



高职高专机电类
工学结合模式教材

数控加工工艺 与CAM实例教程

沈鑫刚 叶振弘 孙千里 刘红娟 编著



清华大学出版社

浙江省重点教材

内容简介

高职高专机电类
工学结合模式教材

数控加工工艺 与CAM实例教程

沈鑫刚 叶振弘 孙千里 刘红娟 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要讲解了基于UG NX的典型零件的铣削加工编程,以项目化方式组织教材内容,注重软件知识点与数控操作实践的紧密结合,教程内容上着重围绕典型零件的数控加工工艺分析、软件编程与机床数控加工的真实情境与过程,在编程过程中严格执行数控加工工艺分析的内容。另外,教程对后处理器的构建作了详细介绍。

本书可作为大专院校和高职院校机电、模具、数控等专业的教材,也可作为社会相关专业培训用书,还可作为从事数控编程与操作的企业技术人员的参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺与CAM实例教程/沈鑫刚等编著. —北京:清华大学出版社,2011.12

(高职高专机电类工学结合模式教材)

ISBN 978-7-302-27293-9

I. ①数… II. ①沈… III. ①数控机床—加工—高等职业教育—教材 ②数控机床—计算辅助制造—高等职业教育—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第233284号

责任编辑:贺志洪

责任校对:刘 静

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:10.5 字 数:264千字

版 次:2011年12月第1版 印 次:2011年12月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:23.00元

产品编号:043745-01



UG NX 是目前世界上应用于机械、模具、汽车、航空等领域的主流 CAD/CAM/CAE 软件之一,功能强大、应用广泛,且与其他大型工程软件具有丰富的格式交换接口。本书内容着重于 UG CAM 部分。UG CAM 具有非常强大的数控编程功能,能够编写数控铣、钻、车以及线切割、多轴加工等方面的 NC 程序。本书主要讲解了典型零件的铣削加工编程,并对 UG CAM 的后处理器的构建作了详细介绍。本书案例讲解采用 UG NX 7.0 版本。

教材的内容着重围绕产品的数控加工工艺分析、软件编程与机床数控加工的真实情境与过程,紧扣产品的数控加工工艺分析过程,并在编程过程中严格执行数控加工工艺分析的内容,完成产品加工所需的任务贯穿在各个步骤中,通过实例的讲解展现产品在企业中完整的实际生产过程。本教材着力改变零件数控加工工艺分析与数控编程、机床加工相分离的情况,在一个项目的讲解过程中将数控加工工艺分析与数控编程、机床加工紧密结合在一起,以便读者明白编程的依据。本教材紧密结合企业产品,以企业实际零件的数控加工工艺分析与数控编程、机床加工作为教材项目,并按照典型的加工类型组织相应的教学实例。教材的编写、教学案例的组织侧重核心职业技能的培养,知识的归纳与总结,注重培养读者可持续发展的学习能力和职业迁移能力。在按照典型的加工类型组织相应的教学实例的同时,开发了一些读者感兴趣,且在企业实践中有应用价值的项目,如个性化“印章”雕刻,“汽车标志”铣削加工等,以提高读者的学习兴趣,发挥读者主观能动性,引导读者开拓新的实践项目。

本书由国家级首批示范性高职院校——宁波职业技术学院机电工程系的多位教师共同编写。其中零件的数控铣削加工工艺规划(项目 1)由孙千里编写,UG CAM 基本操作(项目 2)由刘红娟编写,吹瓶模固定板钻削加工(项目 3)、文字与车标铣削加工(项目 5)由叶振弘编写,座盒零件铣削加工(项目 4)、冷冲模铣削加工(项目 6)、FANUC 后处理器的构建(项目 7)由沈鑫刚编写。此外,谢良波、孙健两位工程师为本书提供了教学案例,并提出了宝贵意见,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,希望读者指出,以便今后不断提高质量。

编 者

2011 年 8 月

项目 1 零件的数控铣削加工工艺规划	1
任务 1.1 了解数控铣削加工工艺分析与规划内容	1
1.1.1 零件图分析	1
1.1.2 加工方法的选择	1
1.1.3 装夹定位方案的确定与夹具的选用	2
1.1.4 加工工序安排与走刀路线的拟定	2
1.1.5 切削刀具与切削用量的选用	3
1.1.6 工艺文件的拟定	4
任务 1.2 了解数控机床编程与操作	5
1.2.1 数控机床坐标系	5
1.2.2 FANUC Oi 系统常用数控指令	5
1.2.3 零件的装夹、找正	6
1.2.4 设立工件坐标系	7
思考题与习题	7
项目 2 UG CAM 基本操作	9
任务 2.1 了解 UG CAM 操作流程	9
任务 2.2 熟悉 UG CAM 的基本操作环境	11
2.2.1 加工环境初始化	11
2.2.2 操作导航器	12
2.2.3 加工节点与编程操作的建立	12
2.2.4 UG CAM 通用选项的设置	18
任务 2.3 练习凸台零件的 UG CAM 编程	25
思考题与习题	30
项目 3 吹瓶模固定板钻削加工	31
任务 3.1 认识常用的钻削加工方法与刀具	31
任务 3.2 掌握钻削加工基本工艺	33
任务 3.3 了解孔的钻削加工方式	35
任务 3.4 吹瓶模固定板钻削加工工艺分析与规划	40
任务 3.5 吹瓶模固定板零件钻削加工编程	41
思考题与习题	48

项目 4 座盒零件铣削加工	49
任务 4.1 认识常用的平面铣削加工方法与刀具	50
任务 4.2 平面铣削基本加工工艺设计	51
任务 4.3 了解平面铣削加工方式	52
任务 4.4 座盒零件铣削加工工艺分析与规划	66
任务 4.5 座盒零件铣削加工编程	68
4.5.1 座盒零件编程模型准备	68
4.5.2 座盒零件铣削加工编程	68
4.5.3 座盒零件铣削加工程序单	80
思考题与习题	81
项目 5 文字与车标铣削加工	82
任务 5.1 细笔画单线条文字加工	83
5.1.1 平面文字	83
5.1.2 曲面文字	85
5.1.3 环形文字	87
任务 5.2 大字体粗笔画文字加工	89
5.2.1 粗笔画凹形文字的加工	89
5.2.2 粗笔画凸形文字(印章)的加工	92
5.2.3 具有自相交笔画的文字处理	94
任务 5.3 丰田车标铣削加工	95
项目 6 冷冲模铣削加工	97
任务 6.1 认识常用曲面铣削加工方法与刀具	98
任务 6.2 曲面铣削基本加工工艺设计	98
任务 6.3 了解曲面铣削加工方式	100
6.3.1 型腔铣(Cavity_Mill)	101
6.3.2 固定轴曲面轮廓铣(Fixed_Contour)	106
任务 6.4 冷冲模铣削加工工艺分析与规划	119
任务 6.5 冷冲模铣削加工编程	120
6.5.1 冷冲模编程模型准备	120
6.5.2 冷冲模铣削加工编程	120
6.5.3 冷冲模铣削加工程序单	131
思考题与习题	132
项目 7 FANUC 后处理器的构建	133
任务 7.1 了解 UG 后处理构造器的原理与功能	133
任务 7.2 FANUC 后处理器的构建	134
思考题与习题	154



附录 A FANUC 0i-MB 数控指令表(G 代码类)	155
附录 B 金属常用切削用量表	158
参考文献	160

零件的数控铣削加工工艺规划

技能目标

能够完成简单零件数控铣削加工工艺分析与规划。

知识目标

了解零件数控铣削加工工艺分析和规划的基本内容与方法。

任务 1.1 了解数控铣削加工工艺分析与规划内容

1.1.1 零件图分析

零件图的分析对于 CAM 编程及加工至关重要,其主要内容包括:

- (1) 读懂零件的结构,并能够根据零件图运用 CAD/CAM 软件进行 3D 建模。
- (2) 读懂零件的加工要求,包括加工内容的尺寸、形位公差、表面粗糙度等。
- (3) 分析零件的数控加工工艺性,即零件加工的难易程度。
- (4) 明确零件材料牌号及热处理要求,确定零件毛坯的合理下料尺寸。

1.1.2 加工方法的选择

机械零件的结构与形状千变万化,主要由孔、平面、侧壁(直/斜壁面)、3D 曲面等组成,加工过程中具体选择何种方法,应根据零件的形状结构特点、尺寸、表面粗糙度等因素来选择合适的加工方案。在 UG CAM 中定义了丰富的加工方法来满足零件加工的要求,常用的加工方式如图 1-1 所示。

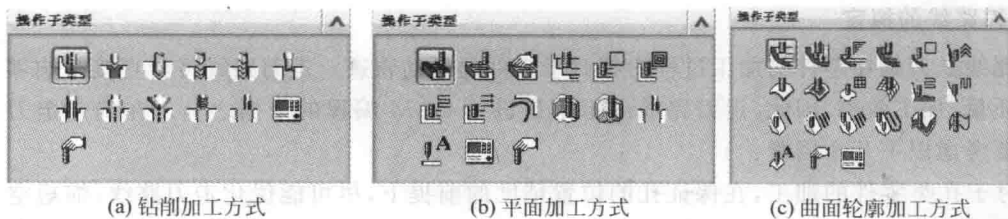


图 1-1 UG CAM 加工方式

1.1.3 装夹定位方案的确定与夹具的选用

为了保证零件加工的顺利、可靠进行,须在加工前及加工过程中完全限制工件的自由度,即可靠定位。在加工结束前能够始终保持这种定位,即工件的夹紧。工件的定位与夹紧主要考虑以下几个方面:

(1) 尽量将工序集中,减少工件的装夹次数,尽可能在一次装夹后能加工出全部待加工表面。

(2) 将零件的加工部位敞开,定位与夹紧元件不应影响加工位置,夹紧力应作用在工件刚性较好的位置,减小因工件夹紧变形对零件加工精度的影响。

数控铣削加工常用的夹具主要有平口钳、螺旋压板机构、液压/气动组合压板机构等。

1.1.4 加工工序安排与走刀路线的拟定

加工工序是指零件加工的顺序与步骤,走刀路线是指在每道工序加工中刀具的切削轨迹,这两项内容是进行工艺规划的重要内容。

1. 加工工序安排原则

(1) “基面先行”原则

例如在以“一面两孔”方式进行定位的零件加工过程中,总是先将用于定位的平面与两个定位孔先加工,再以平面与孔定位来加工其他的内容。

(2) “先粗后精”原则

任何一个零件的加工过程一定是按照先粗加工、再半精加工、后精加工以及光整加工的顺序来进行的,有些零件可能还会安排两道以上的粗加工或者半精加工,通过先粗后精的加工顺序逐步提高零件的加工精度与表面粗糙度。

粗加工时,主要以提高零件的加工效率为主,在机床功率、刚性与刀具刚度允许的前提下,选用尽可能大的切削用量,以提高加工效率。

精加工时,主要考虑保证零件的加工精度。

(3) “先主后次”原则

先加工零件的主要表面,再加工零件的细节部位。

(4) “先面后孔”原则

以加工过的平面来定位加工孔,稳定可靠,且在加工过的平面上打孔,更能保证孔的加工精度,钻头不易打滑。

(5) 先内腔后外形轮廓

对于既有内腔,又有外形轮廓加工要求的零件,可按先加工零件内腔、再加工外形轮廓的顺序来加工。

2. 走刀路线的拟定

走刀路线是刀具在零件的加工过程中相对于工件的运动轨迹。走刀路线将会直接影响零件的加工质量、加工效率,因此,走刀路线的拟定是进行CAM编程的依据之一。在确定走刀路线时主要考虑以下几个因素:

(1) 对于孔类零件的加工,在保证孔的位置精度的前提下,尽可能优化走刀路线,缩短空刀距离,提高加工效率。

(2) 零件轮廓铣削的进/退刀路线要合理安排,尽量避免在零件轮廓处停刀或者垂直切入

或切出工件,应切向切入、切向切出,以免留下刀痕。

对于型腔零件的铣削加工,切削时应以螺旋下刀或者斜下刀等方式进刀,避免垂直下刀。

(3) 平面轮廓的铣削加工走刀方式主要有往复向、单向、环形等,三维曲面的加工常用球刀以行切法进行走刀加工。

在 CAM 编程中,可以通过选择丰富“切削模式”来产生合理、高效的走刀路径。各种切削模式如图 1-2 所示。

3. 顺铣和逆铣的选择

在铣削加工中,采用顺铣还是逆铣方式是影响加工表面粗糙度的重要因素之一。

顺铣是指刀具旋转时产生的切线方向与工件的进给方向相同。其优点是由于刀具从未切削的工件表面开始切削,切削功率消耗小,金属切削容易排除,产生的切削热少,加工精度较高;缺点在于刚开始切削时对刀刃的冲击较大,容易使刀变钝,降低了刀具的使用寿命。因此,顺铣适合于对刀刃冲击小、加工精度要求高的精加工场合。

逆铣是指刀具旋转时产生的切线方向与工件的进给方向相反。其优点是由于刀具从工件的已加工表面开始切削,对刀刃的冲击相对较小,所以可以切削对刀刃冲击力较大的工件;缺点在于刀具与已加工表面的摩擦多,产生较大的切削热,功率损失较大,切削排除也困难,加工精度不高。因此,逆铣适合于对刀刃冲击力较大,加工精度要求不高的粗加工场合。顺铣与逆铣示意图如图 1-3 所示。

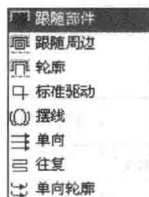


图 1-2 切削模式

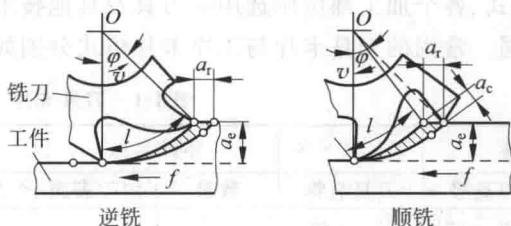


图 1-3 切削方式

1.1.5 切削刀具与切削用量的选用

1. 数控铣削加工刀具的选用

刀具的选择是数控加工工艺设计的重要内容之一,它不仅影响机床的切削效率,还直接影响零件的表面加工质量。

铣削加工中常用的刀具有面铣刀、立铣刀、模具铣刀、键槽铣刀、成形铣刀以及各种钻削加工刀具。铣刀类型应与工件的表面形状和尺寸相适应。加工较大的平面应选用面铣刀;加工型腔、外形平面轮廓及台阶应选用立铣刀;加工 3D 曲面、模具的型腔等应选用球刀等模具铣刀;加工封闭的且窄长的键槽应选用键槽铣刀。

铣刀大小(即直径)的选用视产品及生产批量的不同差异较大,刀具直径的选用主要取决于设备的规格和工件的加工尺寸。

(1) 面铣刀

选择平面铣刀直径时主要需考虑刀具所需功率应在机床功率范围之内,也可将机床主轴直径作为选取的依据。平面铣刀直径可按 1.5 倍主轴直径选取。在批量生产时,也可按工件切削宽度的 1.6 倍选择刀具直径。

(2) 立铣刀

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以内。如小直径立铣刀,则应主要考虑机床的最高转数能否达到刀具的最低切削速度(60m/min)。

(3) 槽铣刀

槽铣刀的直径和宽度应根据加工工件尺寸选择,并保证其切削功率在机床允许的功率范围之内。

2. 切削用量的选用

切削用量是用来表示切削运动、调整机床加工参数的重要参数。切削用量包括切削速度 v (主轴转速 n)、进给速度 f 和背吃刀量 a_p 三个要素,因此切削用量也常称为“切削三要素”。

切削用量的确定应根据零件的材料及性能、刀具的材料和尺寸等因素通过查阅金属切削手册并结合实践经验确定。

1.1.6 工艺文件的拟定

数控加工工艺文件是将零件的加工工艺分析结果以文件的形式保留下来,并以此作为数控加工的依据,是加工操作者遵守、执行的规程。数控加工工艺文件主要包括工序卡片、刀具卡片等。工序卡片与刀具卡片是对数控加工的具体说明,目的是让操作者更明确加工程序的内容、装夹方式、各个加工部位所选用的刀具及其他技术参数。数控加工工艺文件是CAM编程的主要依据。常用的刀具卡片与工序卡片格式分别如表1-1和表1-2所示。

表 1-1 刀具卡片

产品名称		×××××	零件名称		××××	零件图号	×××
序号	刀具号	刀具名称	数量	加工表面	刀具直径 D/mm		备注
1							
2							
3							
4							
5							
6							
编制	×××	审核	×××	批准	×××		

表 1-2 工序卡片

单位名称	×××××××		产品名称		零件名称		零件图号
			×××××××		×××		××
工序号	程序编号	夹具名称	使用设备	数控系统		车间	
工步号	工步内容	刀具号	刀具规格/mm	主轴转速 $n/(\text{r}/\text{min})$	进给速度 $f/(\text{mm}/\text{min})$	背吃刀量 a_p/mm	备注
1							
2							
3							
编制	××××		审核	××××			

任务 1.2 了解数控机床编程与操作

1.2.1 数控机床坐标系

坐标系对编程者具有非常重要的作用,编程者必须深刻了解数控机床坐标系,才能较好地完成编程与加工。坐标系有以下三种。

(1) 机床坐标系,即数控机床在设计制造时确定的固有坐标系,该坐标系是一切其他坐标系的基础,但该坐标系不跟编程加工者直接关联。

(2) 编程坐标系,即编程时编程者在零件加工图或者 3D 模型上建立起来,作为坐标计算依据的坐标系。

(3) 工件坐标系或加工坐标系,即在零件加工时,操作者通过对刀在工件上建立起来的坐标系,编程坐标系与工件坐标系必须一致。三种坐标系的相互关系如图 1-4 所示。

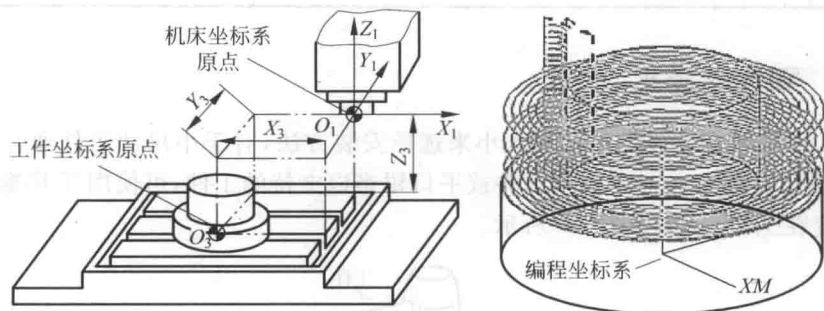


图 1-4 数控加工坐标系

1.2.2 FANUC 0i 系统常用数控指令

了解常用数控指令是进行编程的基础,常用的 G 指令、M 指令如表 1-3 和表 1-4 所示。

表 1-3 常用 G 指令及其含义

G 指令	组	含 义	G 指令	组	含 义
G00	01	快速运动	G40	07	取消刀具半径补偿
G01		直线进给	G41		左侧刀具半径补偿
G02		圆弧顺时进给	G42		右侧刀具半径补偿
G03		圆弧逆时进给	G43	08	正向刀具长度补偿
G04	00	暂停	G44		负向刀具长度补偿
G20	06	英寸单位	G49		取消刀具长度补偿
G21		公制单位	G73	09	深孔钻削循环
G27	00	返回参考点检测	G80		取消钻孔循环
G28		返回参考点	G81		钻孔循环
G29		从参考点返回	G90	03	绝对坐标编程
G33	01	螺纹切削	G91		相对坐标编程
G54	14	选择机床坐标系 1	G94	05	每分进给
G17	02	选择 XY 平面	G95		每转进给
G18		选择 ZX 平面	G96	13	恒线速
G19		选择 YZ 平面	G97		取消恒线速

表 1-4 常用 M 指令、其他代码及其含义

M 指令	含 义	其 他 指 令	含 义
M01	计划停止	X、Y、Z	坐标指令
M02	程序结束	I、J、K	相对坐标指令
M30	程序结束并返回起点	U、V、W	平行于 X、Y、Z 坐标轴的第二个运动尺寸
M03	主轴正转	F	进给功能指令
M04	主轴反转	S	主轴转速功能指令
M05	主轴停	T	刀具功能指令
M06	换刀		
M07	2# 冷却液开		
M08	1# 冷却液开		
M09	冷却液关		

1.2.3 零件的装夹、找正

零件加工时应根据工件的形状和大小来选择安装方法,对于小尺寸工件通常使用平口钳进行装夹,如图 1-5 所示。对于大型工件或平口钳难以夹持的工件,可使用 T 形螺栓和压板将工件直接固定在工作台上,如图 1-6 所示。



图 1-5 平口钳装夹

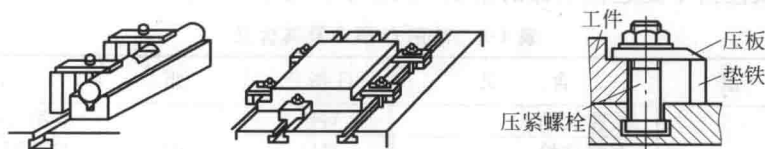


图 1-6 螺栓与压板方式装夹工件

为保证加工精度,在装夹工件时,应根据加工要求,使用划针、百分表等工具(见图 1-7)对工件进行找正。

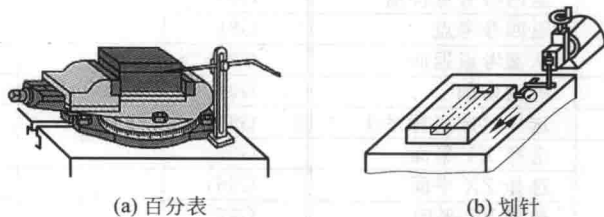


图 1-7 工件找正

1.2.4 设立工件坐标系

工件坐标系是执行加工零件的数控程序的坐标指令的加工坐标系,直接关系到零件加工的成败或影响零件加工的位置精度,因此设立工件坐标系是数控机床操作中一项至关重要的工作。

要在工件上设立工件坐标系,须进行对刀。对刀的方法主要有试切法对刀、寻边器对刀、百分表对刀等。对于加工精度要求一般的工件常用试切法对刀。如工件坐标系位于工件顶面中心位置时的试切对刀过程如图 1-8 和图 1-9 所示。

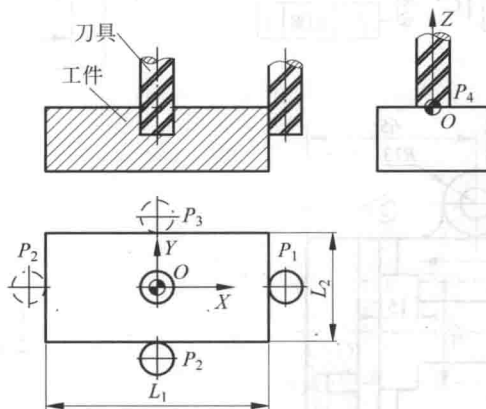


图 1-8 试切对刀示意图

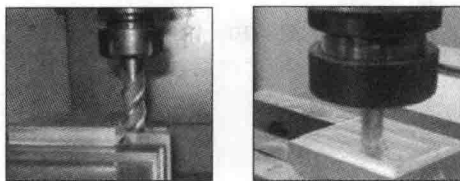


图 1-9 试切对刀

操纵手轮,将刀具移到工件左(或右)侧空位的上方;再让刀具下行,后调整移动 X 轴,使刀具圆周刃口接触工件的左(或右)侧面,该位置坐标设为 X 方向零点,抬刀高于工件顶面,然后移动刀具到工件右侧(左侧),用同样方法使刀具刃口接触工件右侧(左侧),记下刀具的位置,即刀具的移动距离 $(L_1 + D)$,抬刀后反向移动距离 $(L_1 + D)/2$,该位置设为 X 方向零点,则完成 X 方向对刀。以此类推,完成 Y 方向及 Z 方向的对刀,从而建立工件坐标系(即加工坐标系)。

思考题与习题

1. 试分析并规划图 1-10 所示钳座零件(材料: HT200)的数控铣削加工工艺,并填写工序卡片及刀具卡片。
2. 简述机床坐标系、工件坐标系、编程坐标系的相互关系。

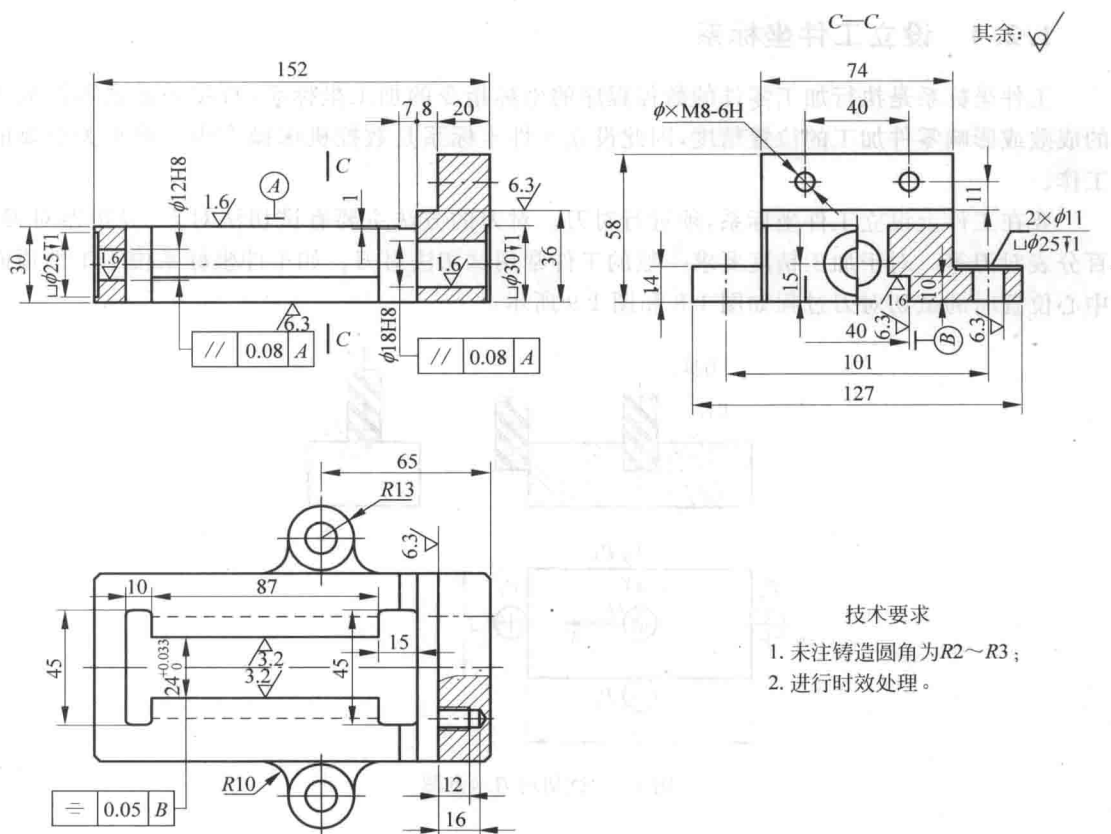


图 1-10 钳座

UG CAM基本操作

技能目标

能够完成简单零件的 CAM 编程。

知识目标

了解 UG CAM 的基本操作流程,熟悉基本操作环境。

任务 2.1 了解 UG CAM 操作流程

CAM 软件的基本操作具有相对固定的流程,因此对于初学者,学习的技巧之一就是熟悉 CAM 软件的基本操作流程,并做简单的实例练习,这样将大大提高学习效率。UG CAM 的基本操作步骤从零件加工图开始,到最终零件加工完成,可以用流程图 2-1 来表示。

图 2-2 更加直观地给出了 UG CAM 操作的基本流程与步骤:①首先根据零件图,建立零件的三维模型;②再进行零件的数控加工工艺分析,拟定该零件的数控加工工艺文件(零件加工工序卡片与刀具卡片);③根据拟定的零件加工工艺文件,建

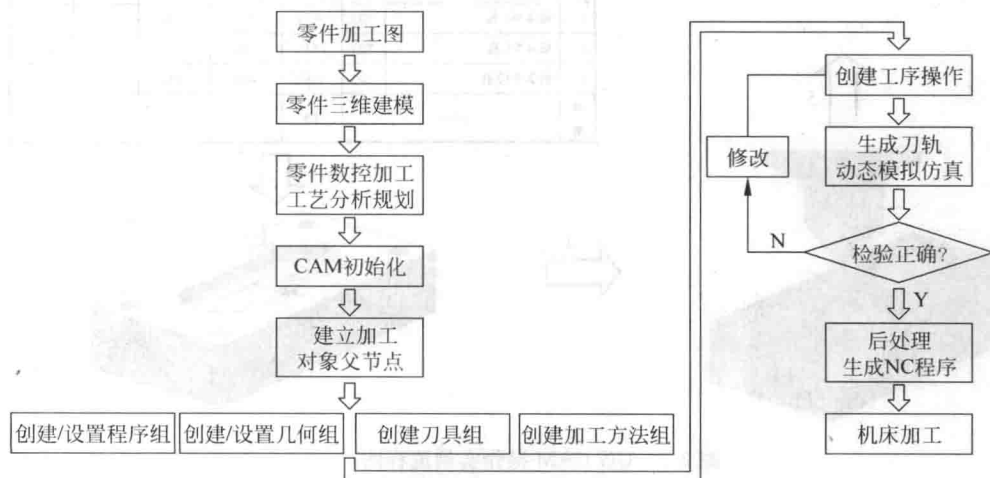
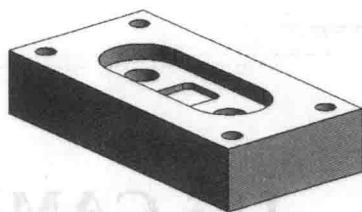
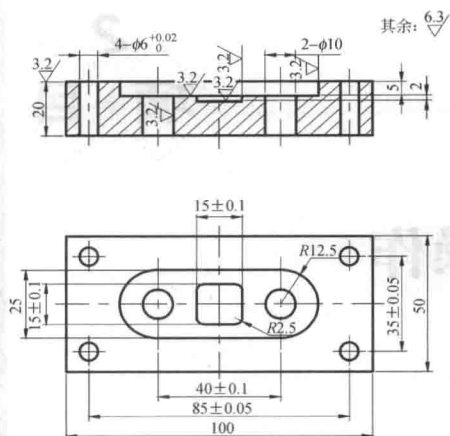


图 2-1 UG CAM 操作流程



刀具卡片

序号	刀具号	刀具名称	数量	加工表面	刀具直径/mm	备注
1	T01	立铣刀	1	粗、精铣顶面	Φ20	
2	T02	钻头	1	钻 4-Φ6	Φ5.9	
3	T03	铰刀	1	铰 4-Φ6	Φ6	
4	T04	立铣刀	1	粗精铣腰形槽及方形槽	Φ8	
5	T05	钻头	1	钻 2-Φ10 孔	Φ9.8	
编制	XXX	审核	XXX	电度	XXX	

工序卡片

单 位 名 称	XXXXXX		产品名称		零件名称		零件图号						
			XXXXXX		支架板		XX						
	工序号		程序编号		刀具名称		使用设备		数控系统		车削		
01		00001		台钳		HT630		FANUC 0i- <u>ME</u>		数控车削			
工 步 号	工步内容			刀具 号	刀具规格 mm	主轴转速 (r/min)	进给量 (mm/min)	背吃刀 量/mm	备注				
	1	粗铣顶面			T01	Φ20	1000	100	1.0				
	2	精铣顶面			T01	Φ20	1500	50	0.3				
	3	粗铣腰形槽、方形槽			T04	Φ8	1200	100	2				
	4	精铣腰形槽、方形槽			T04	Φ8	1500	50	0.3				
	5	钻 4-Φ6 孔			T02	Φ5.9	400	100					
	6	钻 4-Φ6 孔			T03	Φ6	100	50					
	7	钻 2-Φ10 孔			T05	Φ9.8	400	100					
	编 制	XXX				审核	XXX						

%

N0010 G21

N0020 G40 G17 G49 G80 G90 G54

N0030 G91 G28 Z0.0

N0050 T01 M06

N0060 G00 G90 X58. Y-32. S1000 M03

N0070 G43 Z10. H01 M08

N0080 Z5.

N0090 Z4.25

N0100 G01 Z1.25 F250

N0110 X55. Y-35.

N0120 X35. Y-55.

N0130 X15.

N0140 X55. Y-15.

N0150 Y5.

N0160 X-5. Y-55.

N0170 X-25.

N0180 X55. Y25.

N0190 Y45.

...

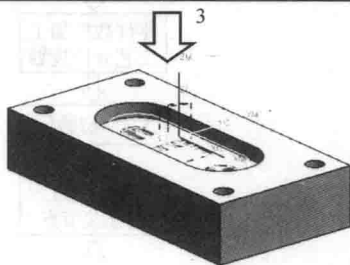
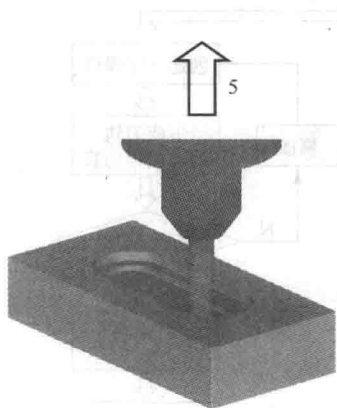


图 2-2 UG CAM 操作实例流程图