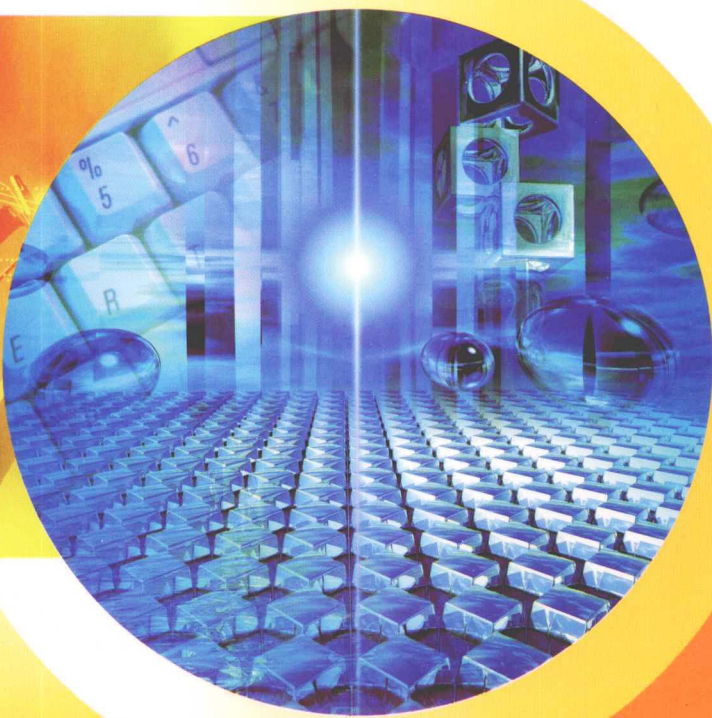




21 世纪中等职业教育系列教材
中等职业教育系列教材编委会专家审定

数控加工工艺与编程实训

主编 冯琪玲



北京邮电大学出版社
<http://www.buptpress.com>

中等职业教育系列教材
中等职业教育系列教材编委会专家审定

数控加工工艺与编程实训

主 编 冯琪玲

北京邮电大学出版社
· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺与编程实训/冯琪玲主编. —北京:北京邮电大学出版社,2008

ISBN 978 - 7 - 5635 - 1793 - 0

I. 数... II. 冯... III. ①数控机床—加工工艺 ②数控机床—程序设计 IV. TG659
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 088581 号

书 名 数控加工工艺与编程实训

主 编 冯琪玲

责任编辑 周 堃 张丹丹

出版发行 北京邮电大学出版社

社 址 北京市海淀区西土城路 10 号 邮编 100876

经 销 各地新华书店

印 刷 北京市彩虹印刷有限责任公司

开 本 787mm×960mm 1/16

印 张 13.5

字 数 276 千字

版 次 2008 年 6 月第 1 版 2008 年 6 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 5635 - 1793 - 0

定 价 21.00 元

如有印刷问题请与北京邮电大学出版社联系 电话:(010)82551166 (010)62283578

E-mail:publish@bupt.edu.cn

Http://www.buptpress.com

版权所有 侵权必究

出版说明

随着科学技术的发展,数控机床的应用日益普及,数控加工岗位急需大量既懂数控机床工作原理,又熟悉数控机床编程及实际操作的专门化人才。

本教材共分两篇:基础理论篇与实训篇。在编写中,本教材遵循理论与实际相结合的原则,以数控加工实训为主线,由浅入深,循序渐进,将数控加工工艺理论知识与编程实际操作融于一体。通过实训课题的训练,在培养学生具有一定数控加工基础知识的同时,又能掌握比较扎实的基本操作技能,为今后的专业技能训练打下坚实的基础。

本教材的编写适应了教改的需要,突出了职业技术教育的特色,符合数控技术应用专业对高等素质劳动者和中级专门人才的要求,不仅可作为中、高等职业技术教育数控加工技术专业的基础实训教材,也可作为相关行业岗位培训教材或自学用书。

本教材由辽宁工程技术大学职业技术学院冯琪玲老师编写,在编写中得到北京邮电大学、辽宁工程技术大学的大力支持,在此表示衷心感谢。

限于篇幅及编者水平,书中难免存在疏漏与错误,敬请读者予以批评指正。

编 者

目 录

绪论	1
第一篇 基础理论篇	3
项目一 数控加工的切削基础知识	3
课题一 金属切削运动和加工中的工件表面	3
课题二 切削用量与切削液的选择	9
项目二 数控加工工艺基础	12
课题一 概 述	12
课题二 机械加工工艺规程的制订	16
课题三 加工余量、工序尺寸及其公差确定	28
项目三 数控编程基础	35
课题一 数控加工的基本概念	35
课题二 机床坐标系与工件坐标系	36
课题三 数控编程的步骤与方法	45
课题四 数控编程的基本功能指令	49
课题五 数控编程的数值计算	54
第二篇 实训篇	56
项目一 数控车床实训	56
课题一 数控车床的基本操作	56
课题二 数控车削外圆、台阶、端面的编程与加工	60
课题三 数控车槽及切断的编程与加工	72
课题四 数控车圆柱孔、内沟槽的编程与加工	78
课题五 成形表面的数控编程与加工	84
课题六 数控车削螺纹的编程与加工	92
课题七 综合练习一(轴类零件加工)	100

课题八 综合练习二(盘类零件加工)	114
项目二 数控铣床实训	124
课题一 数控铣床的安全生产与基本操作	125
课题二 数控铣床的对刀	129
课题三 数控铣削加工平面	135
课题四 数控铣削加工平面外轮廓	144
课题五 数控铣削加工平面内轮廓	156
课题六 孔的数控加工工艺与编程	167
课题七 数控铣削加工综合练习	177
项目三 数控加工中心加工工艺与编程	184
课题一 数控加工中心加工工艺简介	184
课题二 加工中心的综合练习	186
项目四 数控线切割加工工艺与编程	195
课题一 ISO 格式的编程综合练习	196
课题二 数控线切割机床 3B 格式的编程综合练习	203

绪 论

一、数控加工在机械制造业中的地位和作用

随着科学技术的发展,机械产品结构越来越趋于合理,性能、精度和效率日趋提高,更新换代也日趋频繁,生产类型逐渐由单品种大批量生产向多品种小批量生产转化,由此,对机械产品的加工相应地提出了高精度、高柔性 with 高度自动化的要求。

数控加工综合应用了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密检测与新型机械结构等方面的技术成果,具有高柔性、高精度与高度自动化的特点,解决了机械制造中常规加工技术难以解决的单件小批量加工,特别是复杂型面零件的加工问题。革命性的数控加工技术的应用,使机械制造业进入了一个全新的历史阶段,极大地提高了机械加工效率和机械制造业的制造水平。应用数控加工技术的领域已从当初的航空工业部门逐步扩大到汽车、造船、机床、建筑等民用机械制造业,并取得了巨大的经济效益。

二、数控加工技术特点

与传统的加工方法相比,数控加工具有如下优点。

1. 自动化程度高

在数控机床上加工零件时,除了手工装卸工件外,全部加工过程都由机床自动完成,减轻了操作者的劳动强度,改善了劳动条件。

2. 加工精度高,加工质量稳定

数控加工的尺寸精度不受零件形状复杂程度的影响,加工中消除了操作者的人为误差,提高了同批零件尺寸的一致性,使产品质量保持稳定。

3. 对加工对象的适应性强

数控机床实现了自动加工的信息控制加工程序。当加工对象改变时,除了相应更换刀具和解决工件装夹方式外,只要重新编写并输入该零件的加工程序,便可自动加工出新的零件,不必对机床做任何复杂的调整,这样缩短了生产准备周期,给新产品的研制开发以及产品的改进改型提供了捷径。

4. 生产效率高

一方面数控机床的自动化程度高,在一次装夹中能完成较多表面的加工,省去了划线、多次装夹、检测等工序;另一方面数控机床的运动速度高,空行程时间短,可大大缩短加工时间。

5. 易于建立计算机通信网络

由于数控机床使用数字信息,就易于与计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)系统连接,

形成计算机辅助设计和制造与数控机床紧密结合的一体化加工系统。

在具备上述优点的同时,数控加工在某些方面也存在一些不足之处,如数控机床价格昂贵、加工成本高、技术复杂,对工艺和编程要求较高,加工中难以调整,维修困难。而加工工艺和程序的编制、刀具的供应、编程与操作人员的培训等问题也需要企业投入相当的人力、物力、财力加以解决。

三、数控加工工艺与编程实训研究的内容和任务

数控机床加工工艺与编程实训是以数控机床加工中的工艺和编程问题为研究对象的一门课程。它主要以机械制造工艺和编程中的基本理论为基础,结合数控机床的加工特点与实例,综合运用各方面的知识解决数控加工中的工艺与编程问题。

本课程研究的内容包括金属切削加工工艺和数控编程的基本知识和基本理论、金属切削刀具、典型零件加工工艺分析和数控加工程序编制的方法等。本课程研究的宗旨是,科学地最优地设计加工工艺和编制加工程序,充分发挥数控机床的特点,实现在数控加工中的优质、高效、低耗。

本课程学习的主要任务是:

1. 基本掌握数控加工的金属切削及加工工艺的基本知识和基本理论。
2. 学会选择机床、刀具、夹具及零件表面的加工方法。
3. 掌握数控加工工艺设计方法和程序的编制方法。
4. 掌握数控机床的基本操作方法。
5. 初步具有制订中等复杂程度零件的数控机床加工工艺与编制程序的能力,以及分析解决生产中一般工艺问题和编程问题的能力。

第一篇 基础理论篇

项目一 数控加工的切削基础知识

金属切削所涉及的基础知识内容包括数控加工基本概念,金属切削运动及加工中的工件表面,切削要素和数控加工常用刀具的选择方法。针对数控加工中的工艺参数,本书提供了相应的参考数据,为数控加工工艺的制订奠定了基础。

课题一 金属切削运动和加工中的工件表面

一、金属切削运动

金属切削加工是利用切削刀具从毛坯上切除多余的金属材料(统称余量),以获得几何形状、尺寸精度和表面粗糙度等都符合一定技术要求的机械零件的加工方法。在金属切削加工过程中,刀具和工件之间必须有相对运动,这种相对运动就称为金属切削运动。按在切削加工中的功用不同,切削运动可分为主运动和进给运动。

1. 主运动(n)

主运动是切下切屑所需的最基本的运动,是由机床提供的刀具与工件之间的主要相对运动,它可使刀具前面接触工件并切除切削层。它可以是旋转运动(例如图1-1-1所示车削时工件的旋转运动,钻削时刀具的旋转运动),也可以是直线运动(如刨削加工时刀具或工件的往复直线运动)。主运动在切削运动中切削速度最高,所消耗的机床功率也最大。

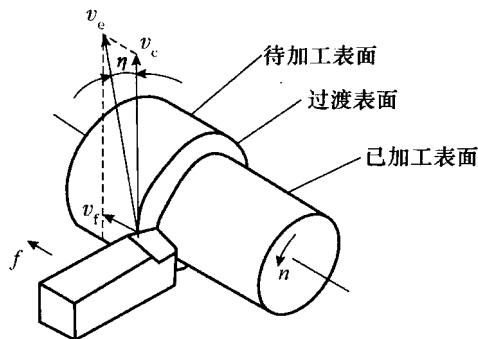


图1-1-1 车削时的运动与工件上的三个表面

2. 进给运动(f)

进给运动是由机床提供的刀具与工件之间的附加相对运动,是使工件未被切除的多余材料不断投入切削,以加工出完整表面所需的运动。它可以是连续的运动(如图 1-1-1 所示车削外圆时车刀的纵向移动,钻孔时钻头的轴向移动),也可以是间断运动(如刨削加工时刀具的横向运动)。其特点是速度一般远远小于主运动的速度。

主运动和进给运动可以由刀具或工件分别完成,也可以由刀具单独完成,其运动形式可以是旋转运动,也可以是直线运动。在各类切削加工中主运动只有一个,而进给运动可以是一个,也可以是多个,甚至没有。

当主运动与进给运动同时进行时,由主运动和进给运动合成的运动称为合成运动。

二、金属切削加工中的工件表面

如图 1-1-1 所示,在切削加工过程中,工件上多余的材料不断地被刀具切除而变成切屑,因此工件切削加工时在工件表面形成了不断变化的三个表面。

1. 待加工表面

待加工表面是工件上等待切除切削层的表面。

2. 已加工表面

已加工表面是工件上已被刀具切去切屑所形成的新表面。

3. 过渡表面

过渡表面是工件上由切削刃正在形成的那部分表面,它是待加工表面和已加工表面之间的过渡面。

三、切削要素

切削要素包括切削用量和切削层参数。

1. 切削用量

切削用量是用来表示切削运动,调整机床用的参量,包括切削速度、进给量与背吃刀量。要完成切削加工,这三者缺一不可,故又称为切削用量三要素,如图 1-1-2 所示。

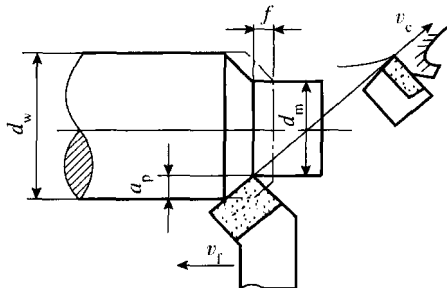


图 1-1-2 切削用量三要素

(1) 切削速度 v_c 。

切削刃选定点相对于工件主运动的瞬时速度称为切削速度。大多数切削加工的主运动为回转运动,其切削速度的计算公式是

$$v_c = \pi dn / 1000 \quad (1-1-1)$$

式中 v_c ——切削速度,其单位用 m/min ;

n ——工件或刀具的转速,其单位用 r/min ;

d ——切削刃选定点处所对应的工件或刀具的回转直径,其单位用 mm 。

切削速度可用经验公式计算,也可根据生产实践经验,在机床说明书允许的切削速度范围内查阅有关切削用量手册选取。

(2) 进给量(又称为走刀量) f

在主运动的一个循环(或单位时间)内,刀具在进给运动方向上和工件之间相对移动的距离,可用刀具或工件每转一转或每个行程的位移量来表达或度量,其单位为 mm/r 或毫米/行程。

例如车削时的进给速度 v_f 与进给量 f 之间的关系则可按下式计算:

$$v_f = nf \quad (1-1-2)$$

式中 n ——车床主轴转速, r/min ;

f ——每转进给量, mm/r 。

对于铣刀、铰刀等多齿刀具,每齿进给量与刀具转速、齿数、进给速度及进给量的关系为:

$$v_f = nf_z z \quad (1-1-3)$$

式中 f_z ——铣刀、铰刀每齿进给量, mm/z ;

z ——刀具齿数。

(3) 背吃刀量 a_p

背吃刀量是指待加工表面与已加工表面之间的垂直距离,其单位用 mm 。例如,车削外圆时背吃刀量是待加工表面与已加工表面的半径差。

$$a_p = (d_w - d_m) / 2 \quad (1-1-4)$$

式中 d_w ——待加工表面直径, mm ;

d_m ——已加工表面直径, mm 。

镗孔时,则上式中 d_w 与 d_m 互换一下位置。

2. 切削层参数

在切削加工中,刀具或工件沿进给运动方向每移动 f 或 f_z 后,由一个刀齿正在切除的金属层称切削层(工件上正在被切削的金属层)。切削层的尺寸称为切削层参数,包括切削宽度、切削厚度和切削面积。为简化计算,切削层的剖面形状与尺寸应在垂直于切削速度的基

面上度量。如图 1-1-3 所示为外圆纵车时切削层参数。

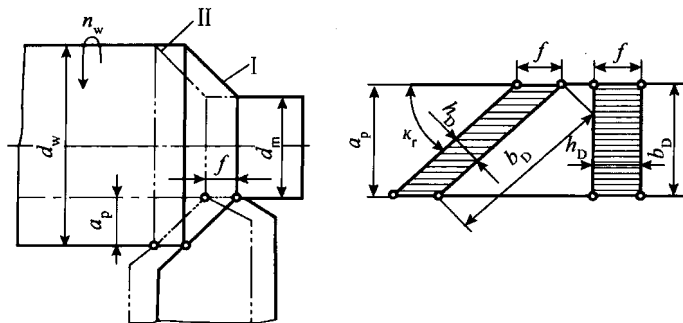


图 1-1-3 外圆纵车时切削层参数

(1) 切削宽度 b_D

它是沿刀具主切削刃所量得的切削层尺寸,即切削刃参与切削工作的长度。

(2) 切削厚度 h_D

切削厚度即刀具或工件每移动一个进给量 f 后,刀具主切削刃相邻两个位置的垂直距离。

(3) 切削面积 A_D

切削面积即切削层横截面面积。

四、数控机床使用的刀具

刀具切削性能,首先取决于刀具切削部分的材料,其次取决于刀具的几何参数及刀具结构的选择和设计的合理性。

1. 刀具材料的要求

- (1) 较高的硬度。其硬度应高于工件材料的硬度,常温硬度在 60HRC 以上。
- (2) 良好的耐磨性。可以使刀具的工作时间延长,提高生产效率。
- (3) 足够的强度和韧性。以保证对切削抗力、冲击力以及对振动有足够的承受能力。
- (4) 高的耐热性(又称热硬性)。这是指刀具能在高温下维持切削所需的硬度、耐磨性、强度和韧性的能力,它是评价刀具性能的重要指标。
- (5) 良好的工艺性。为便于制造,刀具材料要有良好的可加工性能。
- (6) 经济性。选择刀具材料时要注意经济效益,力求价格低廉。

2. 常用的刀具材料

目前常用的刀具材料有高速工具钢和硬质合金。

(1) 高速工具钢

高速工具钢的高温硬度、耐磨性都比合金工具钢好,耐热温度约 $550^{\circ}\text{C} \sim 650^{\circ}\text{C}$,热处理后的硬度可达到 63HRC ~ 66HRC。由于其热处理性能好,有较高的强度和良好的耐磨性,因而被广泛用于制造成形车刀、铣刀、钻头 and 拉刀等各种机用刀具。

(2) 硬质合金

硬质合金是由硬度和熔点都很高的碳化物用粘结剂制成的粉末冶金制品,其常温硬度可达 78HRC ~ 82HRC,能耐 800℃ ~ 1000℃ 的高温,允许的切削速度是高速钢的 4 倍 ~ 10 倍。但其冲击韧性和抗弯强度远比高速钢低,因此很少做成整体刀具,一般是将刀块用焊接或机械夹固的方式固定在刀体上。

3. 选择刀具(刀片)应考虑的因素

选择刀具(或刀片)应考虑的因素是多方面的。考虑机床种类、型号、生产经验和习惯的不同以及其他因素,选择刀具(或刀片)时应该注意以下几点:

- (1) 被加工工件材料的类别。不同的工件材料应选择不同类别的刀具或刀片。
- (2) 被加工工件材料性能。包括硬度、韧性、组织状态等。
- (3) 切削工艺的类别。如粗加工、精加工、超精加工,车、钻、铣、镗切削,内孔、外圆加工,切屑流动状态,刀具变位时间间隔等。
- (4) 被加工工件的几何形状、零件精度和加工余量等因素。
- (5) 刀具(或刀片)所能承受的切削用量(切削深度、进给量、切削速度)。
- (6) 生产现场的条件,如操作间断时间、振动、电力波动等。
- (7) 被加工工件的生产批量,它将影响到刀片或刀具的经济寿命。

4. 常用的刀具类型

(1) 数控车削刀具

数控车削刀具主要有尖形车刀、圆弧形车刀、成形车刀,如图 1-1-4 所示。



图 1-1-4 常用车刀分类

1) 尖形车刀

以直线形切削刃为特征的车刀一般称为尖形车刀。这类车刀的刀尖(同时也是其刀位点)由直线形的主、副切削刃构成,如内、外圆车刀,左、右端面车刀,切槽(断)车刀及刀尖第一前面很小的各种外圆和内孔车刀。如图 1-1-4(a)所示。

2) 圆弧形车刀

圆弧形车刀是较为特殊的数控加工使用的车刀。它是以一圆度误差或线轮廓度误差很小的圆弧形切削刃为特征的车刀。该圆弧上的每一点都是圆弧形车刀的刀尖,因此,刀位点不在圆弧上,而在该圆弧的圆心上。车刀圆弧半径理论上与被加工零件的形状无关,并可按

需要灵活确定或经测定后确认。如图 1-1-4(b) 所示。

当某些尖形车刀或成形车刀(如螺纹车刀)的刀尖具有一定的圆弧形状时,也可作为这类车刀使用。

圆弧形车刀可以用于车削内、外表面,特别适宜于车削各种光滑连接(凹形)的成形面。选择车刀圆弧半径时应考虑两点:一是车刀切削刃的圆弧半径应小于或等于零件凹形轮廓上的最小曲率半径,以免发生加工干涉;二是该半径不宜选择太小,否则不但制造困难,而且还会因刀具强度太弱或刀体散热能力差而导致车刀损坏。

3) 成形车刀

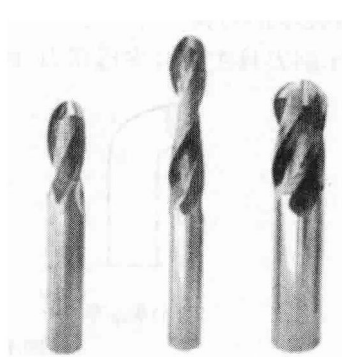
成形车刀俗称样板车刀,其加工零件的轮廓形状完全由车刀刀刃的形状和尺寸决定。数控车削加工中,常见的成形车刀有小半径圆弧车刀、非矩形车槽刀和螺纹车刀等。在数控加工中,应尽量少用或不用成形车刀,当确有必要选用时,则应在工艺文件或加工程序单上进行详细说明。如图 1-1-4(c) 所示。

(2) 数控铣削刀具

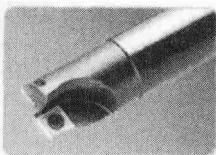
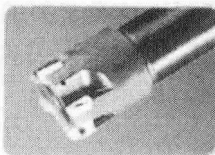
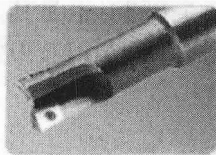
与普通铣床的刀具相比较,数控铣床刀具制造精度更高,要求高速、高效率加工,刀具使用寿命更长。刀具的材质选用高强、高速钢、硬质合金、立方氮化硼、人造金刚石等。高速钢、硬质合金采用 TiC 和 TiN 涂层及 TiC-TiN 复合涂层来提高刀具使用寿命。在结构形式上,采用整体硬质合金或使用可转位刀具技术。主要的数控铣削刀具种类如图 1-1-5 所示。



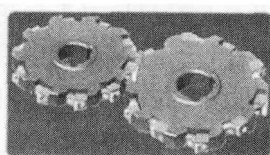
(a) 硬质合金涂层立铣刀和可转位球刀、面铣刀等



(b) 整体硬质合金球头铣刀



(c) 硬质合金可转位立铣刀



(d) 硬质合金可转位三面刃铣刀

图 1-1-5 常用的数控铣刀

课题二 切削用量与切削液的选择

一、数控加工切削用量选择原则

数控加工中选择切削用量的原则与普通机床加工的原则大致相同,即在保证加工质量和刀具耐用度的前提下,充分发挥机床性能和刀具切削性能,使切削效率最高,加工成本最低。

1. 粗加工时切削用量选择原则

- (1) 选取尽可能大的背吃刀量。
- (2) 要根据机床动力和刚性等限制条件选取较大的进给量。
- (3) 根据刀具耐用度确定最佳切削速度。

2. 精加工时切削用量选择原则

- (1) 根据粗加工后的余量确定背吃刀量。
- (2) 根据已加工表面的粗糙度要求,选取较小的进给量。
- (3) 在保证刀具耐用度的前提下,尽可能选取较高的切削速度。

二、切削用量选择方法

1. 背吃刀量(a_p)的选择

背吃刀量(a_p)应根据加工余量确定,在工艺系统刚度和机床功率允许的情况下,尽可能选取较大的背吃刀量,以减少进给次数。

粗加工($Ra10\ \mu\text{m} \sim 80\ \mu\text{m}$)时,一次进给尽可能切除全部余量。在中等功率机床上背吃刀量可达 $8\ \text{mm} \sim 10\ \text{mm}$ 。半精加工($Ra1.25\ \mu\text{m} \sim 10\ \mu\text{m}$)时,背吃刀量可达 $0.5\ \text{mm} \sim 2\ \text{mm}$ 。精加工($Ra0.32\ \mu\text{m} \sim 1.25\ \mu\text{m}$)时,背吃刀量可达 $0.1\ \text{mm} \sim 0.4\ \text{mm}$ 。

在工艺系统刚性不足,毛坯余量很大,或余量不匀时,粗加工要分几次进给,且把第一、第二次进给的背吃刀量尽可能取得大一些。

2. 进给量(f)的选择

粗加工($Ra10\ \mu\text{m} \sim 80\ \mu\text{m}$)时,对工件表面没有太多的精度要求,根据机床刚度、强度、工件尺寸、刀具尺寸和已选的背吃刀量来选择进给量。

在半精加工和精加工时,则按表面粗糙度要求,根据加工材料、刀尖圆弧半径、切削速度来选择进给量。

3. 切削速度的选择

根据已确定的背吃刀量、进给量及刀具耐用度选择切削速度。切削速度可根据公式计算或查表获得。

选择切削速度要注意如下事项:

- (1) 避开积屑瘤产生区,在积屑瘤产生区时的切削速度要降低。
- (2) 断续切削时,为减小冲击和热应力,也要降低切削速度。
- (3) 在易发生振动情况下,切削速度避开自振区的临界速度。
- (4) 加工大件、细长件、薄壁件时要降低切削速度。
- (5) 加工带外皮的工件时也要降低切削速度。

三、切削液的选择

合理选择切削液可以改善刀具和工件间的磨损状况,降低切削力和切削温度,提高刀具耐用度,从而提高加工效率和加工质量。

1. 切削液作用

(1) 冷却作用。切削液可以将切削过程中产生的热量迅速地从切削区带走,使切削区温度降低。

(2) 润滑作用。切削液可以在刀面与工件之间形成润滑膜,从而减少或避免刀具与工件或切屑间的直接接触,减小刀具的磨损,提高工件表面的加工质量。

(3) 清洗作用。在金属切削过程中,会产生大量的切屑、金属碎片和粉末,使用切削液便可以及时地将它们从刀具或工件上洗下去,从而避免切屑粘附刀具堵塞排屑和划伤工件表面。

(4) 防锈作用。为了减轻工件、刀具和机床受空气和水分等的腐蚀,要求切削液有一定的防锈作用。

2. 切削液的种类

常用的切削液有三种类型。

(1) 水溶液。水溶液是以水为主要成分的切削液。水的导热性能好,冷却效果好。但单纯的水易使金属生锈,且润滑性能差。

(2) 乳化液。乳化液是将乳化油用 95% 的水稀释而成,呈乳白色或半透明状的液体,具有良好的冷却作用;但润滑、防锈性能较差。

(3) 切削油。切削油的主要成分是矿物油、动植物油、复合油。纯矿物油不能在摩擦界面形成坚固的润滑膜,润滑效果差,需加入添加剂以提高其润滑和防锈作用。

3. 切削液选择原则

(1) 粗加工时切削液选择。粗加工时,加工余量大,切削用量大,产生切削热量高。使用高速钢刀具切削时,采用切削液的目的是降低温度,减小刀具磨损。硬质合金刀具耐热性好,一般不用切削液,必要时可采用低浓度乳化液或水溶液,但必须连续、充分地浇注,以免处于高温状态的硬质合金刀片产生巨大内应力而出现裂纹。

(2) 精加工时切削液选择。精加工时,由于表面质量要求高,应选择润滑性能好的切削液,如高浓度的乳化液或含添加剂的切削油。

(3) 根据材料的性能选择切削液。切削塑性材料时需用切削液。切削铸铁、黄铜等脆性

材料时,一般不用切削液,以免崩碎切屑粘在机床的运动部件上。切削有色金属时,可用乳化液、煤油或煤油与矿物油的混合物。切削镁合金时,不能用水溶液,以免燃烧。

习题

- 1-1-1 同常规加工相比,数控加工具有哪些特点?
- 1-1-2 金属切削运动有哪几种? 各有何特点?
- 1-1-3 切削用量三要素有哪些? 如何选取?
- 1-1-4 在实心材料上钻孔时,哪个表面是待加工表面?
- 1-1-5 数控加工时切削用量选择原则是什么?
- 1-1-6 对数控机床使用的刀具有哪些要求?
- 1-1-7 切削液种类有哪些? 其作用如何?