



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
中等职业学校数控技术应用专业教学用书

数控铣削编程 与加工技术

◎ 张英伟 主编



<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

◎ 技能型紧缺人才培养 ◎

教育部职业教育与成人教育司推荐教材
中等职业学校数控技术应用专业教学用书

数控铣削编程与加工技术

张英伟 主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材,根据教育部颁布的《数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训指导方案》编写,符合中等职业学校核心教学与训练项目的基本要求和中级数控铣床操作员职业技能鉴定规范的基本要求。其中前4章为基础知识,主要讲述数控铣削加工过程、机床及装备知识、数控铣床的操作以及数控铣削加工工艺基础;第5至11章为数控铣削手工编程知识,主要讲述编程规范、指令应用及编程方法等。

本书以项目驱动的形式阐述相关知识,力求突出应用性、实践性,使理论教学融入实践教学之中,并试图引导教学过程按照实际生产过程来进行。

本书作为中等职业学校数控技术应用专业教材,也可作为职业技术学院机电一体化、机械制造类专业教材及机械加工工人的岗位培训和自学用书。

本书还配有电子教学参考资料包,包括教学指南、电子教案及习题答案(电子版),详见前言。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数控铣削编程与加工技术/张英伟主编.——北京:电子工业出版社,2006.8

教育部职业教育与成人教育司推荐教材·中等职业学校数控技术应用专业教学用书

ISBN 7-121-02684-8

I. 数… II. 张… III. ①数控机床:铣床—金属切削—程序设计—专业学校—教材 ②数控机床:铣床—金属切削—加工—专业学校—教材 IV. TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 073389 号

责任编辑:陈健德

印 刷:北京天宇星印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1 092 1/16 印张:10.75 字数:275.2 千字

印 次:2006 年 8 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:15.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

读者意见反馈表

书名：数据铣削编程与加工技术

主编：张英伟

责任编辑：陈健德

感谢您关注本书！烦请填写该表。您的意见对我们出版优秀教材、服务教学，十分重要。如果您认为本书有助于您的教学工作，请您认真地填写表格并寄回。我们将定期给您发送我社相关教材的出版资讯或目录，或者寄送相关样书。

个人资料

姓名_____年龄_____联系电话_____（办）_____（宅）_____（手机）_____

学校_____专业_____职称/职务_____

通信地址_____邮编_____E-mail_____

您校开设课程的情况为：

本校是否开设相关专业的课程 ☐ 是，课程名称为_____ ☐ 否

您所讲授的课程是_____课时_____

所用教材_____出版单位_____印刷册数_____

本书可否作为您校的教材？

☐ 是，会用于_____课程教学 ☐ 否

影响您选定教材的因素（可复选）：

☐ 内容 ☐ 作者 ☐ 封面设计 ☐ 教材页码 ☐ 价格 ☐ 出版社

☐ 是否获奖 ☐ 上级要求 ☐ 广告 ☐ 其他_____

您对本书质量满意的方面有（可复选）：

☐ 内容 ☐ 封面设计 ☐ 价格 ☐ 版式设计 ☐ 其他_____

您希望本书在哪些方面加以改进？

☐ 内容 ☐ 篇幅结构 ☐ 封面设计 ☐ 增加配套教材 ☐ 价格

可详细填写：_____

您还希望得到哪些专业方向教材的出版信息？

感谢您的配合，请将该反馈表寄至以下地址。如果需要了解更详细的信息或有著作计划，请与我们直接联系。

通信地址：北京市万寿路 173 信箱 中等职业教育教材事业部

邮编：100036

<http://www.hxedu.com.cn>

E-mail: ve@phei.com.cn

电话：010-88254600；88254591

中等职业学校教材工作领导小组

组 长：陈贤忠 安徽省教育厅厅长

副组长：李雅玲 信息产业部人事司技术干部处处长

尚志平 山东省教学研究室副主任

睦 平 江苏省教育厅职社处副处长

苏渭昌 教育部职业技术教育中心研究所所长

王传臣 电子工业出版社副社长

组 员（排名不分先后）：

唐国庆 湖南省教科院

张志强 黑龙江省教育厅职成教处

李 刚 天津市教委职成教处

王润拽 内蒙古自治区教育厅职成教处

常晓宝 山西省教育厅职成教处

刘 晶 河北省教育厅职成教处

王学进 河南省职业技术教育教学研究室

刘宏恩 陕西省教育厅职成教处

吴 蕊 四川省教育厅职成教处

左其琨 安徽省教育厅职成教处

陈观诚 福建省职业技术教育中心

邓 弘 江西省教育厅职成教处

姜昭慧 湖北省职业技术教育研究中心

李栋学 广西壮族自治区教育厅职成教处

杜德昌 山东省教学研究室职教室

谢宝善 辽宁省基础教育教研培训中心职教部

安尼瓦尔·吾斯曼 新疆维吾尔自治区教育厅职成教处

秘 书 长：李 影 电子工业出版社

副秘书长：蔡 葵 电子工业出版社

前 言



随着现代制造业在我国不断发展,对具备数控加工职业能力的人才需求越来越大,在此背景下我们根据教育部颁布的《数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训指导方案》开发编写了本教材。根据数控铣削编程的实际过程与中级数控铣床操作员职业岗位要求设置本课程的内容,重点介绍数控铣床相关的基础知识、编程技术、铣削加工技术等。

本教材的编写始终坚持以就业为导向、以职业能力培养为核心的原则,将数控铣削加工工艺和程序编制方法等专业技术能力融合到教学项目之中。教材内容的编写主要体现以下几方面特点。

(1) 围绕中级数控铣床操作员的职业岗位要求对内容进行取舍。为把提高学生的职业能力放在突出位置,本教材借鉴中级数控铣床操作员应具备的核心职业能力,对教学内容进行取舍。围绕数控编程、加工工艺两大部分进行展开,同时强化数控铣削加工工艺知识和训练,使学员通过学习逐步形成职业能力;而对与编程和操作无关的理论知识,将予以删减。

(2) 通过项目驱动的组织形式分散难点。本教材的组织形式是设置若干个项目,每个项目都以一个实际零件的加工任务为核心引出新的数控指令和数控工艺知识。项目内容从易到难,逐步将各种数控加工指令与工艺知识引出。在多个零件加工项目的驱动下,完成对数控加工指令与工艺知识的学习。

(3) 采用深入浅出、适当重复的编写风格。本教材采用螺旋式上升的方式展开内容,新知识、新技能都在原有知识基础上引出,同时复习和巩固已学过的内容。如在分析铣削编程与加工实例时,所选工程实例的复杂程度逐步提高,在已有知识的基础上引出新的编程方法与工艺知识,做到既有重复、又有提高。

(4) 兼顾两种主流数控系统。本教材选择占据市场份额最大的 FANUC 系统作为主要数控系统进行讲解,同时兼顾市场占有率占第二位的 SIEMENS 数控系统。其他系统由于多数与 FANUC 系统相兼容,就未做介绍。

本书由北京信息职业技术学院张英伟担任主编。其中第 1~3、5~8、11 章由张英伟编写,第 4 章由北京信息职业技术学院蔺丽莉编写,第 9 章由谢楚斌、张英伟编写,第 10 章由广东东莞理工学校谢楚斌编写。本书由广东省高级技工学校谢晓红老师和广东东莞理工学校杨晖老师主审,经过教育部审批,列为教育部职业教育与成人教育司推荐教材。

在编写过程中,得到了北京信息职业技术学院自动化工程系张呈祥老师的关心和大力支持,特此致谢。

因编者水平和经验有限，书中欠妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

为了方便教师教学，本书还配有教学指南、电子教案及习题答案（电子版），请有此需要的教师登录华信教育资源网（www.huaxin.edu.cn 或 www.hxedu.com.cn）免费注册后再进行下载，有问题时请在网站留言板留言或与电子工业出版社联系（E-mail: hxedu@phei.com.cn）。

编 者

2006 年 6 月



目 录



第 1 章 初识数控铣削	1
1.1 数控铣削的预备知识	1
1.1.1 数控铣削的加工范围	1
1.1.2 数控铣削加工装备	2
1.2 数控铣削的加工过程	4
1.2.1 加工工艺分析	4
1.2.2 编制数控加工程序	7
1.2.3 输入数控加工程序	8
1.2.4 校验与试切	8
1.2.5 零件加工	8
1.3 数控铣削加工涉及的技术	9
思考与练习 1	9
第 2 章 数控铣床的坐标系与运动	10
2.1 铣削加工的切削运动	10
2.1.1 数控铣削的主运动	10
2.1.2 数控铣削的进给运动	11
2.2 数控铣床的坐标系	12
2.2.1 数控铣床的机床坐标系	12
2.2.2 编程坐标系	15
2.2.3 工件坐标系与机床坐标系的关系	16
2.2.4 机床参考点	17
思考与练习 2	17
第 3 章 数控铣床的基本操作	18
3.1 中小型数控铣床数控系统简介	18
3.1.1 FANUC 公司的主要数控系统	18
3.1.2 SIEMENS 公司的主要数控系统	18
3.1.3 “华中数控”系统	19
3.2 数控铣床操作界面概述	19
3.2.1 铣床控制面板	19
3.2.2 数控系统工作界面	19
3.3 铣床的工作方式	21

3.4	FANUC 0i 系统铣床控制面板介绍	22
3.4.1	FANUC 0i 铣床操作面板介绍	22
3.4.2	FANUC 0i 铣床数控系统操作面板介绍	23
3.5	数控铣床的上电操作步骤与安全规程	25
3.6	数控铣床的基本操作方法	25
	思考与练习 3	28
第 4 章	数控铣削加工工艺基础	29
4.1	数控铣削零件工艺分析	29
4.1.1	数控铣削加工的零件类型	29
4.1.2	数控铣削加工工艺的特点	30
4.1.3	数控铣削加工工艺的主要内容	31
4.1.4	零件样图与工艺卡	31
4.1.5	定位基准的确定	37
4.1.6	加工方案的确定	38
4.1.7	对刀点与换刀点	38
4.1.8	走刀路线的确定	39
4.2	数控铣削刀具与切削用量	41
4.2.1	数控铣削常用刀具	41
4.2.2	铣削刀具选用原则	42
4.2.3	切削用量的计算	44
4.2.4	铣削切削用量的确定	44
4.3	数控铣削刀具与工件的装夹	45
4.3.1	铣削刀具的装夹	45
4.3.2	工件的定位与装夹	46
	思考与练习 4	46
第 5 章	数控铣削编程基础	48
5.1	数控铣削编程概述	48
5.2	数控铣削加工程序的组成与格式	51
5.3	数控指令分类与典型数控系统指令	53
5.3.1	准备功能 (G 功能)	54
5.3.2	辅助功能 (M 功能)	54
5.3.3	其他功能指令	55
5.4	常用指令编程要点	59
5.4.1	模态指令和非模态指令	59
5.4.2	进给功能指令	60
5.4.3	主轴功能指令与转速编程	61
5.4.4	辅助功能指令	61
5.4.5	坐标系的设定	62
	思考与练习 5	65

第 6 章 直线与圆弧插补指令应用	66
6.1 项目准备知识	67
6.1.1 绝对坐标编程与相对坐标编程	67
6.1.2 快速定位指令 (G00)	68
6.1.3 直线插补指令 (G01)	69
6.1.4 圆弧插补指令 (G02/G03)	71
6.1.5 SIEMENS 数控系统圆弧插补指令的使用 (G2/G3)	75
6.2 项目分析与实施	76
6.3 项目总结	79
思考与练习 6	80
第 7 章 刀具半径补偿指令应用	82
7.1 项目准备知识	83
7.1.1 刀具半径补偿的概念	83
7.1.2 建立刀具半径补偿指令	84
7.1.3 取消刀具半径补偿指令	85
7.1.4 刀具半径补偿的其他应用	87
7.2 项目分析与实施	88
7.3 项目总结	91
思考与练习 7	92
第 8 章 刀具长度补偿指令应用	93
8.1 项目准备知识	94
8.1.1 刀具功能指令	94
8.1.2 刀具长度补偿的概念	94
8.1.3 型腔加工的工艺分析	102
8.2 项目分析与实施	104
8.3 项目总结	108
思考与练习 8	109
第 9 章 固定循环指令及其应用	110
9.1 钻孔加工项目准备知识	110
9.1.1 固定循环的概念	111
9.1.2 返回点平面的选择	112
9.1.3 钻孔循环指令 G81	112
9.1.4 取消循环指令 G80	113
9.1.5 钻孔循环指令 G82	113
9.1.6 深孔钻孔循环指令 G83	113
9.1.7 高速深孔钻循环指令 G73	114
9.2 钻孔加工项目分析与实施	115
9.3 内孔螺纹加工项目准备知识	118
9.3.1 右旋攻螺纹循环指令 G84	118

9.3.2	左旋攻螺纹循环指令 G74	120
9.3.3	刚性攻螺纹方式	120
9.4	内孔螺纹加工项目分析与实施	121
9.5	镗孔加工项目准备知识	125
9.5.1	镗孔循环指令 G86	125
9.5.2	精镗孔循环指令 G76	126
9.5.3	背镗孔循环指令 G87	127
9.6	镗孔加工项目分析与实施	128
9.7	项目总结	131
9.8	SIEMENS 数控系统的固定循环功能	133
9.8.1	SIEMENS 数控系统固定循环概述	133
9.8.2	钻削循环	134
9.8.3	螺纹切削循环	135
9.8.4	镗削循环	136
	思考与练习 9	137
第 10 章	子程序的应用	140
10.1	项目准备知识	141
10.1.1	子程序的概念	141
10.1.2	FANUC 系统子程序指令分析	141
10.1.3	SIEMENS 系统子程序指令分析	142
10.2	项目分析与实施	144
	思考与练习 10	149
第 11 章	宏指令	152
11.1	宏程序的概述	152
11.2	宏程序的调用	153
11.3	宏程序本体	154
11.4	宏变量	154
11.5	宏程序的操作	155
11.5.1	算术和逻辑操作	155
11.5.2	控制指令	156
11.6	应用举例	158

第1章 初识数控铣削

本课题首先以一个最简单零件的加工过程为例，完整阐述了数控铣削零件的基本加工过程，进而明确学习数控铣削技术应该掌握的基本知识和相关概念，了解如何系统学习这门课程的方法，并以此为契机引领大家进入数控铣削技术的学习乐趣之中。

【学习目标】

- (1) 掌握数控铣削加工的实现过程。
- (2) 了解数控铣削加工程序的编制过程。
- (3) 了解数控铣削加工涉及的技术。

1.1 数控铣削的预备知识

在开始一项数控铣削任务之前，首先要熟悉一下数控铣削的一些基本知识。

1.1.1 数控铣削的加工范围

铣削加工作为一种金属切削类加工，在机械加工领域具有举足轻重的地位。传统的铣削只可以加工平面、成型面、各种沟槽等，但随着数控技术在机械加工领域的应用，数控铣削在原有的加工范围外，又有了许多扩展。除了主要的平面铣削、曲面铣削和轮廓铣削外，还包括对零件进行钻、扩、铰、镗、镗加工及螺纹加工等，如图 1-1 所示。

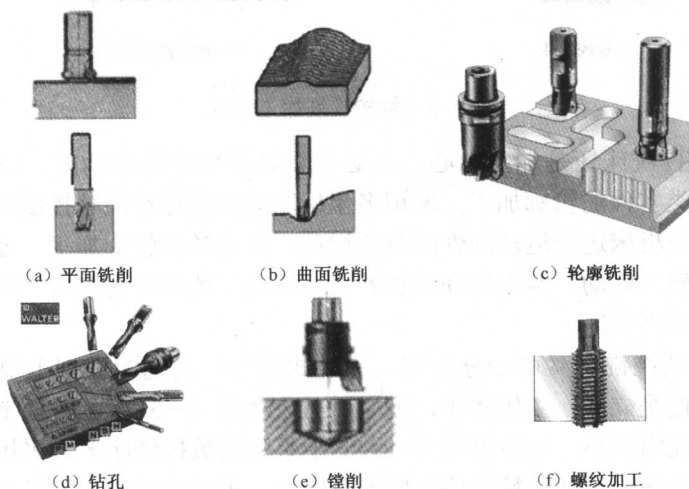


图 1-1 数控铣削的加工范围

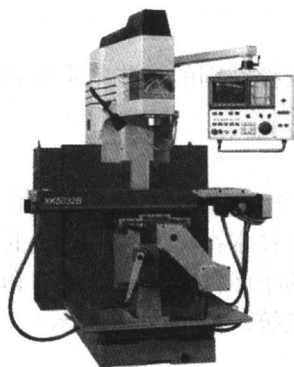


1.1.2 数控铣削加工装备

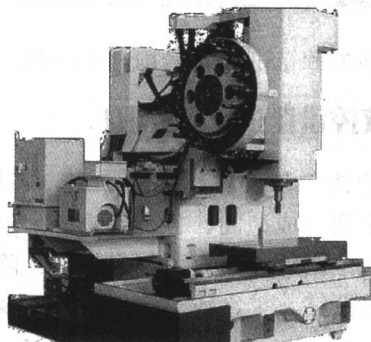
工欲善其事，必先利其器。在了解怎么进行数控铣削加工之前，还必须了解要完成上述铣削加工所需的基本装备即数控铣削加工装备，主要包括数控铣床、夹具、刀具、测量装置和其他辅助工具等。

1) 数控铣床及加工中心概述

能完成上述数控铣削类加工的机床从功能上大体可以分成两类：普通数控铣床和数控镗铣加工中心，如图 1-2 所示，其本质的区别就在于数控镗铣加工中心（简称加工中心）具有刀库和自动换刀功能，而普通数控铣床则没有。试想一下，需完成在平面加工后还要在该平面上完成孔加工时，若使用普通数控铣床，则需要停车后人工换刀并进行重新对刀，不仅加工效率较低同时加工精度又不易保证。而采用加工中心则只需要在刀库中预先装好所需刀具，并做好刀具的调整工作，加工时便能在需要时利用自动换刀装置完成换刀工作无须人为干预，大大提高了生产效率和加工质量。因此，在现代制造领域中加工中心正逐步成为主流铣削类机床。



(a) 数控铣床



(b) 数控镗铣加工中心

图 1-2 数控铣削加工设备

此外，不论数控铣床还是加工中心，都必须具备多坐标联动功能，以便于各类复杂的平面、曲面和壳体类零件的轮廓加工。所谓多坐标联动功能是指能够控制多个坐标轴同时运动的功能，其实现了机床进给运动部件的合成运动，完成各种轮廓加工。通常所说的联动包括二坐标联动、三坐标联动、四坐标联动和五坐标联动。此部分内容将在数控机床坐标系中做详尽介绍，在此不再赘述。

而从结构上，数控铣床又可以分为立式和卧式两种，判别的依据主要为主轴的方向，机床的主轴垂直，便是立式；主轴水平，便是卧式，如图 1-3 所示。通常，立式相比卧式结构上更简单，占地面积小，价格也便宜，因此中小型的数控铣床多数采用立式。而相比立式，卧式机床具有较好的刚度，精度保持性能也较好，因此适用于大型机床。

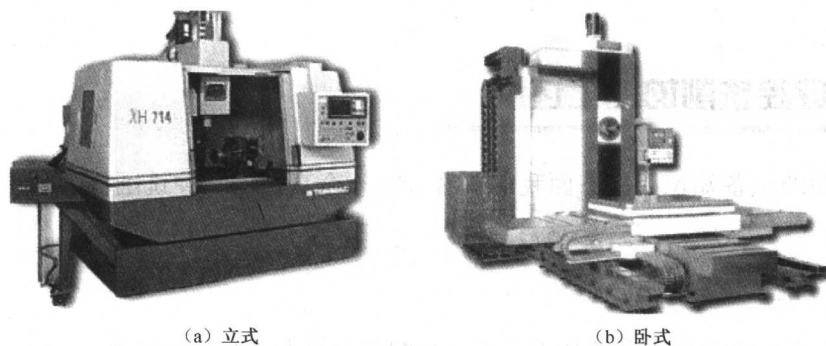


图 1-3 数控铣床的两种类型

2) 夹具

夹具主要用于零件在机床上的定位和夹紧。夹具的选择要依据具体零件的形状和定位要求确定，常见的通用夹具有平口钳和压板等，如图 1-4 所示。

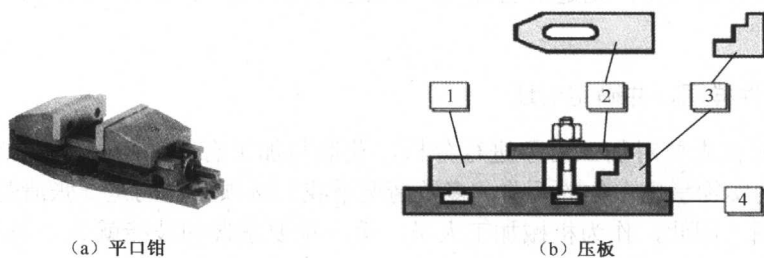


图 1-4 通用夹具

3) 刀具

数控铣削用刀具的种类繁多，主要有铣刀、孔加工刀具、成型刀具等，如图 1-5 所示。刀具的材料也各异，选择刀具要依据被加工零件的材料、几何形状、表面质量要求、切削性能等进行多方面的考虑。



图 1-5 数控铣削刀具



1.2 数控铣削的加工过程

有了上面的预备知识后，下面我们就看一看一个真正的数控铣削零件加工过程是怎样完成的。

1.2.1 加工工艺分析

试想一下在一个普通零件的加工之前，我们都会提出下面几个问题：

- (1) 我们要加工什么？——对加工对象进行分析。
- (2) 怎样进行加工？——确定加工方案。
- (3) 选择什么工具完成加工？——确定工艺装备。

而 these 与加工息息相关的分析过程，决定了加工过程每个环节的任务、要求和采用的具体方法。我们将这些任务、要求和方法统称为加工工艺，而为了便于指导加工，往往将这些工艺分析的结果文档化，就是工艺规程。下面我们以一个实例简单介绍加工工艺的制订过程。

1. 分析零件样图，并确定毛坯

在加工之前首先要对加工对象进行分析，获取与加工有关的信息。而加工对象往往不会是一个现成的实物呈现在你的面前，多数情况下我们必须面对的是一张清楚描述零件外观的机械零件样图。因此，作为机械加工人员，第一项要掌握的技能就是“识图”，就是要求能够准确地将图纸信息转换成零件的加工信息，如零件的被加工部分的形状、尺寸、材料、精度、表面粗糙度和零件的数量等。例如，如果进行下面零件的加工（如图 1-6 所示），我们应该从零件样图中获得哪些与加工有关的信息？

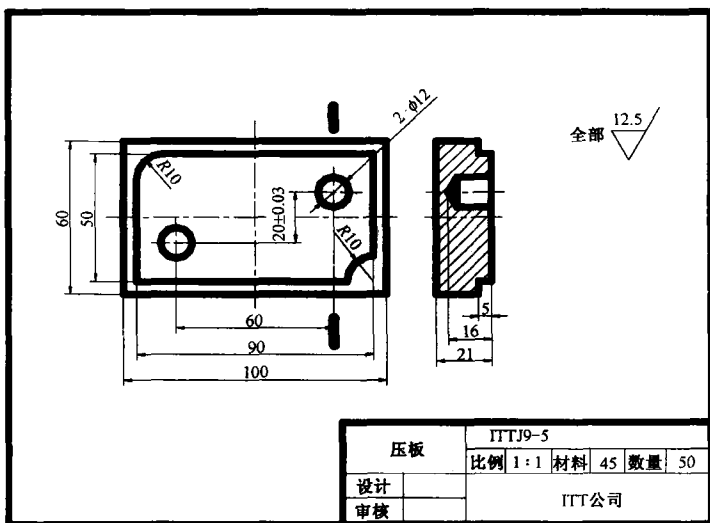


图 1-6 压板零件样图



由图 1-6 可以看出, 该零件的材料为 45 号钢, 数量为 50 件, 而主要被加工部位为零件六个主要平面和环形轮廓及两个孔, 对于加工部位的精度除两个孔有位置精度的要求, 其余部分并未规定。而零件的表面粗糙度 $R_a=12.5\mu\text{m}$ 。

由此我们可以确定: 零件毛坯为 $110\text{ mm}\times 70\text{ mm}\times 30\text{ mm}$ 的 45 号钢, 并绘制出毛坯零件图, 如图 1-7 所示。

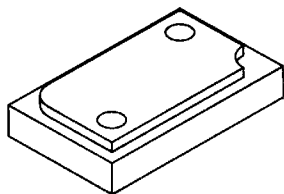


图 1-7 压板立体图

2. 确定加工方案

确定加工方案就是依据样图上的加工信息(材料、数量、精度等), 确定加工方法和加工过程, 如铣削、车削、磨削或是其他加工方法。在此还要确定使用的机床。可以看出, 要想正确地选择加工方法, 我们还应具备一定的机械加工基础知识。具体而言, 包括以下两个方面。

1) 确定加工方法

有了以前我们对数控铣削方面介绍的预备知识, 经过分析, 显然此零件平面及环形轮廓的加工应该采用铣削, 而孔的加工应该采用钻削。无疑, 50 件的批量非常适合于数控加工。

2) 确定加工过程, 制订工序

此步骤是制订加工工艺的重要环节, 其决定了加工过程如何进行, 先做什么, 后做什么, 并要求制订出每一步的任务和要求即工序卡。

此零件采用三道工序: 先加工六个平面, 再加工环形轮廓, 最后完成孔加工。由于采用加工中心作为加工机床, 后两道工序可以合为一道, 即利用加工中心具有的自动换刀功能可以实现一次装夹完成两道工序的加工。

3. 确定工艺装备

当加工过程制订完成之后, 就要针对每道工序确定所需要的加工装备, 包括刀具、夹具等。

1) 刀具的选择

根据本例中的零件材料和加工情况选择适当的刀具类型、刀具材料, 如表 1-1 所示。使用多把刀具实现自动换刀时, 还需要确定刀具在刀库中的位置(刀号)及刀具补偿值。

2) 设计装夹、定位方式

此步骤用于确定在每道工序下, 工件如何定位? 如何夹紧? 在考虑工件定位精度的同时, 应该充分注意加工的可能性, 即夹具是否影响加工过程, 是否与刀具产生干涉? 批量生产时, 还应考虑是否便于对刀和提高装夹效率?

由于本例各平面精度要求不高, 根据加工情况, 采用平口钳装夹。装夹时要注意零件应高于平口钳钳口, 以便于轮廓加工。为了便于定位零件, 还可以采用靠板定位等方法。



表 1-1 刀具表

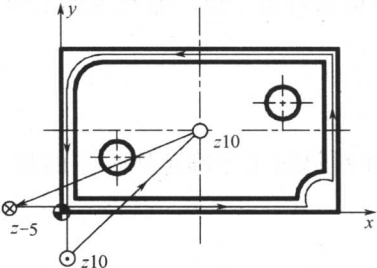
工 序 号	工 序 名	刀 具	图 例
1	平面加工	面铣刀 刀号: 03	
2	轮廓加工	$\phi 8\text{ mm}$ 立铣刀 刀号: 01	
3	孔加工	$\phi 12\text{ mm}$ 钻头 刀号: 02	

4. 确定加工工艺参数及走刀路线

根据每道工序的要求，还需要确定每道工序所需的必要工艺参数，包括进给速度、主轴转速等。工艺参数的选择是否合适，直接影响到零件加工的精度、质量和效率。

此外，为了便于编程，在制订工艺过程中，往往要对加工路线作出预先规划，确定编程原点、起刀点、抬刀点、走刀路线等，并绘制出相应走刀路线图。下面以该零件环形轮廓加工为例，绘制走刀路线图，如表 1-2 所示。

表 1-2 压板走刀路线图

零件名称	压板	零件图号	01-01	工序卡编号	01-01	
加工内容	凸台轮廓			程序号	O1000	
						
符号						
含义	抬刀	下刀	编程原点	起刀点	走刀方向	快移

5. 制订工艺规程

当整个加工方案确定之后，要将所有加工工序及要求文档化，制订出工艺规程，包括制作工序卡、工件安装和原点设定卡、数控加工走刀路线图、数控刀具卡等。

总之，数控加工的首要工作就是工艺分析，即要在加工之前对零件样图进行分析，明确加工的内容和要求，制订工艺规程，制作工艺卡片。内容包括：确定加工方案，确定毛坯尺寸、材料，选择适合的数控机床，选择或设计刀具和夹具，确定合理的走刀路线及选择合理的切削用量等。这一工作要求编程人员能够对零件样图的技术特性、几何形状、尺寸及工