



机械制造 习题与学习指导

(第2版)

JIXIE ZHIZAO XITI YU XUEXI ZHIDAO

◎主 编 王鑫秀



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书根据机械制造类专业的大纲编写,总体分为三个层次:知识回顾+强化训练,综合训练,自测题(6套)。书中紧密结合考点内容,知识归纳层次明晰,突出知识掌握等级。每章内容讲解中穿插相应的例题及解析,以便将知识融会贯通;书后配有大量习题,且每套自测题附有答案及详细讲解。

本书适用于广大机械制造类专业的学生,既可用作教辅资料,也可用作自考学生考前冲刺阶段辅导资料。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械制造习题与学习指导/王鑫秀主编. —2版. —北京:北京理工大学出版社, 2012. 11

ISBN 978-7-5640-6963-6

I. ①机… II. ①王… III. ①机械制造-高等学校-自学参考资料
IV. ①TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第256684号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京兆成印刷有限责任公司

开 本/787毫米×960毫米 1/16

印 张/15.25

字 数/308千字

版 次/2012年11月第2版 2012年11月第1次印刷 责任校对/陈玉梅

定 价/41.00元 责任印制/吴皓云

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

机械制造是机电一体化工程专业的专业基础课，是研究机器零件从材料选择、毛坯制造直到加工成成品的综合性机械制造课程。本书为机械制造教材的配套用书。

本书总体分为三个层次：

1. 知识回顾 + 强化训练——将全部考试内容以简明扼要的方式层层归纳，并将知识划分为“了解”、“识记”和“应用”三个等级，其中★代表需要学生简单了解的内容，★★代表需要学生熟识记忆的内容，★★★则代表学生必须灵活掌握和实践应用的内容。在每章内容讲解中穿插相应的例题解析，以便将知识融会贯通。待学生完全掌握各章节的学习内容后，配合强化训练巩固和加强对知识点的理解。

2. 综合训练——以大量的练习为主，目的是使学生在综合训练中更加灵活地将知识融会贯通，并且了解到学习过程中的欠缺和不足。

3. 自测题——书后配有6套历年全国高自考真题，作为学生临考前进行自我验收的工具，使考生做到“心中有数”。书后附有每套自测题答案及详解，并提及相应考核知识点。

本书适用于广大机械制造类专业的学生，既可用作教辅资料，也可用作自考学生考前冲刺阶段辅导资料。

编者在编写过程中参阅了大量国内外同行的专著、教材、文献资料等，在此一并对本书所参考资料的作者表示感谢！

由于编者水平有限，书中必然存在不妥之处，难免出现疏漏和错误，敬请各位读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 机械制造中的加工方法	(1)
【知识回顾】	(1)
【强化训练】	(13)
第 2 章 切削过程及其控制	(15)
【知识回顾】	(15)
【强化训练】	(38)
第 3 章 金属切削机床	(40)
【知识回顾】	(40)
【强化训练】	(67)
第 4 章 机床夹具设计	(69)
【知识回顾】	(69)
【强化训练】	(87)
第 5 章 机械加工工艺规程设计	(89)
【知识回顾】	(89)
【强化训练】	(114)
第 6 章 机械制造质量分析与控制	(116)
【知识回顾】	(116)
【强化训练】	(139)
第 7 章 机械产品装配工艺规程设计	(142)
【知识回顾】	(142)
【强化训练】	(149)

第8章 制造技术的新发展	(150)
【知识回顾】	(150)
【强化训练】	(155)
综合训练	(156)
自测题（真题）	(161)
附录1 强化训练答案	(181)
附录2 综合训练答案	(193)
附录3 自测题（真题）答案及解析	(198)
参考文献	(237)

第 1 章

机械制造中的加工方法

知识回顾

★1.1 机械制造中的加工方法

1. 去除材料的制造过程 ($\Delta m < 0$)

$\Delta m < 0$ 主要是指在被加工对象上去除一部分材料来达到加工目的的过程。主要方法是传统的切削加工方法，车、铣、刨、磨、钻等方法以及迅速发展的特种加工方法。

2. 材料成形制造过程 ($\Delta m = 0$)

在制造过程中，如果工件加工前后质量基本不变，称之为 $\Delta m = 0$ 的制造过程，也称材料成形过程。它是指在较高的温度或者压力下，使材料在模具中成形的方法，如铸造、锻造、焊接、冲压等。加工特点是生产效率高，但是精度较低，多用于制造毛坯。

3. 材料累积制造过程 ($\Delta m > 0$)

在 $\Delta m > 0$ 的制造过程中，通过材料累加成形。这类加工方法包括电镀、化学镀、喷涂等沉积加工，以及快速成形制造等。

1.2 零件的成形方法

★★1.2.1 表面成形原理

零件的几何形状就其本质来说，都可以看成是母线沿着导线运动形成的轨迹。母线和导线统称为形成表面的发生线。根据母线和导线的运动关系，常见零件表面可分成 3 类：旋转表面、纵向表面和特形表面。

★★1.2.2 零件表面的形成方法

在零件加工过程中，刀具或工件之一运动或两者按一定规律同时运动就可以形成两条发

生线,从而生成所需的加工表面。因此零件表面的形成方法就是发生线的形成方法。发生线的形成方法有如下4种。

1. 轨迹法

利用刀具切削点按一定规律的轨迹运动来对工件进行加工的方法称为轨迹法。采用轨迹法形成发生线时,刀具需按一定轨迹进行成形运动,刀具的运动精度直接影响加工表面精度。

2. 成形法

通过刀刃的形状来控制加工表面的形状的方法称为成形法。用成形法来形成发生线时,刀具不需要专门的成形运动,表面精度主要靠刀刃的精度来保证。

3. 相切法

相切法是指用铣刀、砂轮等旋转类刀具加工时,刀具自身旋转的同时按一定的轨迹运动。用相切法形成发生线时,刀具需要有两个独立的成形运动,即刀具的旋转和刀具中心按一定规律运动。

4. 展成法

利用工件和刀具做展成运动进行切削加工的方法为展成法。用展成法形成发生线时,工件的旋转和刀具的旋转必须保持严格的速比关系。

★★★1.2.3 零件表面的成形运动

为了获得所需的工件表面形状,必须使刀具按上述4种方法之一完成一定的运动,这种运动称为表面成形运动。最常见、最容易实现的表面成形运动是直线运动和旋转运动,这两种运动称为简单成形运动。有些零件表面形状非常复杂,加工它需要十分复杂的表面成形运动。

完成切削加工的成形运动又称切削运动。切削运动可分为主运动和进给运动。

1. 主运动

使工件与刀具产生相对运动以进行切削的最基本运动,称为主运动。主运动的速度最高,所消耗的功率最大,且只有一个。例如外圆车削中工件回转运动是主运动。

2. 进给运动

进给运动是不断地把被切削层投入到切削过程中,以便形成全部已加工表面的运动。进给运动一般速度较低,消耗的功率较少,可由一个或多个运动组成。例如外圆车削时,车刀沿平行于工件轴线方向的连续直线运动即是进给运动。

1.3 外圆表面加工

★★1.3.1 外圆表面的车削

车削是外圆表面的主要加工方法。车削时,工件装夹在车床主轴上做回转运动,刀具沿一定轨迹做直线或曲线运动,刀尖相对工件运动的同时切除一定的工件材料,从而形成相应的工件表面。

外圆车削可分为粗车、半精车、精车和精细车4个阶段。

(1) 粗车

粗车所能达到的加工精度为 IT13 ~ IT10, 表面粗糙度为 $Ra12.5 \sim 6.3 \mu\text{m}$ 。粗车的主要目的是迅速地从毛坯上切除多余的金属, 通常采用尽可能大的背吃刀量和进给量。

(2) 半精车

半精车所能达到的加工精度为 IT10 ~ IT9, 表面粗糙度为 $Ra6.3 \sim 3.2 \mu\text{m}$ 。可作为中等精度外圆表面的最终工序, 也可作为磨削或其他精加工工序的预加工。半精车的背吃刀量和进给量比粗车稍小, 切削速度比粗车稍大。

(3) 精车

精车所能达到的加工精度为 IT8 ~ IT7, 表面粗糙度为 $Ra3.2 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。可作为最终工序或光整加工的预加工。精车外圆表面一般采用较小的背吃刀量与进给量和较高的切削速度进行加工。

(4) 精细车

精细车所能达到的加工精度为 IT7 ~ IT6, 表面粗糙度为 $Ra0.8 \sim 0.2 \mu\text{m}$, 通常作为最终加工工序。精细车采用极小的背吃刀量和进给量, 较高的切削速度。

外圆表面的车削是轴类、套类和盘类零件加工的主要工序, 消耗工时较多, 可从以下几方面来提高外圆表面车削效率:

- ① 采用高速切削;
- ② 采用强力切削;
- ③ 采用多刀加工。

★ ★ 1.3.2 外圆表面的磨削

磨削加工是外圆表面精加工的主要形式, 外圆表面的磨削方式可分为中心磨削和无心磨削两种。

1. 外圆表面的中心磨削

中心磨削法是在外圆磨床上, 采用工件的两顶尖孔定位进行磨削的方法, 可分为纵磨、横磨和复合磨。

(1) 纵磨

纵磨也就是纵向进给磨削, 磨削时砂轮的高速旋转运动为主运动, 工件做圆周运动的同时, 还随工作台做纵向往复运动, 即进给运动。

(2) 横磨

横磨也就是横向进给磨削, 又称切入磨削。采用横磨法磨削外圆表面时, 砂轮宽度大于磨削宽度。工件不需做轴向进给, 砂轮相对工件连续或断续地做进给运动。

(3) 复合磨法

对于刚性较好的长轴外圆表面, 可以先用横磨法分段粗磨外圆表面的全长, 最后用纵磨

法进行精磨，此法即为复合磨法。

2. 外圆表面的无心磨削法

进行无心外圆磨削时，工件放在砂轮与导轮之间的托板上，无须用中心孔定位，故称无心磨削。

★★1.3.3 外圆表面的光整加工

光整加工是从工件表面不切除或切除极薄金属层，以提高工件表面的尺寸和形状精度、减小表面粗糙度和提高表面性能为目的的加工方法。外圆表面的光整加工方法有高精度磨削、超精加工、研磨、珩磨及抛光等。

1. 高精度磨削

高精密磨削是在普通磨削方法的基础上，通过调整与磨削精度相关的因素来实现提高磨削精度的目的。

2. 超精加工

超精加工是用细粒度的油石（磨条或砂带）进行微量磨削的一种加工方法。

3. 研磨

研磨是由游离的磨粒通过研具对工件进行微量切削的过程，其精度可达到亚微米级，能使两个零件达到精密配合。

1.4 孔加工

★★1.4.1 钻孔、扩孔和铰孔

1. 钻孔

钻孔是在实体材料上直接加工出孔的方法，是孔从无到有的过程。采用标准麻花钻钻孔时，孔的尺寸精度一般为 IT13 ~ IT11。对于精度不高的孔，如螺栓（螺钉）的贯穿孔、油孔以及各种（铰、镗、拉）底孔等，可采用钻孔。如果孔的精度要求很高，还可以在钻孔的基础上进一步加工，相应的方法有：扩孔、铰孔、镗孔、拉孔、磨孔、研磨孔和珩磨孔等。

钻孔方式有两种，第一种钻孔方式是钻头旋转、工件不动，例如在钻床、镗床上钻孔；第二种钻孔方式是钻头不动、工件旋转，例如在车床上钻孔。

2. 扩孔

扩孔是在已钻出、铸出、锻出或冲出的底孔上，利用扩孔钻对孔进一步加工，目的是扩大孔径，提高孔的加工质量。扩孔是孔的半精加工方法之一。

3. 铰孔

铰孔是孔的精加工方法之一，适用于直径较小孔的精加工，在实际生产中应用广泛。铰削过程不完全是一个切削过程，而是切削、刮削、挤压、烫平和摩擦等综合作用的结果。

铰削的工艺特点是精度高。由于加工余量小、齿数多，又有较长的修光刃，铰孔精度可

达到 IT8 ~ IT6, 表面粗糙度可达到 $Ra3.2 \sim 0.2 \mu m$ 。采用浮动铰孔时, 不能提高孔的位置精度, 只能提高尺寸精度和形状精度。铰孔的效率较高, 费用较低, 因此在孔的精加工中应用广泛。

★★1.4.2 镗孔

镗孔是用镗刀对已钻出孔或毛坯孔作进一步加工的方法, 可分为粗镗、半精镗、精镗和精细镗(金刚镗)。

1. 镗孔的3种方式

(1) 工件回转, 刀具做进给运动

在车床上镗孔大都属这一方式, 工件装夹在三爪卡盘中, 溜板带动镗刀做进给运动。进给方向与工件轴心线平行时, 镗出的孔为圆柱孔; 进给方向与工件轴心线成一定角度时, 镗出的孔为锥孔。

工艺特点: 加工后孔的轴心线与工件的回转中心一致, 孔轴心的直线度好, 且能一次装夹完成外圆和内孔的加工, 因此外圆与内孔的同轴度容易保证。

(2) 刀具回转, 工件做进给运动

在镗床上镗孔即为这种方式, 镗刀安装在镗床主轴上, 工作台带动工件做进给运动。

工艺特点: 易于保证工件孔与孔、孔与平面间的位置精度。镗杆的变形对孔的轴向形状精度无影响, 工作台进给方向的偏斜或不直会使孔轴线产生位置误差。

(3) 工件不动, 刀具旋转并做进给运动

这种镗孔方式是在镗床类机床上进行的。

工艺特点: 基本能保证镗孔的轴线与机床主轴轴线一致。但随着镗杆伸出长度的增加, 镗杆变形会逐步增大, 使得镗出的孔直径逐步减小, 形成锥孔。所以, 这种镗孔方式只适合加工较短的孔。

2. 镗孔的工艺特点

① 镗孔时, 由于镗刀安装在镗杆上深入内孔进行切削, 所以镗刀是在半封闭状态下进行工作的。

② 由于镗刀后刀面与工件内孔表面摩擦较大, 且镗杆悬臂外伸, 刚性较差, 容易振动。

③ 镗孔工艺范围广, 需要加工不同直径的孔时, 只需调整镗刀径向尺寸即可, 不需更换刀具, 相对定尺寸刀具加工孔更具有优势。

④ 镗孔加工应用微调镗刀、定径镗刀和专用夹具或镗模, 可精确地保证孔径精度和达到较低的表面粗糙度。因此镗孔是实现精密孔系加工的重要方法, 是用于单件或小批的大型箱体类零件孔的主要加工方法。

★★1.4.3 拉孔

拉孔是在拉床上用拉刀对孔进行精加工的一种方法。拉刀是一种多齿刀具, 沿着拉刀运动方向刀齿高度逐渐增加, 从而一层层地从工件上切下余量, 并获得较高的尺寸精度和较好

的表面质量。

★★1.4.4 磨孔

磨孔是精加工孔的一种方法,孔的磨削有两种方式,一种是工件和砂轮均回转,另一种是工件不回转,砂轮做行星式运动。前者用于加工一般孔,后者用于大型工件孔的加工。

★★1.4.5 研磨孔

研磨孔是孔的一种光整加工方法,形状精度也有相应的提高,但不能提高位置精度。研磨孔与研磨外圆的机理相同,只是在研具结构上有所不同。

★★1.4.6 珩磨孔

珩磨孔是利用安装于珩磨头圆周上的油石,采用特定结构推动油石径向扩张,直至与工件接触,并保持一定的压力,以较低的切削速度对孔进行精加工。加工过程中,油石不断做径向进给运动,珩磨头做旋转和沿孔轴心方向的直线运动,从而实现对孔的低速切削,显著提高孔的尺寸精度和形状精度,降低表面粗糙度。

例1-1 下面加工孔的哪种方法精度最高(B)。

- A. 钻孔 B. 研磨孔 C. 铰孔 D. 镗孔

解析:熟悉了解孔加工的方法及其各自特点。

例1-2 下面(D)加工方法不属于中心磨。

- A. 横磨 B. 切入磨削 C. 纵磨 D. 研磨

解析:了解磨削加工方法的种类及其各自特点。

例1-3 下列孔加工方法中,属于定尺寸刀具法的是(A)。

- A. 钻孔 B. 车孔 C. 镗孔 D. 磨孔

解析:对孔加工方式的了解。

1.5 平面加工

平面是箱体、支架、盘类零件的主要表面之一,平面加工的主要技术要求包括直线度、平面度、表面粗糙度、表面层物理力学性能,以及与其他平面或孔的位置精度(平行度、垂直度)等。平面加工的常用方法有车、铣、刨、磨、拉、研磨、刮研及抛光等。

★★1.5.1 铣平面

1. 铣削要素及应用范围

铣削是加工平面的最常用方法,加工过程中无空行程,因此加工效率比刨削要高。铣削时,铣刀的旋转运动是主运动,工件不动。

铣削的应用范围很广,不但可以铣削平面,还能完成沟槽、球面、凸轮、螺旋槽、曲面及成形面的加工。

2. 铣削方式

铣削可分成周铣法和端铣法。用分布在铣刀圆周的刀齿来进行铣削,称为周铣;用分布

在铣刀端面的刀齿来进行铣削,称为端铣。

根据铣刀主运动方向与进给运动方向的关系,铣削可分为顺铣和逆铣。

(1) 顺铣

当铣刀主运动方向在加工表面方向的分量与铣刀进给运动方向相同时,称为顺铣。

(2) 逆铣

当铣刀主运动方向在加工表面方向的分量与铣刀进给运动方向相反时,称为逆铣。

(3) 端铣

端铣法是用面铣刀端面的刀齿来进行铣削的方法。根据铣刀中心与工件加工表面中心的位置关系,端铣可分为对称铣削、不对称顺铣和不对称逆铣。

① 对称铣削。铣刀位于工件加工表面的对称线上,切入和切出的切削层厚度相同且最小。

② 不对称顺铣。铣刀以最小切削厚度切入工件,以最大切削厚度切出工件,减小了冲击力而使切削平稳。

③ 不对称逆铣。铣刀以最大切削厚度切入工件,以最小切削厚度切出工件,虽然有一定冲击力,但金属黏刀量小。

3. 铣削的特点

① 铣削为断续切削,容易产生冲击和振动。当冲击频率与机床固有频率相同或为其整数倍时,冲击振动加剧。

② 铣削为多刀切削,刀齿易出现径向跳动和端面跳动。

③ 铣削为半封闭容屑形式,因铣刀是多齿刀具,刀齿与刀齿之间的空间有限,每个刀齿在切削过程中切下的切屑被封闭在刀槽中,直至该刀齿完全脱离工件时才能将切屑抛出。所以要求刀槽应有足够的容屑空间。

④ 铣削的主运动为回转运动,没有空行程,生产效率高,因而在大批量生产中已逐渐取代了刨削,并向高速切削的方向发展。

★ ★ 1.5.2 刨平面

刨削是利用刨刀与工件的相对直线运动来进行切削加工的方法。刨削可加工平面(水平面、垂直面、斜面等)、沟槽(直槽、V形槽、T形槽、燕尾槽等)、直线形曲面等。

★ ★ 1.5.3 磨平面

平面磨削是平面的精加工方法之一,可以得到较高的加工精度和表面质量。平面磨削通常是在平面磨床上进行的,可以采用砂轮的圆周表面来进行磨削,也可以采用砂轮的端面来进行磨削。

采用砂轮的圆周表面进行磨削时,砂轮与工件的接触面积小,发热量小,冷却和排屑条件好,可获得较高的加工精度和较小的表面粗糙度,但生产效率较低。采用砂轮的端面进行磨削时,砂轮与工件的接触面积大,发热量大,冷却和排屑条件较差,加工精度和表面粗糙

度较差,但生产效率高。为了提高磨削效率,经常采用多件磨削。

★★1.5.4 刮研平面

刮研是利用刮刀在工件表面上刮去很薄一层金属的光整加工方法,一般是在精刨之后进行的。刮研可以得到很高的表面质量,表面粗糙度可达 $Ra1.6 \sim 0.4 \mu\text{m}$,平面直线度可达 0.01 mm/m ,甚至可达 $0.005 \sim 0.0025 \text{ mm/m}$ 。

由于刮研生产率低、劳动强度大,故常用于单件、小批生产和修理车间,加工未淬火的、精度要求高的固定连接面、导向面等。

1.6 成形表面加工

★★1.6.1 成形表面加工概述

成形表面可分为3种类型:

- ① 回转成形面;
- ② 直线成形面;
- ③ 立体成形面。

成形表面的加工方法:

主要有车、铣、刨、磨和拉削等。

成形表面加工方法可分为利用成形刀具加工和利用简单刀具通过控制刀具轨迹加工(仿形加工)两大类。

★★1.6.2 用成形刀具加工

利用成形刀具加工成形表面时,刀具切削刃的形状按加工表面轮廓形状制造,刀具只需相对工件做简单的直线进给运动。

用成形刀具加工成形面,加工的精度主要取决于刀具的精度,并易于保证同一批工件表面形状、尺寸的一致性。成形刀具是宽刃刀具,同时参加切削的刀刃较长,一次切削行程就可加工出工件的成形面,因而有较高的生产率。此外,成形刀具可重磨的次数多,故刀具的寿命长。但是,成形刀具的设计、制造和刃磨都较复杂,故刀具的成本较高。因此,用成形刀具加工成形面,适用于成形面精度要求较高、尺寸较小、生产批量较大的场合。

★★1.6.3 仿形加工

仿形加工是利用仿形装置,根据样板或样件的表面控制简单刀具做一定轨迹的运动,从而复制出相应的成形表面,亦即模仿样板或样件来进行加工。仿形装置有机械仿形、液压仿形、电气仿形等。

1.7 数控加工

★★1.7.1 数控加工的概念和发展

数控即数字控制的简称。数控加工是指在数控机床上对零件进行加工的一种方法。

目前,数控系统正朝着以通用微机为基础、体系结构开放和智能化方向发展。

数控机床的种类繁多,按加工方式可分为金属切削类数控机床(车、铣、刨、磨、镗等)、金属成形类机床(冲)和特种加工类数控机床(激光切割、线切割)等。在金属切削类数控机床中,按照自动化程度的高低又可分为普通数控机床、加工中心、柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)和现代集成制造系统(CIMS)。

现在数控加工技术的发展趋势是:高精度化、高速化、高柔性化、高自动化、智能化和超复合化。

★ ★ 1.7.2 数控加工的特点

数控加工具有普通加工方式的功能,又有其自身的特点:

- ① 能加工轮廓形状复杂或可用数学模型描述的零件。
- ② 能加工超精零件。
- ③ 一次装夹定位后,可进行多道工序加工。
- ④ 一台数控机床可同时加工两个或多个相同的零件,也可同时加工多工序的不同零件。
- ⑤ 数控机床加工的自动化程度很高,除刀具的进给运动外,对零件的装夹、刀具的更换、切屑的排除等工作均能自动完成。同时,由于其加工过程多为封闭式,故能极大地减轻操作者的劳动强度和紧张程度。

⑥ 在数控机床上加工零件,一般可省去前期划线、中间检验等工作,通常还可省去复杂的工装,减少零件的安装、调整等工作,故能明显缩短加工的准备时间,提高生产率。

1.8 特种加工

★ 1.8.1 特种加工概述

特种加工技术是直接借助电能、热能、声能、光能、电化学能、化学能以及特殊机械能等多种能量或其复合应用以切除材料的加工方法。它与常规的机械加工方法主要区别体现在:

- ① 能量密度高,能加工常规切削方法难以加工的材料。
- ② 非机械接触加工,加工时间短、工件受力受热小、工件不易变形。
- ③ 加工能量容易控制,可进行微细零件的精密加工。
- ④ 无切屑或仅有粉末状切削,易于自动处理。
- ⑤ 加工过程易于实现自动化。

★ 1.8.2 电火花加工

1. 加工原理

电火花加工是利用工具电极和工件电极之间瞬时放电时产生的高温电蚀效应来去除工件材料的加工方法。在生产中应用最广的电火花加工方法有两类,一类是用具有一定形状的电极工具(常用的电极工具材料是石墨、铜或它们的合金)进行加工的电火花穿孔或电火花成形加工;另一类是用细丝(一般为钼丝、钨丝或铜丝)电极加工二维轮廓形状的电火花

线切割加工。

电火花切割是利用连续移动的细金属导线（电极丝：钼丝、钨丝或铜丝）作为工具电极对工件进行脉冲火花放电来切割金属。按电极丝的走丝速度可分为快速走丝和慢速走丝。

2. 工艺特点

电火花加工时工具不与工件直接接触，没有切削力作用，对机床加工系统的刚度要求不高；可加工任何导电材料的工件，不受工件材料强度、硬度、脆性和韧性的影响，为耐热钢、淬火钢、硬质合金等难加工材料的加工提供了有效的加工手段。

3. 应用范围

电火花加工的应用范围很广，可加工各种硬、脆、韧、软和高熔点的导电材料。如各种型孔（如圆孔、方孔、条形孔）、曲线孔和微小孔（如拉丝模、喷丝头小孔）及各种立体曲面型腔（锻模、压铸模、塑料模的模膛），还可用于切断、切割、表面强化、刻写、打印铭牌和标记。

★1.8.3 电解加工

1. 加工原理

电解加工是利用金属在电解液中发生“阳极溶解”来进行加工的，又称为电化学加工。工件接直流电源的正极，工具电极接负极，两极之间保持较小的间隙。电解液以一定的压力和速度从间隙流过。当接通电源时，工件表面的金属材料溶解，溶解的产物被高速流动的电解液带走。工具阴极以一定的速度向下进给，工件表面的材料就不断被溶解，于是在工件表面形成了与工具电极形状相反的形状。

2. 工艺特点

电解加工的主要特点：

- ① 工作电压低（6~24 V），工作电流大（500~20 000 A）。
- ② 能以简单的进给运动一次加工出形状复杂的型面或型腔（锻模、叶片等）。
- ③ 可加工难加工的材料。
- ④ 生产率较高，为电火花加工的5~10倍。
- ⑤ 加工中无机械切削力或切削热，适合于易变形或薄壁零件的加工。
- ⑥ 平均加工公差可达 ± 0.1 mm左右。
- ⑦ 附属设备多，占地面积大，造价高。
- ⑧ 电解液既腐蚀机床，又污染环境。

3. 应用范围

电解加工的工艺范围广，导电材料都可以进行电解加工。没有宏观切削力，适宜加工复杂形体件、薄壁件。加工表面无刀痕、飞边、毛刺等。但是阴极的设计和制造工作量大、附属设备多、占地面积大。电解加工主要应用于加工型孔、型腔、复杂型面、小直径深孔、炮筒膛线、去毛刺、刻印等。

★1.8.4 激光加工

1. 加工原理

激光具有四大特点：亮度高、方向性好、单色性好、相干性好，通过光学系统可以使它聚焦成一个极小的光斑，从而获得极高的能量密度和极高的温度。在此高温下，任何坚硬的材料都将瞬时急剧熔化和蒸发，并产生强烈的冲击波，使熔化的物质爆炸式地喷射出去。激光加工，无论是激光切割、打孔，还是焊接、热处理，都是利用激光光束产生的瞬间高温对工件材料进行蚀除、焊接或改变材料的物理、化学性能。

2. 工艺特点

激光加工的主要特点：

- ① 激光功率高，可以加工任何能熔化而不易产生化学分解的难加工的金属和非金属固体材料。
- ② 加工不需要刀具，故不存在工具磨损问题，同时也不存在断屑、排屑的麻烦。
- ③ 激光加工属非接触加工，加工变形小，无接触变形。
- ④ 激光束能聚焦成 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下的光斑，加工孔径和窄缝可以小至几微米，适用于微细加工。激光切割的切缝窄，切割边缘质量好。
- ⑤ 加工速度快，生产效率高，热影响区小，热变形小。
- ⑥ 激光束传递方便、易于控制，便于与机器人、自动检测、计算机数字控制等先进技术相结合，实现自动化加工。
- ⑦ 采用多轴联动可加工异形曲面、曲线及进行雕刻等。

3. 应用范围

激光加工的应用范围很广，可用于金刚石拉丝模、钟表宝石轴承、发动机的喷油嘴、叶片的小孔加工，以及多种金属和非金属材料的切割加工。在大规模集成电路的制作中，可使用激光焊接、激光划片、激光热处理。

★1.8.5 电子束加工

1. 加工原理

电子束加工是在真空条件下，利用聚焦后能量密度极高的电子束，以极高的速度冲击到工件表面的极小位置上，在极短的时间内，这些极高的能量大部分转化为热能，而此时被加工的位置达到几千度的高温，从而引起材料局部的熔化和气化，被真空系统带走，工作原理与激光加工原理相似。

2. 工艺特点

- ① 由于电子束可以聚集在很微细的范围内，和被加工工件表面接触面积很小，属于精密加工方法。
- ② 属于非接触式加工，工件不受机械力作用，不产生接触应力和变形。
- ③ 由于能量密度高，因此比其他特种加工方法加工效率高。

④ 通过对电子束的位置、强度和聚焦等参数的控制,易于实现加工过程的自动化。

⑤ 由于是在真空中进行加工,因此特别适合加工易氧化金属和合金,以及对加工环境要求较高的工件。

⑥ 由于是在真空中进行加工,设备造价高,其工艺成本相对较高。

3. 应用范围

电子束广泛应用于不锈钢、耐热钢、合金钢、陶瓷、玻璃和宝石等难加工材料的加工,可加工圆孔、异形孔和窄缝等,还可以用于焊接难熔金属、化学活性高的金属、碳钢、铝合金、钛合金和不锈钢等。

★1.8.6 离子束加工

1. 加工原理

离子束加工也是在真空条件下,将离子源产生的离子束经过加速聚焦,撞击工件表面,由于离子的质量比电子的要大很多,因此可以获得更大的机械能,而不是像电子束加工中靠动能转化为热能来实现加工。

2. 工艺特点及应用范围

① 由于离子束是通过机械能进行工件表层的逐层去除,离子束的能量可以精确控制,因此可以实现纳米级的加工精度,是所有特种加工中最精密、最微细的加工方法。

② 由于是在真空情况下进行工件表面的加工,因此同样适合易氧化零件的加工和高纯度零件的加工。

③ 属于非接触式加工,因此加工应力和热变形极小,加工质量高。适合于低刚度零件的加工。

④ 离子束设备成本高,加工效率低,应用受到一定的限制。

★1.8.7 超声波加工

1. 加工原理

超声波加工是利用工具端面的超声频振动,驱动工作液中的悬浮磨料高速撞击加工表面来进行材料去除的加工方法。

超声波发生器将工频交流电能转变为有一定功率输出的超声频电振荡,通过换能器将其转变为超声频机械振动,借助于变幅杆把振幅位移扩大,驱动工具振动。工具端面在振动中冲击工作液中的悬浮磨粒,使磨粒以很大的速度不断撞击、抛磨被加工表面。通过工具的进给,最终把工具的轮廓形状“复印”到工件上。

2. 工艺特点及应用范围

超声波加工适宜加工各种脆性材料,既能加工导电材料,也能加工不导电或半导体材料,特别是电火花和电解加工难以加工的不导电材料和半导体材料,如玻璃、陶瓷、石英、锗、硅、玛瑙、宝石、金刚石等;对于导电的硬质合金、淬火钢等也能加工,但加工效率比较低。超声波加工机床的结构相对简单、操作维护方便、生产效率相对较低。