合金	陶瓷	塑料	玻璃
电解加工	良	优	优	良	良	×	×	×
电火花加工	良	优	优	优	优	×	×	×
电子束加工	良	良	良	良	优	优	良	良
等离子弧加工	优	优	优	良	劣	×	劣	×
激光加工	良	良	良	良	劣	优	良	良
超声加工	劣	良	劣	良	优	优	良	优
化学加工	优	优	良	良	劣	劣	劣	良
磨料喷射加工	良	良	优	良	优	优	良	优

由表 1.3 可知,现举例说明,多数特种加工对金属材料具有优良的适用性,但超声加工不宜加工铝和超级合金,而难熔合金则不宜选用激光加工等方法。

二、对加工表面形状的适用性

各种特种加工方法对加工表面形状的适用性不尽相同,如表 1.4 所列。

表 1.4 特种加工对加工表面形状的适用性

表面形状 加工方法	微小孔 D/mm		较大孔 L/D		异型孔		型腔		立体 型面	切割	
	<0.03	$0.13 \sim 0.03$	<20	>20	精密	一般	浅	深		薄	厚
电解加工	—	—	优	优	良	优	优	优	优	优	优
电火花加工	—	—	优	良	优	优	优	优	良	劣	—
等离子弧加工	—	—	良	—	劣	劣	—	—	—	优	优
电子束加工	良	优	良	劣	劣	劣	—	—	—	优	良
激光加工	优	优	良	劣	劣	劣	—	—	—	优	良
超声加工	—	—	优	劣	优	优	劣	劣	劣	劣	—
化学加工	良	良	—	—	劣	良	优	劣	—	优	—
磨料喷射加工	—	—	良	劣	劣	良	—	—	—	优	—

由表 1.4 可知,现举两个例说明。

(1)对型腔表面加工。主要采用电解加工、电火花加工和化学加工。当加工深度较大、圆角较小或难切削材料时,电解加工和电火花加工较切削加工更为优越。

(2)对微小孔加工。电子束加工和激光加工是适用的加工方法。当加工深径比小于 20 的较大直径的孔时,电解加工、电火花加工和超声加工却成为合适的加工方法;当加工深径比大于 20 的深孔时,电解加工的优越性就显得更为突出。