

第 1 章 绪 论

“直立与劳动创造了人，劳动是从制造工具开始的”。加工技术历史悠久，内容丰富，它伴随着人类社会发展的脚步，走过了漫长的发展历程。尽管机械切削加工技术在快速发展中不断完善和创新，但面对丰富多彩的加工任务和各式各样的加工要求，单纯依靠基于机械能作用的常规机械加工方法显然难以完成。为此，巧妙地利用自然界其他能量形式如电能、热能、化学能等来实现材料的去除、叠加或变形的非传统加工方法逐渐被开发出来，并与常规机械加工方法一起，构成了现今各具特色、包罗万象的现代加工技术群。同时，制造技术从一般精度加工、精密加工逐步发展到现代的超精密加工与纳米加工。

1.1 精密与超精密加工的产生与特点

机械工业是国民经济发展的基础，也是经济现代化和国防现代化的基础。历史已证明，哪一个国家不重视机械制造业，终将会遭到历史的惩罚。德国和日本等发达国家因为对机械制造业的长期重视，多年来一直保持制造强国和工业强国地位。

制造技术发展和提高的核心主要包含两个方面：一是自动化智能制造技术，以柔性自动化技术和智能制造为代表；二是精密与超精密加工，尤其是超精密加工技术。精密与超精密加工技术已经成为在国际竞争中取得成功的核心技术。这是因为许多高技术产品需要高精度；发展尖端技术、国防工业、微电子工业等都需要精密与超精密加工制造出来的仪器、设备和装备；当代的微细工程、纳米工程技术作为现代制造技术的前沿，也需超精密加工技术作为支撑。从现实生产角度看，提高产品的加工精度有利于提高产品的性能与质量、提高产品的稳定性和可靠性、促进产品的小型化、增强零件的互换性并提高装配生产率、促进装配自动化，等等。

目前，在工业发达国家中，一般工厂能稳定掌握的加工精度是 $1\ \mu\text{m}$ 。与此相对应，通常将加工精度为 $0.1\sim 1\ \mu\text{m}$ 、加工表面粗糙度 Ra 为 $0.02\sim 0.1\ \mu\text{m}$ 的加工方法称为精密加工，而将加工精度高于 $0.1\ \mu\text{m}$ 、加工表面粗糙度 Ra 小于 $0.01\ \mu\text{m}$ 的加工方法称为超精密加工。

精密与超精密加工不是指某一特定的加工方法，也不是指比某一给定的加工精度高一个量级的加工技术，而是指在机械加工领域中，某一个历史时期所能达到的高量级或最高加工精度的各种精密加工方法的总称。精密与超精密加工的精度界限，不同的时代与科学发展阶段，有不同的标准。例如，在瓦特时代发明蒸汽机时，加工汽缸的精度是用厘米来衡量的，所以能达到毫米级的精度即为超精密加工。从那以后，大约每 50 年加工精度便提高一个量级。进入 20 世纪以后，大约每 20 年提高一个量级，如图 1-1 所示。目前，人类已经实现了原子级（亚纳米级）精度的加工。

也可以从被加工部位发生破坏和去除材料大小的尺寸单位来划分各种加工方法。物质是由原子组成的，从机械破坏的角度看，最小则是以原子级为单位（原子颗粒的大小为几埃，

即 $\text{\AA}$, $1\text{\AA}=10^{-8}\text{cm}$) 的破坏。如果在加工中能以原子级为单位去除被加工材料, 即从加工的极限这一角度来定义, 可以把接近于加工极限的加工技术称为超精密加工。如果用去除材料的大小尺寸单位来区分各种加工, 可分为四种情况 (龟裂、位错、晶格破坏、原子级破坏), 如图 1-2 所示。有时, 人们把光整加工、精整加工和微细加工也归为精密与超精密加工。但实际上, 它们是有区别的。光整加工主要指降低表面粗糙度和提高表面层物理和力学性能的一些加工方法, 如研磨、抛光、珩磨、无屑加工 (滚压加工) 等, 而精整加工兼顾提高精度和提高表面质量。微细加工主要是指制造微小尺寸特征和零件的加工方法。

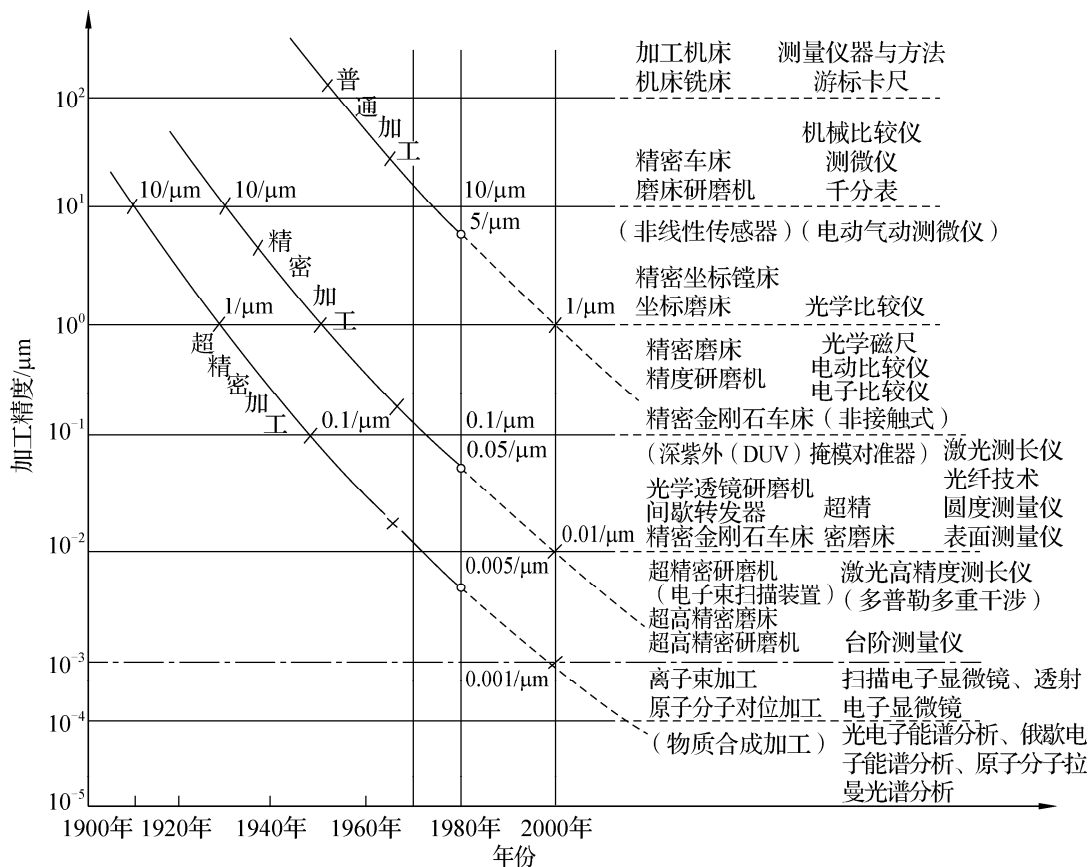


图 1-1 加工精度的发展趋势

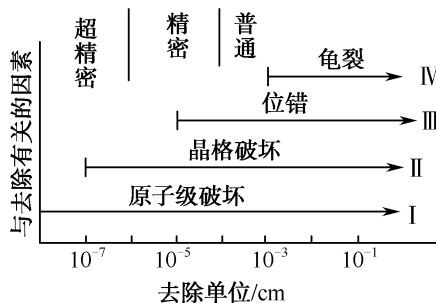


图 1-2 去除单位及其相关因素

实际上,加工精度的提高不仅取决于加工方法的选择,还与很多因素有关,如加工机理、被加工材料、加工设备、工艺装备、工件的定位与夹紧、检测与误差补偿、工作环境和人的技艺等。总之,加工精度是由综合因素共同决定的。一般而言,精密与超精密加工有如下特点:

- (1) 基于创造性原则,精密与超精密加工一般需要专门机床辅以特别工艺手段或仪器设备,以达到加工要求。
- (2) 微量去除。
- (3) 需要高品质的综合制造工艺系统。
- (4) 需要借助特种加工或复合加工手段。
- (5) 自动化程度高。
- (6) 加工检测一体化,精密与超精密加工不仅要进行离线检测,而且时常要进行在线检测和误差补偿。

就加工方法来说,精密与超精密加工主要包括 3 个领域:

- (1) 超精密切削加工,如超精密金刚石刀具切削,可加工各种镜面,它成功地解决了高精度陀螺仪、激光反射镜和某些大型反射镜的加工。
- (2) 精密与超精密磨削、研磨和抛光,如规模集成电路基片的加工和高精度硬磁盘等加工。
- (3) 精密特种加工,如电子束、离子束加工等。

1.2 特种加工的产生与特点

传统的机械加工在漫长的历史发展进程中,极大地推进了人类生产和物质文明的进步。例如,汽缸镗床的发明与不断改进,最终解决了蒸汽机主要部件的加工工艺问题,才使蒸汽机得以广泛应用,进而引起了世界性的第一次工业革命。这一事例说明,加工方法对技术进步、社会经济等起到重大的推动作用。

第一次世界大战以后,车削、镗削和铣削等机械切削加工技术已经比较广泛地应用于机械制造中,机械化、半自动化装备开始进入车间,机械制造实现了工业化规模生产。从 20 世纪 30 年代末开始,许多工业部门尤其是国防工业部门对产品的要求逐渐向高精度、高速度、高温、高压、大功率、小型化等方向发展。为了适应这些需求,各种新结构、新材料和复杂形状的精密与超精密零件大量出现,其形状越来越复杂,材料的强韧性越来越高,零件精度、表面粗糙度、完整性等要求也越来越高,这对机械制造部门提出了新的要求:

- (1) 解决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,以及锗、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加工。
- (2) 解决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,以及锻压模和注塑模的立体成形表面,各种冲模、冷拔模上特殊截面的型孔,炮管内膛线,喷油嘴、栅网、喷丝头上的异形小孔、窄缝等的加工。
- (3) 解决超精密、光整零件的加工问题。如对表面质量和精度要求很高的航天航空陀螺仪、精密光学透镜、激光核聚变的曲面镜、高灵敏度的红外传感器等零件的精细表面加工,

形状和尺寸精度要求在 $0.1\mu\text{m}$ 以上, 表面粗糙度 Ra 要求在 $0.01\mu\text{m}$ 以下。

(4) 解决特殊零件的加工问题, 如大规模集成电路、光盘基片、复印机和打印机的感光鼓、微纳米级特征尺度零件、细长轴、薄壁零件、弹性元件等低刚度零件的加工。

要解决上述加工问题, 仅依靠传统的切削加工方法是很难实现的。于是, 人们一方面深入研究和揭示机械能在切削加工中新的作用形式及其机理, 以大幅度提高加工精度和表面质量; 另一方面探索除机械能以外的电能、化学能、声能、光能、磁能等能量形式在加工中的应用, 以开发新的加工方法。特种加工技术就是在这种环境和条件下产生和发展起来的。例如, 1943 年苏联拉扎林柯夫妇在研究开关触点遭受火花放电腐蚀损坏的有害现象和原因时, 发现电火花的瞬时高温可使局部的金属熔化、汽化而被蚀除, 从而开创和发明了电火花加工方法, 并用铜丝在淬火钢上加工出小孔, 实现了用软的工具进行硬金属材料的加工, 首次摆脱了传统的切削加工思想, 直接利用电能和热能来去除金属, 获得“以柔克刚”的效果。由于这些加工方法不必使用常规刀具对工件材料进行切削加工, 为了区别于金属切削加工, 人们将这类加工统称为特种加工, 国外称之为非传统加工 (Nontraditional Machining, NTM) 或非常规机械加工 (Nonconventional Machining, NCM)。

与切削加工不同, 特种加工不是依靠比工件材料更硬的刀具、磨具和主要借助机械能作用来实现材料去除的, 而是有自己内在的本质特点:

(1) 不是主要依靠机械能, 而是主要用其他形式的能量 (如电能、化学能、光能、声能、热能等) 来去除材料。

(2) 工具的硬度可以比被加工材料的低, 可以实现“以柔克刚”, 如水射流加工。此外, 用激光、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大都无明显的切削力作用, 如进行电火花加工或电解加工时工具与工件不接触。

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, 并且擅长于加工复杂、微细和低刚度等特殊几何特征或性能特征的结构与零件。此外, 不少特种加工方法还是超精密加工、镜面光整加工和纳米级 (原子级) 加工的重要手段。

特种加工技术不仅可以采取单独的加工方法, 还可以采用复合加工方法。近年来, 复合加工方法发展迅速, 应用十分广泛。目前, 许多精密与超精密加工方法采用了激光加工、电子束加工、离子束加工等特种加工工艺, 开辟了精密与超精密加工的新途径。一些高硬度、高脆性的难加工材料和刚度差、加工中易变形的零件等在精密加工和超精密加工时, 特种加工已经成为必要的手段, 甚至是唯一的手段, 形成了精密特种加工技术。

随着精密与特种加工技术的发展, 尤其是电加工、光学刻蚀加工等技术的长足发展, 促进了硅加工技术的出现, 从而使加工技术也进入一个新纪元, 逐渐形成了以“高速、高效、精密、微细、自动化、绿色化”为特征的现代加工技术体系。

1.3 精密与特种加工的分类

特种加工方法的分类至今还没有明确的标准, 根据需要有多种不同分类方法。精密与特种加工从成形原理和特点来分类, 可统分为去除加工、结合加工、变形加工三大类。根据应用目的不同, 精密与特种加工也可大致归纳为如图 1-3 所示的种类。从加工方法的机理来分

类，精密与特种加工还可分为传统加工、特种加工、复合加工。传统加工是指使用刀具进行的切削加工及磨削加工；特种加工是指利用机械能、光能、电能、声能、热能、化学能、磁能、原子能等能量来进行加工的工艺方法；复合加工是指采用两种或两种以上加工方法的复合作用（其中包括传统加工和特种加工的复合、特种加工与特种加工的复合）来进行优势互补、相辅相成的加工。目前，在制造业中，占主要地位的仍然是传统加工方法，而特种加工和复合加工是极其重要的补充，并且在国防、高新技术产品制造中所占的比重越来越大。表 1-1 列出了按切削加工、磨料加工、特种加工、复合加工分类的各种常用的精密加工方法，及其所用的工具、所能达到的精度/表面粗糙度、被加工材料及应用情况等。

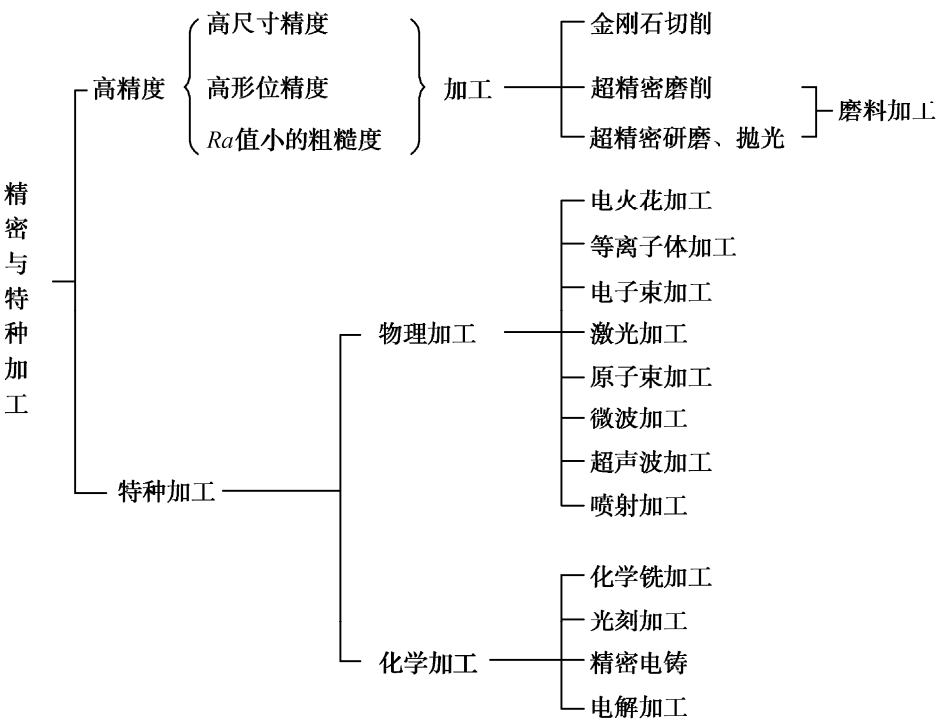


图 1-3 精密与特种加工的基本分类

表 1-1 精密与特种加工方法

分类	加工方法		加工工具	精度/ μm	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	被加工材料	应 用
切削加工	切削加工	精密与超精密车削	天然单晶金刚石刀具、 人造聚晶金刚石刀具、 立方氮化硼刀具、陶瓷 刀具、硬质合金刀具	1~0.1	0.05~0.008	金刚石刀具	球、磁盘、反射镜
		精密与超精密铣削				有色金属及其合金	多面棱体
		精密与超精密镗削					活塞销孔
		微孔钻削	硬质合金钻头、高速钢钻头	20~10	0.2	低碳钢、铜、铝、石墨、塑料	印制线路板、石墨模具、喷嘴

续表

分类	加工方法		加工工具		精度/ μm	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	被加工材料	应 用
磨料加工	磨削	精密与超精密砂轮磨削	氧化铝、碳化硅立方氮化硼、金刚石等磨料	砂轮	5~0.5	0.05~0.008	黑色金属、硬脆材料、非金属材料	外圆、孔、平面
		精密与超精密砂带磨削		砂带				平面、外圆磁盘、磁头
	研磨	精密与超精密研磨	铸铁、硬木、塑料等硬质模具 氧化铝、碳化硅、金刚石等磨料	1~0.1	0.025~0.008	黑色金属、硬脆材料、非金属材料	外圆、孔、平面	
		油石研磨	氧化铝油石、玛瑙油石、电铸金刚石油石				平面	
		磁性研磨	磁性磨料	10~1	0.01	黑色金属	外圆去毛刺	
		滚动研磨	固结磨料、游离磨料、化学或电解作用的液体			黑色金属等	型腔	
	抛光	精密与超精密抛光	抛光器 氧化铝、氧化铬等磨料	1~0.1	0.025~0.008	黑色金属、铝合金	外圆、孔、平面	
		弹性发射加工	聚氨酯球抛光器、高压抛光液	0.1~0.001	0.025~0.008	黑色金属、非金属材料	平面、型面	
		液体动力抛光	带有楔槽工作表面扫/抛光器 抛光液	1~0.1	0.025~0.008	黑色金属、非金属材料、有色金属	平面、圆柱面	
		水合抛光	聚氨酯抛光器 抛光液	1~0.1	0.01	黑色金属、非金属材料	平面	
		磁流体抛光	非磁性磨料 磁流体	1~0.1	0.01	黑色金属、非金属材料、有色金属	平面	
		挤压研抛	黏弹性物质 磨料	5	0.01	黑色金属等	型面、型腔去毛刺、倒棱	
		喷射加工	磨料 液体	5	0.01~0.02	黑色金属等	孔、型腔	
		砂带研抛	砂带 接触轮	1~0.1	0.01~0.008	黑色金属、非金属材料、有色金属	外圆、孔平面、型面	
		超精研抛	研具（脱脂木材、细毛毡）、磨料、纯水	1~0.1	0.01~0.08	黑色金属、非金属材料、有色金属	平面	
	超精加工	精密与超精加工	磨条 磨削液	1~0.1	0.025~0.01	黑色金属等	外圆	
	珩磨	精密珩磨	磨条 磨削液	1~0.1	0.025~0.01	黑色金属等	孔	

续表

分类	加工方法		加工工具	精度/ μm	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	被加工材料	应 用	
特种加工	电火花加工	电火花成形加工	成形电极、脉冲电源、煤油、去离子水	50~1	2.5~0.02	导电金属	型腔模	
		电火花线切割加工	钼丝、钢丝、脉冲电源、去离子水	20~3	2.5~0.16		冲模、样板（切断、开槽）	
	电化学加工	电解加工	工具电极（铜、不锈钢）、电解液	100~3	1.25~0.06	导电金属	型孔、型面、型腔	
		电铸	导电芯 电铸溶液	1	0.02~0.012	金属	精密结构与零件、薄壁零件	
	化学加工	蚀刻	掩模板、光敏抗蚀剂、离子束、电子束	0.1	2.5~0.2	金属、非金属、半导体	刻线、图形	
		化学铣削	刻刀、光学腐蚀溶液、耐腐蚀涂料	20~10	2.5~0.2	黑色金属、有色金属等	下料、成形加工	
	超声波加工		超声波发生器、换能器、变幅杆、工具	30~5	2.5~0.04	硬脆金属和非金属	型孔、型腔	
	微波加工		针状电极（钢丝、钨丝）、波导管	10	6.3~0.12	绝缘材料、半导体	打孔	
	红外光加工		红外光发生器	10	6.3~0.12	任何材料	打孔、切割	
	电子束加工		电子枪、真空系统、加工装置（工作台）	10~1	6.3~0.12	任何材料	微孔、镀膜、焊接、蚀刻	
	粒子束加工	粒子束去除加工	离子枪、真空系统、加工装置（工作台）	0.01~0.001	0.02~0.01	任何材料	成形表面、刃磨、蚀刻	
		粒子束附着加工		1~0.1	0.02~0.01		镀膜	
		粒子束结合加工					注入、掺杂	
	激光束加工		激光器、加工装置（工作台）	10~1	6.3~0.12	任何材料	打孔、切割、焊接、热处理	
复合加工	电解	精密电解磨削	工具极、电解液、砂轮	20~1	0.08~0.01	黑色金属、合金	轧辊、刀具刃磨	
		精密电解研磨	工具极、电解液、磨料	1~0.1	0.025~0.008		平面、外圆、孔	
		精密电解抛光	工具极、电解液、磨料	10~1	0.05~0.008	导电金属	平面、外圆、孔、型面	
	超声	精密超声车削	超声波发生器、换能器、变幅杆、车刀	5~1	0.1~0.01	难加工材料	外圆、孔、端面、型面	
		精密超声磨削	超声波发生器、换能器、变幅杆、砂轮	3~1	0.1~0.01		外圆、孔、端面	
		精密超声研磨	超声波发生器、换能器、变幅杆、研磨剂、研具	1~0.1	0.025~0.008	黑色金属等硬脆材料	外圆、孔、端面	
	化学	机械-化学研磨	研具、磨料、化学活化研磨剂	0.1~0.01	0.025~0.008	黑色金属、非金属材料	外圆、孔、平面、型面	
		机械-化学抛光	抛光器、增压活化抛光液	0.01	0.01	任何材料	外圆、孔、平面、型面	
		化学-机械抛光	抛光器、化学活化抛光液	0.01	0.01		外圆、孔、平面、型面	

到目前为止，包括机械能在内的几乎所有的能量形式，如电能、光能、声能、热能、化学能、生物能等，都已经应用于加工中。这些能量形式有单独使用的，也有复合或组合使用的。

关于现代加工方法的发展与创新, 一个重要的途径是通过能量形式的复合或组合来实现的。因此, 直接按承担工件“加工”任务(如去除、叠加、变形等)的主要能量形式来分类特种加工方法, 可能有助于理解某种具体加工技术的加工机理与本质, 也有助于创造新的加工技术。例如, 依据是否主要依靠机械能, 可把加工技术分为常规加工技术与特种加工技术。又如, 按能量作用形式的数量, 特种加工技术可分为单一能量特种加工方法和复合能量特种加工方法。常用特种加工方法分类见表 1-2。

表 1-2 常用特种加工方法分类

特种加工方法			能量来源	主要作用形式	作用原理	英文缩写
以单一能量作用为主的特种加工	热作用特种加工	电火花成形加工	电能、热能	热能	熔化、汽化	EDM
		电火花线切割加工	电能、热能		熔化、汽化	WEDM
		激光加工	光能、热能		熔化、汽化	LBM
		等离子体加工	电能、热能		熔化、汽化	PAM
		电子束加工	电能、热能		熔化、汽化	EBM
	电化学作用特种加工	电解加工	电化学能、机械能	电化学能	金属离子阳极溶解	ECM
		电解抛光	电化学能、机械能		金属离子阳极溶解	ECP
		电铸加工	电化学能		金属离子阴极沉积	EFM
		电镀加工	电化学能		金属离子阴极沉积	EPM
	化学作用特种加工	化学铣削	化学能	化学能	化学腐蚀	CHM
		化学抛光	化学能		化学腐蚀	CHP
		光化学腐蚀加工	光能、化学能		光化学腐蚀	PCM
		化学镀加工	化学能		金属离子还原析出沉积	CHP
	机械作用特种加工	超声波加工	声能、机械能	机械能	磨料高频撞击	USM
		水射流加工	机械能		射流或高速撞击	WJM
		离子束加工	电能、机械能		原子撞击	IBM
		磨料流加工	机械能		磨料擦削	AFM
		磁性磨料加工	磁能、机械能		磨料擦削	MAM
复合能量作用的特种加工	电化学复合加工	电解磨削	电化学能、机械能	电化学能	阳极溶解、磨削	ECG
		电解珩磨	电化学能、机械能		阳极溶解、研磨	ECH
		电解研磨	电化学能、机械能		阳极溶解、研磨	ECL
		电化学机械抛光	电化学能、机械能		阳极溶解、研抛	ECMP
		电解电火花加工	电化学能、电能、热能		电化学溶解、熔化、汽化	ECAM
		激光辅助电解加工	光能、热能、电化学能		阳极溶解、	LAECM
		超声辅助电解加工	声能、电化学能、机械能		阳极溶解、空化	USECM
	热复合加工	电火花磨削加工	电能、热能、机械能	热能	熔化、汽化、磨削	EDG
		超声辅助电火花加工	声能、电能、热能		熔化、汽化、空化	USEDM
	化学复合加工	化学机械抛光	化学能、机械能	化学能	化学腐蚀、研抛	CMP

续表

特种加工方法			能量来源	主要作用形式	作用原理	英文缩写
组合特种加工	LIGA加工	X射线腐蚀法	光化学能、电化学能、热能、化学能	光化学能、电化学能、热能	光化学腐蚀、电铸、塑铸	LIGA
		紫外光腐蚀法				UV-LIGA
		激光腐蚀法				Laser-LIGA
	增材制造技术	光固化成型	光能、化学能	热能、化学能	叠加成形	SL
		熔融沉积成形	光能、化学能	热能，化学能		FDM
		激光选区烧结	光能、热能	热能		SLS
		三维立体打印	热能、化学能	热能、机械能		3DP
		材料喷射成形	热能、化学能	热能		SF

1.4 特种加工技术对机械制造工艺的影响

特种加工技术所应用的能量及其作用方式一般不同于常规机械加工，因而，它对材料的可加工性、工艺路线的安排、新产品试制过程、产品零件设计的结构、零件结构工艺性的好坏衡量标准等会产生一系列的影响。

1) 提高了材料的可加工性

金刚石、硬质合金、淬火钢、石英、玻璃、陶瓷、金属陶瓷等材料在以往都被认为是很难加工的，现在却广泛应用于工业与消费产品中。这是因为（对一些特种加工工艺而言）工件材料的可加工性与其硬度、强度、韧性、脆性等无直接关系。例如，对于电火花加工等加工方法而言，淬火钢比未淬火钢更容易加工。

2) 改变了零件的典型工艺路线

以往除磨削加工以外，其他的切削加工、成形加工等都必须安排在淬火之前，这是所有工艺人员绝对不可违反的工艺准则。特种加工的出现改变了这种一成不变的程序格式。例如，电火花成形加工和电解加工等一般是工件淬火后再进行加工。

3) 改变了新产品试制的模式

以往试制新产品的关键零部件时，必须先设计并制造相应的刀具、夹具、量具和模具，以及二次工装。现在采用数控特种加工技术，可以直接加工出各种标准和非标准直齿轮（包括非圆齿轮、非渐开线齿轮）、微型电动机定子、转子硅钢片、各种变压器铁芯、各种特殊、复杂的二次曲面体零件等，这就大大缩短了新产品的试制周期。增材制造技术更是试制新产品的极佳技术手段，从根本上改变了过去传统的新产品试制模式。

4) 增大了产品零件结构设计的灵活性

例如，为减少应力集中，按设计观点，花键孔、轴及枪炮膛线的齿根部分最好做成小圆角，但拉削加工时把刀齿做成圆角对排屑不利，容易磨损，刀齿只能设计制造成清棱清角的齿根。而采用电解加工时，由于存在尖角变圆的现象，非采用小圆角的齿根不可。各种复杂冲模，如山形硅钢片冲模在以往因难以制造常采用镶拼式结构，现在采用电火花加工技术后，即使是硬质合金模具或刀具，也可制成整体式结构。喷气发动机涡轮也由于电加工而可采用带冠整体结构。特种加工使产品零件可更多地采用整体性结构。

5) 更新了结构工艺性好坏的评判标准

以往普遍认为方孔、小孔、弯孔、窄缝等是工艺性差的典型，是设计人员和工艺人员非

常“忌讳”的,有的甚至是“禁区”。特种加工的出现大大改变了这一状况。对于电火花穿孔、电火花线切割加工来说,加工方孔和加工圆孔的难易程度是一样的。喷油嘴小孔、喷丝头小异形孔、涡轮叶片上大量的小冷却深孔/窄缝、静压轴承和静压导轨的内油囊型腔等,采用电火花加工技术后都由难变易了。过去在淬火前忘了先进行钻定位销孔、铣槽等工艺,淬火后这种工件只能报废,现在则大可不必,可采用电火花打孔、切槽等工艺进行补救。相反,有时为了避免淬火开裂、变形等影响,特意把钻孔、开槽等工艺安排在淬火之后,使工艺路线安排更为灵活。过去很多被认为可不修的“废品”,现在可用特种加工方法进行修复。例如,对磨损了的轴或孔,可用电刷镀来修复。

6) 支撑微细、精密与超精密制造的发展

电子束、离子束、激光、电火花、电化学等电物理/电化学特种加工是承担精细制造任务的主要技术。

1.5 精密与特种加工技术的地位与发展趋势

1.5.1 精密与特种加工技术的地位

目前,先进制造技术已经是一个国家经济发展的主要支撑之一。许多发达国家都十分重视先进制造技术,利用它进行产品革新、扩大生产和提高国际竞争能力。发展先进制造技术是当前世界各国发展国民经济的主攻方向和战略决策之一,同时又是一个国家独立自主、繁荣富强、经济持续稳定发展、科技保持领先的长远大计。而精密与特种加工技术是先进制造技术的重要组成部分。

先进制造技术的支撑,主要有精密与超精密加工技术与制造自动化(智能化)两大方面。前者追求加工精度和表面质量极限,后者包括产品设计、制造和管理的自动化或智能化,不仅是快速响应市场需求、提高生产率、改善劳动条件的重要手段,而且是保证产品质量的有效举措。两者关系密切,大部分精密与超精密加工要依靠自动化和人工智能技术才能达到预期指标,制造自动化与智能化需要依托精密与超精密加零件实现。

精密与超精密加工所能达到的精度、表面粗糙度、加工尺寸范围和几何形状是衡量一个国家制造技术水平的重要标志之一。例如,金刚石刀具切削刃钝圆半径的大小是金刚石刀具超精密切削加工的一个关键技术参数,日本已经达到 2nm,而我国尚处于亚微米水平,相差一个数量级。同时,精密与特种加工的技术能力,很大程度上直接决定一个国家的国防武器制造水平。

精密与特种加工技术已经成为在国际竞争中取得成功的关键技术。发展尖端技术、发展国防工业、发展微电子工业等,都需要运用精密与特种加工技术来制造相关的仪器、设备和产品。

1.5.2 精密与特种加工技术的发展趋势

产品的服役性能与工作品质要求日趋极限化,精密与特种加工也因此向极端化制造、智能化制造及和谐化制造方向推进。主要体现在以下几个方面:

- ① 加工对象特征尺度极端化和跨尺度化。
- ② 多种能场复合化。

- ③ 工艺控制过程数字化。
- ④ 加工、测量、控制一体化。
- ⑤ 控形控性一体化。
- ⑥ 能量作用微量化和极速化。
- ⑦ 制造过程的智能化。

思考题

- 1-1 试分析精密与特种加工技术在机械制造领域的作用和地位。
- 1-2 精密与特种加工技术的广泛应用引起机械制造领域的哪些变革?
- 1-3 列举出常用的特种加工方法,并指出哪些是减材加工、哪些是增材加工。
- 1-4 试举出几种因采用特种加工工艺后,对材料的可加工性和结构工艺性产生重大影响的实例。