



高职高专“十二五”规划教材

数控铣加工技术

SHUKONG XIJIAGONG JISHU

主 编 王文凯

- 项目教学，任务驱动
- 突出实际编程与加工能力
- 与实训练习紧密结合

上海科学技术出版社



高职高专“十二五”规划教材

数控铣加工技术

SHUKONG XIJIAGONGJI JISHU

主 编 王文凯



上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控铣加工技术 / 王文凯主编. —上海:上海科学技术出版社,2011.8

高职高专“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5478-0829-0

I. ①数… II. ①王… III. ①数控机床:铣床-加工-高等职业教育-教材 IV. ①TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 128063 号

上海世纪出版股份有限公司
上海科学技术出版社 出版、发行

(上海钦州南路71号 邮政编码200235)

新华书店上海发行所经销

常熟市兴达印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张:12.75

字数:280千字

2011年8月第1版 2011年8月第1次印刷

ISBN 978-7-5478-0829-0/TG·42

定价:28.50元

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题,
请向工厂联系调换

本书是按照模块化项目体系进行编写的,适合项目案例教学。全书共分9个项目,项目内容由简单到复杂、由单一到综合逐渐提高,主要内容包括简单铣削加工、有刀补的简单轮廓加工、多孔零件加工、型腔零件加工、局部相似型零件的加工、规律曲线及曲面零件的加工、简单零件加工、中级工零件加工及高级工零件加工等。本书内容取材新颖,注重实用性、针对性。在每个项目中,都按照由案例引出问题、补充相关知识、解决问题的基本思路进行。每个项目后都有适当的思考与练习。

本书可以作为高职数控技术专业、机电一体化专业、模具设计与制造专业以及机械制造及自动化专业等的教材,也可作为从事数控制造领域工作的工程技术人员的参考书。

作者名单

Authors

数控铣加工技术

主 编 王文凯
副主编 胡细东 陈 涛
参 编 张迎春 黄 杰 魏本建

为了适应高等职业教育的特点与培养目标,培养数控铣床加工的高技能人才,进一步提高学生的数控铣加工理论知识与实际操作技能,在数控铣加工技术课程的教学过程中编者结合企业的工作模式与工作过程,通过项目引领、任务驱动的教学方式,采用“学做合一”的教学模式,使学生能熟练掌握数控铣加工的知识点,并配合数控铣加工的综合实训环节,使学生能达到机械制造企业“准员工”标准。

本书的主要内容就是围绕具体的教学与实际典型案例展开的,运用数控铣加工的基本知识,结合实际企业的生产过程,具体描述解决案例问题的基本步骤与过程,并举一反三解决问题。书中内容都是按照由简单到复杂、由单一到综合的基本思路编写的,最终达到数控铣加工的高级工水平。

本书具有以下主要特点:

- (1) 项目化教学思路;
- (2) 突出实际编程与加工能力;
- (3) 课程与实训练习紧密结合;
- (4) 深入浅出地分析、解决问题。

本书由南京工业职业技术学院王文凯任主编并负责统稿,张家界航空工业职业技术学院胡细东、南京工业职业技术学院陈涛任副主编。具体编写分工为:张迎春、王文凯编写项目一、项目二,陈涛、王文凯、南京工业职业技术学院黄杰编写项目三、项目七,沙洲职业工学院魏本建、王文凯编写项目四、项目五,胡细东、王文凯编写项目六、项目八,王文凯编写项目九。在编写教材过程中,参阅了大量资料、文献和图片,在此,特向参考文献的原作者表示衷心的感谢。

本教材的所有实例都通过编者针对性选择,按照实际加工过程进行编程,并进行了仿真加工与检验,尽量做到准确。由于编者的水平有限,书中难免有错漏之处,恳请读者批评指正。

编者

项目一 简单铣削加工	1	(三) FANUC 0iM 数控系统的	
任务一 无刀补的简单轮廓加工	1	基本操作	17
一、相关知识	1	(四) 数控铣床仿真加工的基本	
(一) 铣刀	1	过程	20
(二) 工件坐标系与机床坐标系	3	二、相关实践	25
(三) 数控铣加工程序的基本		(一) 工艺分析	25
格式	4	(二) 数控加工程序	26
(四) 绝对值编程与增量值		(三) 数控仿真	26
编程	4	三、拓展提高	29
(五) 基本指令的格式与使用	5	(一) SIEMENS 802D 数控	
二、相关实践	7	系统	29
任务二 平面的铣削	8	(二) 华中世纪星数控系统	32
一、相关知识	8	项目二 有刀补的简单轮廓加工	36
(一) 数控铣削加工的加工		一、相关知识	36
工序	8	(一) 刀具补偿	36
(二) 数控加工切削用量的		(二) 工件坐标系 G54~G59	38
选择	9	二、相关实践	39
(三) 数控加工的刀具轨迹的		(一) 工艺分析	39
设定	11	(二) 数控加工程序	39
二、相关实践	12	(三) 数控仿真	40
(一) 工艺分析	12	三、拓展提高	42
(二) 数控加工程序	12	项目三 多孔零件的加工	46
任务三 数控仿真加工	13	一、相关知识	46
一、相关知识	13	(一) 孔加工刀具	46
(一) FANUC 0iM 数控系统		(二) 孔加工的相关知识	47
面板	13	(三) 孔加工固定循环指令	51
(二) FANUC 0iM 数控系统的			
菜单	15		

二、相关实践	57	(二) 计算机与数控机床的数据 传输	111
项目四 型腔零件的加工	64	二、相关实践	114
一、相关知识	64	(一) 编制零件的数控加工 程序	114
(一) 粗加工与精加工	64	(二) 零件的数控加工仿真	115
(二) 粗加工与精加工的划分与 工艺编排	65	(三) 数控铣加工零件的 Pro/E 自动编程	118
(三) 型腔加工	65	(四) 零件的数控加工	127
(四) 子程序及其应用	66		
二、相关实践	70	项目八 中级工零件加工	129
三、拓展提高	75	一、相关实践	130
项目五 局部相似型零件的加工	78	(一) 数控加工工艺分析	130
任务一 对称型腔模板零件的加工	78	(二) 零件的数控加工	132
一、相关知识	78	(三) 零件数控加工仿真	134
二、相关实践	81	(四) 数控铣加工零件的自动 编程	136
任务二 三角形凸台零件的加工	82	(五) 零件的数控加工	150
一、相关知识	82		
二、相关实践	84	项目九 高级工零件加工	154
任务三 人字形凸台零件的加工	85	一、相关实践	155
一、相关知识	86	(一) 数控加工工艺分析	155
二、相关实践	87	(二) 数控加工工序卡、刀具卡、 工艺参数卡等的制定	158
项目六 规律曲线及曲面零件的 加工	90	(三) 编制数控铣加工的数控加 工程序	160
一、相关知识	90	(四) 利用 Pro/E 软件对数控铣 加工零件的自动编程	170
(一) 用户宏程序	90	二、拓展提高	175
(二) 用户宏程序的变量、算术和 逻辑运算	91	(一) 空间曲面的加工知识	175
(三) 用户宏程序的语句	95	(二) 零件加工程序的评价与 优化	177
二、相关实践	98		
(一) 加工工艺分析	98	附录	183
(二) 编制加工程序	98	附录 1 FANUC 0iM 数控系统的 常用代码	183
(三) 零件数控加工仿真	100	附录 2 数控铣工国家职业标准	186
三、拓展提高	102		
项目七 简单零件加工	107	参考文献	194
一、相关知识	107		
(一) 数控加工工艺分析	107		

项目一

简单铣削加工

任务一 无刀补的简单轮廓加工

【学习目标】

1. 了解数控铣床的基本知识。
2. 掌握基本准备功能 G 指令的使用。
3. 掌握基本辅助功能 M 指令的使用。
4. 能编制简单数控铣程序。

【案例】

图 1-1 所示零件 1 材料为铝,毛坯尺寸长×宽×高为 60 mm×30 mm×30 mm。要求编制轮廓加工程序(不考虑刀具补偿)。

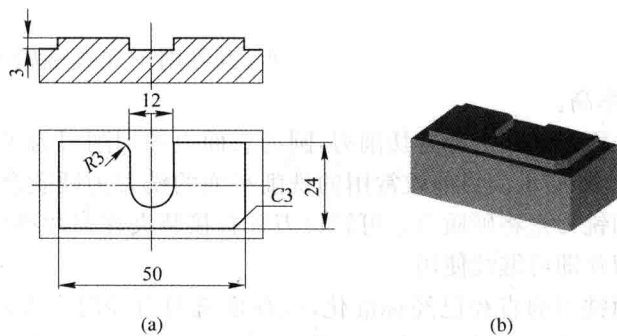


图 1-1 零件 1

(a) 零件图; (b) 模型图

一、相关知识

(一) 铣刀

1. 数控铣削对刀具的要求

数控机床具有加工精度高、加工效率高、加工工序集中和零件装夹次数少的特点,对所使用的数控刀具提出了更高的要求。从刀具性能上讲,数控刀具应高于普通机床所使用的

刀具。数控铣削对刀具的要求如下:

- (1) 高刚度、高强度;
- (2) 切削性能好;
- (3) 精度高;
- (4) 可靠性高;
- (5) 耐用度高;
- (6) 数控刀具应能快速更换;
- (7) 断屑及排屑性能好。

2. 常用铣刀

铣刀是刀齿分布在旋转表面或端面上的多刃刀具,其几何形状较复杂,种类较多。按铣刀切削部分的材料分为高速钢铣刀、硬质合金铣刀。按铣刀结构形式分为整体式铣刀、镶齿式铣刀、可转位式铣刀。按铣刀的安装方法分为带孔铣刀、带柄铣刀。按铣刀的形状和用途又可分为圆柱铣刀、端铣刀、立铣刀、键槽铣刀、球头铣刀等,如图 1-2 所示。

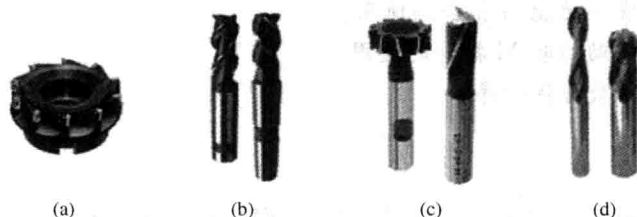


图 1-2 常用铣刀

(a) 面铣刀; (b) 立铣刀; (c) 键槽铣刀; (d) 球头铣刀

1) 面铣刀 面铣刀主要用于加工较大的平面,也可用于立式铣床或卧式铣床上加工台阶面和平面,生产效率高。

面铣刀的圆周表面和端面上都有切削刃,圆周表面上的切削刃为主切削刃,端面切削刃为副切削刃,如图 1-2a 所示。目前较常用的铣削平面的铣刀为硬质合金可转位式面铣刀。硬质合金可转位式面铣刀是将硬质合金可转位刀片直接装夹在刀片槽中,切削刃用钝后,将刀片转位或更换新刀片即可继续使用。

标准可转位式面铣刀的直径已经标准化,选择面铣刀直径时主要需考虑刀具所需功率应在机床额定功率范围内。粗铣时,铣刀直径要小些,因为粗铣切削力大,选小直径铣刀可减小切削扭矩。精铣时,铣刀直径要选大些,尽量包容工件整个加工宽度,以提高加工精度和效率,并减小相邻两次进给之间的接刀痕迹。

2) 立铣刀 立铣刀是数控加工中用的最多的一种铣刀,主要用于加工凹槽较小的台阶面以及平面轮廓。

立铣刀的圆柱表面和端面上都有切削刃,如图 1-2b 所示,它们既可以同时进行切削,也可以单独进行切削。圆柱表面的切削刃为主切削刃,端面上的切削刃为副切削刃。副切削刃主要用来加工与侧面垂直的底平面,普通立铣刀的端面中心处无切削刃,故一般不宜作轴向进给。

立铣刀直径的选择主要应考虑工件加工尺寸的要求,并保证刀具所需功率在机床额定功率范围内。

3) 键槽铣刀 键槽铣刀主要用于立式铣床上加工型腔及圆头封闭键槽等,不能用来加工底面。

键槽铣刀外形似立铣刀,端面无顶尖孔,端面刀齿从外圆开至轴心,且螺旋角较小,增强了端面刀齿强度,如图 1-2c 所示。端面刀齿上的切削刃为主切削刃,圆柱面上的切削刃为副切削刃。加工键槽时,每次先沿铣刀轴向进给较小的量,然后再沿径向进给,这样反复多次,就可完成键槽的加工。

键槽铣刀的直径和宽度应根据加工工件尺寸选择,并保证刀具所需功率在机床额定功率范围以内。

4) 球头铣刀 球头铣刀是刀刃类似球头的装配于铣床上用于铣削各种曲面、圆弧沟槽的刀具,球头铣刀也叫 R 刀。

球头铣刀的球部布满切削刃,圆周刃与球部刃圆弧连接,可以作径向和轴向进给,如图 1-2d 所示。加工曲面类零件时,为了保证刀具切削刃与加工轮廓在切削点相切,而避免刀刃与工件轮廓发生干涉,一般采用球头刀,粗加工用 2 刃铣刀,半精加工和精加工用 4 刃铣刀。

球头铣刀可以铣削模具钢、铸铁、碳素钢、合金钢、工具钢、一般铁材,属于立铣刀。球头铣刀可以在高温环境下正常作业,维持切削性能的最高温度对于高速钢刀为 $450\sim 550\text{ }^{\circ}\text{C}$,对于硬质钢刀为 $500\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(二) 工件坐标系与机床坐标系

1. 机床坐标系

为简化编程和保证程序的通用性,用“右手直角笛卡儿坐标”对数控机床的坐标轴和方向命名制定了统一的标准,数控铣床的坐标系如图 1-3 所示。

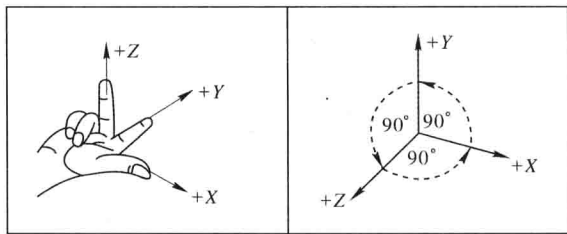


图 1-3 数控铣床的坐标系

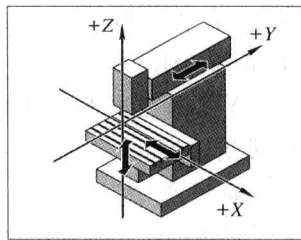


图 1-4 立式铣床机床坐标系

机床坐标系的建立与机床的类型有关,对于立式铣床坐标系的确定如图 1-4 所示。机床坐标系的原点定在机床零点,它也是所有坐标轴的基准位置,该点仅作为参考点,由机床生产厂家确定。

机床开机后必须回机床原点,机床坐标轴可以在坐标系负值区域内运行。

2. 工件坐标系

编程人员在编程时选择工件上的某一已知点为原点,建立一个新的坐标系,称为工件坐标系,如图 1-5 所示。工件坐标系设定时要尽量满足编程简单、尺寸换算少、引起的加工误差小等条件。

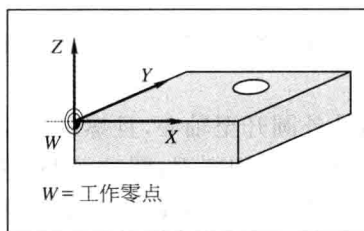


图 1-5 工件坐标系

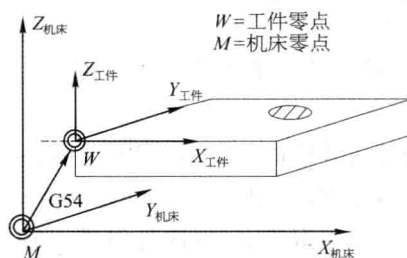


图 1-6 机床坐标系与工件坐标系

3. 机床坐标系与工件坐标系的关系

当被加工零件夹压在机床工作台上以后,操作者通过对刀等方式来确定工件坐标系原点在机床坐标系中的位置,即在数控机床上建立工件坐标系,如图 1-6 所示。

当 NC 程序运行时,工件坐标系就用编程的指令 G54~G59 进行设置。工件坐标系一旦设置便一直有效,直到被新的工件坐标系所取代。

(三) 数控铣加工程序的基本格式

一个零件程序是一组被传送到数控装置中去的指令和数据,它是由遵循一定结构、句法和格式规则的若干个程序段组成的,而每个程序段是由若干个指令字组成的。

一个程序段包括控制 CNC 机床的一个动作所需要所有的信息。信息内容包括准备功能、位置信息、进给速度、主轴功能、刀具功能、辅助功能等。

把程序段按机床动作的顺序排列起来就是程序。一个零件程序是按程序段的输入顺序执行的,而不是按程序段号的顺序执行的,但书写程序时,建议按升序书写程序段号。

程序段的构成如下:

N_G_X_Y_Z_F_S_T_M_;

其中:N_程序段号

G_准备功能

X_、Y_、Z_工件坐标系中的位置信息

F_进给速度

S_主轴转速

T_刀具信息

M_辅助功能

;程序段结束

(四) 绝对值编程与增量值编程

1. 绝对值编程指令 G90

G90 指令从程序坐标原点到目标点(绝对坐标系的坐标值)的坐标值。用 G90 指定的编程方式是模态指令,在新的指令被指定之前,一直有效。

1) 指令格式:

G90 X_Y_Z;

2) 应用举例 如图 1-7 所示编程实例为:

N1 G90G00X25Y20;

N2 X80Y70;

N3 Y20;

N4 X0Y0;

2. 增量值编程指令 G91

G91 指令从刀具的当前点到目标点的距离(位移量)。用 G91 指定的编程方式是模态指令,在新的指令被指定之前,一直有效。

1) 指令格式

G91 X_Y_Z;

2) 应用举例 如图 1-7 所示编程实例为:

N1 G91G00X25Y20;

N2 X55Y50;

N3 Y-50;

N4 X-80Y-20;

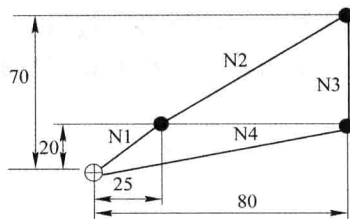


图 1-7 G90/G91 编程实例

(五) 基本指令的格式与使用

1. 快速定位 G00

G00 指令刀具按快速移动速度移动到指定位置实现定位。刀具轨迹一般为非直线。快速进给速度是由机床厂用参数设定。G00 与 G01、G02、G03 是同一组模态指令,可以互相取消。

1) 指令格式

G00 X_Y_Z;

2) 应用举例 如图 1-8 所示编程实例为:

N1 G00G90X200Y150;

N2 Y50;

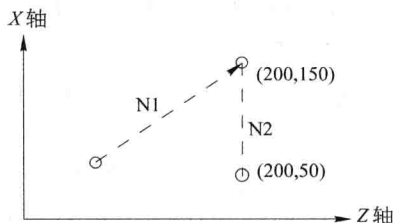


图 1-8 G00 编程实例

2. 直线插补 G01

G01 指令刀具以 F 指令的进给速度沿直线移动到指定的位置。用 F 指令的进给速度是模态信息,在新的指令被指定之前,一直有效。

1) 指令格式

G01 X_Y_Z_F_;

2) 应用举例 如图 1-9 所示编程实例为:

N1 G90G00X0Y0;

N2 X10Y4;

N3 G01Y29F120;

N4 X30Y49;

N5 X55;

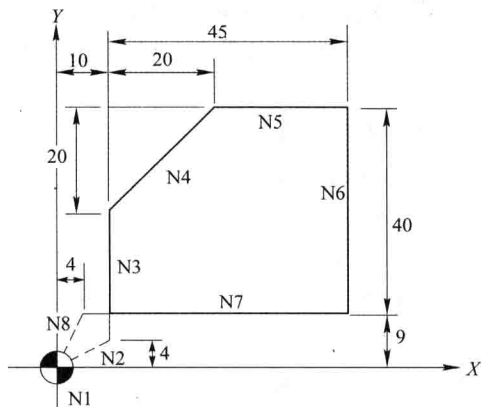


图 1-9 G01 编程实例

N6 Y9;
 N7 X4;
 N8 G00X0Y0;

3. 圆弧插补 G02/G03

G02/G03 指令刀具以 F 指令的进给速度沿圆弧运动到指定位置。用 F 指令的进给速度是模态信息,在新的指令被指定之前,一直有效。

G02 为顺时针(CW)圆弧插补,G03 为逆时针(CCW)圆弧插补,如图 1-10 所示。

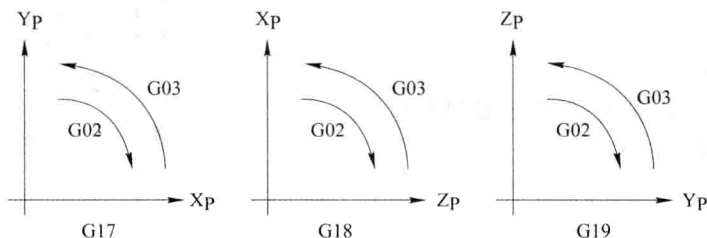


图 1-10 圆弧插补 G02/G03

G17、G18、G19 指令用来指定圆弧插补平面。G17 指定圆弧插补平面为 XY 平面,G18 指定圆弧插补平面为 ZX 平面,G19 指定圆弧插补平面为 YZ 平面。

1) 指令格式

(1) G02/G03 G17/G18/G19 R_ F_; (用 R 指定圆弧大小及圆心位置)

G02/G03 可以指定从 0° 到 360° 范围内任意角度的圆弧插补。指令圆弧大小的方法为:小于 180° 的圆弧 R 用“+”值表示,大于 180° 小于 360° 的圆弧 R 用“-”值表示。

(2) G02/G03 G17 I_ J_ F_; (用 I、J 指定圆弧大小及圆心位置)

G02/G03 G18 I_ K_ F_; (用 I、K 指定圆弧大小及圆心位置)

G02/G03 G19 J_ K_ F_; (用 J、K 指定圆弧大小及圆心位置)

I 表示 X 轴圆弧起点到圆心的增量,J 表示 Y 轴圆弧起点到圆心的增量,K 表示 Z 轴圆弧起点到圆心的增量。编程加工整圆时必须用增量方式指定圆弧大小和圆心位置。

2) 应用举例 如图 1-11 所示编程实例如下:

N1 G90G00X0Y0;
 N2 X10Y4;
 N3 G01Y29F120;
 N4 G03X30Y49R20;
 N5 G01X55;
 N6 Y20;
 N7 G02X44Y9R11;
 N8 G01X4;
 N9 G00X0Y0;

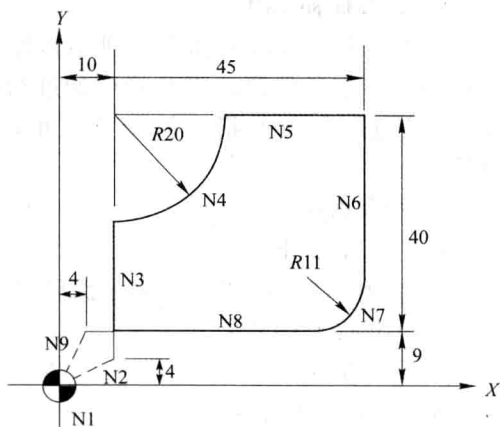


图 1-11 G02/G03 编程实例

G04 指令停止刀具移动,在两个程序段之间

指令格式为: G04P 或 G04X ;

地址 P 或 X 给定暂停的时间,以秒为单位,地址 P 不能用小数点。

在包含 M00 指令的程序段执行之后,自动运行停止,在此之前的模态信息全部被保存,循环起动可以继续执行程序。

从 Z 轴的正方向向下看主轴, 主轴按顺时针的方向旋转。

指令格式为:M03S ;

S 表示主轴的转速。

M05 指令停止主轴转动。

M30 指令表示主程序的结束,自动运行停止,CNC 单元复位。在指定程序结束的程序段执行之后,控制返回到程序的开头。

二、相关实践

编制图 1-1 所示数控加工程序 O1000 如下,加工路线如图 1-12 所示。

N1 M03S800:

N2 G90G00X40Y20Z-3;

N3 G01X25Y15F150;

N4 Y-9;

N5 G91X-3Y-3;

N6 G90X—25;

N7 Y12:

N8 X-9;

N9 G02X-6Y9R3;

```
N10 G01 Y0;
```

N11 G03X6R6;

N12 G01Y12;

N13 X35;

N14 G00X40Y20;

N15 Z30M05;

N16 M30;

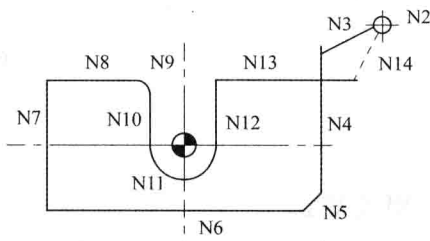


图 1-12 零件 1 加工路线

任务二 平面的铣削

【学习目标】

1. 掌握数控加工加工工序的制定。
2. 掌握数控加工切削用量的选择。

【案例】

图 1-13 所示零件 2 材料为 45 钢,毛坯尺寸长×宽×高为 60 mm×50 mm×30 mm。零件上表面表面粗糙度要求为 $Ra3.2$ 。要求编制上表面加工程序。

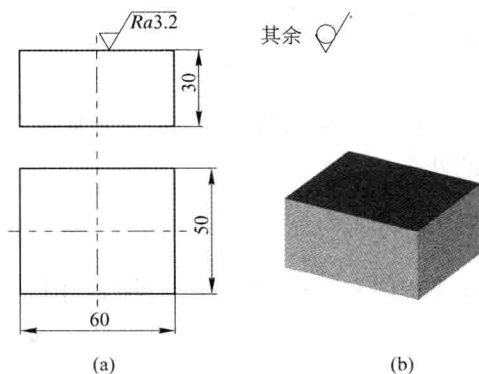


图 1-13 零件 2

(a) 零件图; (b) 模型图

一、相关知识

(一) 数控铣削加工的加工工序

1. 数控铣加工工序的划分原则

在数控铣床上加工的零件,一般按工序集中原则划分工序,划分方法如下:

1) 按所用刀具划分 以同一把刀具完成的那一部分工艺过程为一道工序,这种方法适用于工件的待加工表面较多,机床连续工作时间较长,加工程序的编制和检查难度较大等情况。

2) 按安装次数划分 以一次安装完成的那一部分工艺过程为一道工序,这种方法适用于加工内容不多的工件,加工完成后就能达到待检状态。

3) 按粗、精加工划分 以粗加工中完成的那一部分工艺过程为一道工序,精加工中完成的那一部分工艺过程为另一道工序。这种划分方法适用于加工后变形较大,需粗、精加工分开的零件,如毛坯为铸件、焊接件或锻件。

4) 按加工部位划分 以完成相同型面加工的那一部分工艺过程为一道工序,对于

加工表面多而复杂的零件,可按其结构特点(如内形和外形、曲面和平面等)划分成多道工序。

2. 数控铣削加工工序安排原则

数控铣削加工工序通常按下列原则安排:

1) 基面先行原则 用作精基准的表面应优先加工出来,因为定位基准的表面越精确,装夹误差就越小。

2) 先粗后精原则 各个表面的加工顺序按照粗加工—半精加工—精加工—光整加工的顺序依次进行,逐步提高表面的加工精度和减小表面粗糙度值。

3) 先主后次原则 零件的主要工作表面、装配基面应先加工,次要表面可穿插进行,放在主要加工表面加工到一定程度后、最终精加工之前进行。

4) 先面后孔原则 平面轮廓尺寸较大的零件,一般先加工平面,再加工孔和其他尺寸,这样安排加工顺序,一方面用加工过的平面定位,稳定可靠;另一方面在加工过的平面上加工孔,比较容易,并能提高孔的加工精度。

3. 数控加工工序与普通工序的衔接

数控加工工序前后一般都穿插有其他普通工序,如果衔接不好就容易产生矛盾,因此要解决好数控工序与非数控工序之间的衔接问题。最好的办法是建立相互状态要求,例如:要不要为后道工序留加工余量,留多少;定位面与孔的精度要求及几何公差等。其目的是达到相互能满足加工需要的要求,且质量目标与技术要求明确。

(二) 数控加工切削用量的选择

铣削时采用的切削用量,应在保证工件加工精度和刀具耐用度、不超过数控铣床允许的动力和转矩前提下,获得最高的生产率和最低的成本。

切削用量选择的原则为:根据侧吃刀量 a_e 先选大的背吃刀量 a_p ,如图 1-14 所示,再选大的进给速度 F ,最后再选大的铣削速度 v (最后转换为主轴转速 S)。

1. 背吃刀量 a_p 的选择

当侧吃刀量 $a_e < d/2$ (d 为铣刀直径) 时,取 $a_p = (1/3 \sim 1/2)d$;当侧吃刀量 $d/2 \leq a_e < d$ 时,取 $a_p = (1/4 \sim 1/3)d$;当侧吃刀量 $a_e = d$ (即满刀切削) 时,取 $a_p = (1/5 \sim 1/4)d$ 。当机床的刚性较好,且刀具的直径较大时, a_p 可取得更大。

2. 进给量 f 的选择

粗铣时铣削力大,进给量的提高主要受刀具强度、机床、夹具等工艺系统刚性的限制,根据刀具形状、材料以及被加工工件材质的不同,在强度刚度许可的条件下,进给量应尽量取大。精铣时限制进给量的主要因素是加工表面的粗糙度,为了减小工艺系统的弹性变形,减小已加工表面的粗糙度,一般采用较小的进给量。

铣刀每齿进给量 f 推荐值见表 1-1。进给速度 F 与铣刀每齿进给量 f 、铣刀齿数 z 及主轴转速 S (r/min) 的关系为:

$$F = fz \text{ (mm/r) 或 } F = Sfz \text{ (mm/min)}$$

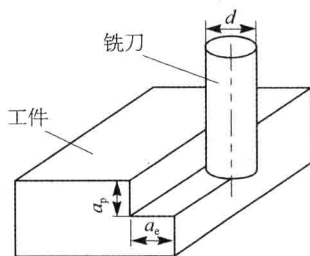


图 1-14 立铣刀的背吃刀量与侧吃刀量