

模具职业技能培训系列教程

冲压模具制造工

CHONGYA MUJU ZHIZHAOGONG



(技师 · 高级技师)

王秀凤 郑展 张永春 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

(职业资格·工种) 工业模具职业技能培训教材《模具职业技能培训教材》系列教材

模具

模具职业技能培训系列教程

冲压模具制造工

(技师·高级技师)

王秀凤 郑展 张永春 编著

第一版 2010年11月第1次印刷

(模具职业技能培训教材)

ISBN 978-7-111-50822-0

I. ①冲… II. ①王…

III. ①材料 IV. ①TG382

中国版本图书馆CIP

机械工业出版社(北京)

张永春 郑展 王秀凤

张永春 郑展 王秀凤

张永春 郑展 王秀凤

张永春 郑展 王秀凤

张永春 郑展 王秀凤

张永春 郑展 王秀凤

张永春 郑展 王秀凤

张永春 郑展 王秀凤

张永春 郑展 王秀凤

张永春 郑展 王秀凤

张永春 郑展 王秀凤

张永春 郑展 王秀凤

张永春 郑展 王秀凤

张永春 郑展 王秀凤

张永春 郑展 王秀凤

张永春 郑展 王秀凤

张永春 郑展 王秀凤

张永春 郑展 王秀凤

张永春 郑展 王秀凤

张永春 郑展 王秀凤

张永春 郑展 王秀凤

张永春 郑展 王秀凤



http://www.cmpbook.com

http://www.cmpbook.com

机械工业出版社

封面设计: 张永春

社址: 北京市西城区百万庄大街24号

电话: (010) 88379106

电邮: cmp@vip.sina.com

邮编: 100037

网址: www.cmpbook.com

印刷: 北京机械工业出版社

发行: 北京机械工业出版社

经销: 北京机械工业出版社

印刷: 北京机械工业出版社

本书是依据《国家职业标准》对冲压模具制造工（技师·高级技师）的知识要求和技能要求，按照职业院校和企业岗位培训需要编写的。本书主要内容包括加工中心编程与操作，模具 CAD/CAM，冲模制造工艺技术的理论基础及精密、复杂、大型的模具等知识，重点介绍冲模的基本理论。本书通过大量企业生产实例介绍模具零件加工和模具装配全过程，书末附有与之配套的试题库和答案，以便于考核鉴定和读者自测自查。

本书可供职业院校、企业培训部门、职业技能鉴定培训机构、再就业和农民工培训机构使用，也可作为中等职业学校、模具培训短训班的教学用书，还可供相关专业人员自学使用。

图书在版编目（CIP）数据

冲压模具制造工：技师·高级技师/王秀凤，郑展，张永春编著. —北京：机械工业出版社，2010

（模具职业技能培训系列教程）

ISBN 978-7-111-29825-0

I. ①冲… II. ①王…②郑…③张… III. ①冲模—制模工艺—技术培训—教材 IV. ①TG385.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 028734 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：王英杰 责任编辑：邓振飞

版式设计：霍永明 责任校对：陈延翔

封面设计：鞠 杨 责任印制：乔 宇

北京瑞德印刷有限公司印刷（三河市胜利装订厂装订）

2010 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·14 印张·345 千字

0001—4000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-29825-0

定价：25.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010)88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010)68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010)88379649

读者服务部：(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

模具是制造各种零件和制品的重要工艺装备,模具技术水平反映了一个国家制造业的能力和工业产品的水平。改革开放以来,我国模具工业发展迅速,已成为模具制造大国。模具制造业的发展,需要高素质的模具制造工,而我国模具制造工的培养远远滞后于市场的需求,造成模具制造工尤其是高级模具制造工和技师、高级技师人才的严重短缺。近几年来,全国各地各企业的岗位培训机构、技工学校、职业院校都为培养模具制造工做了大量的工作,要培养出高素质的模具制造人才,必须有先进的教材相配套,为此,以《国家职业标准》为依据,我们编写了模具制造工中、高、技师和高级技师培训教材。本书以技师、高级技师模具制造工为主线,以坚持职业院校和企业岗位培训为原则,以满足模具制造工的迫切需要为目标,将企业生产实践和院校教学实践有机地结合起来,做到内容实用、够用、通俗易懂,突出新内容,做到“知识新、工艺新、技术新、标准新”。

本书主要内容包括加工中心编程与操作,模具 CAD/CAM,冲模制造工艺技术的理论基础及精密、复杂、大型的模具等基础知识,所有内容符合企业生产实际,通俗易懂。

本书由王秀凤、郑展、张永春编著,于吉鲲参与部分文稿的编写,书中的 CAD 图由孟鹏飞、叶春利、周禄兵、李凯、蔡友贵、郭晓丽、杨清凤和刘亚奇绘制完成。

由于编者水平所限,书中难免会有错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编者

目 录

前 言

第一章 加工中心编程与操作

第一节 加工中心概述

一、加工中心的结构与分类

二、加工中心的主要功能

三、加工中心的加工对象

第二节 加工中心常用刀具与工件装夹

一、加工中心常用刀具的类型

二、加工中心刀具的选用

三、加工中心夹具的选用

第三节 加工中心的程序编制

一、数控系统的功能代码

二、手工编程

三、手工编程实例

第四节 加工中心的基本操作 (FANUC/SIEMENS 数控系统)

一、FANUC 数控系统加工中心的操作

二、SIEMENS 数控系统加工中心的操作

第五节 加工中心的维护与保养

第六节 冷却方式

第七节 提高加工效率和加工质量的方法

第二章 模具 CAD/CAM

第一节 模具 CAD/CAM 概述

一、模具 CAD/CAM 及其特点

二、常用 CAD/CAM 软件

第二节 模具 CAD

一、工件的三维 CAD 设计

二、工艺结构零件的三维 CAD 设计

第三节 模具 CAM	71
一、MasterCAM 9.0 概述	72
二、MasterCAM 数控加工	75
三、后处理的方法及 DNC 技术	94
第三章 冲模制造工艺技术的理论基础	98
第一节 冷冲压技术概述	98
一、冷冲压的特点和应用	98
二、冷冲压的现状和发展	98
三、冷冲压的基本工序分类	99
第二节 冲裁间隙与冲裁件质量	101
一、影响断面质量的因素	102
二、影响尺寸精度的因素	103
三、冲裁模间隙	103
四、间隙对冲裁模寿命的影响	104
五、确定间隙的根据	104
第三节 冲裁模凸、凹模工作部分的尺寸及公差	106
一、凸、凹模工作部分尺寸计算的原则	106
二、凸、凹模工作部分尺寸计算的方法	107
第四节 冲模主要零部件的选用	110
一、冲模零件的分类	110
二、工作零件	110
三、定位零件	115
四、卸料装置	119
五、模架及零件	124
六、其他固定零件	126
第五节 弯曲变形程度及表示方法	127
一、弯曲变形程度	127
二、最小弯曲半径	128
第六节 弯曲件的回弹	129
一、影响回弹的因素	130
二、回弹值的确定	131
三、减小回弹的措施	131
第七节 弯曲件毛坯展开尺寸的计算	133
一、中性层位置的确定	133
二、弯曲件毛坯展开长度的计算	133
第八节 弯曲模工作部分结构参数的确定	134
一、凸模圆角半径	134
二、凹模尺寸的确定	134

三、凸、凹模间隙	137
四、U形弯曲件凸、凹模工作部分尺寸及公差	137
第九节 拉深过程中毛坯内的应力与应变	138
一、拉深过程中毛坯内的应力与应变状态	138
二、拉深时平面凸缘区的应力分布与起皱	139
三、筒壁传力区的受力分析与拉裂	141
第十节 旋转体拉深件毛坯尺寸的确定	141
一、旋转体拉深件毛坯尺寸确定的依据	141
二、简单旋转体拉深件毛坯尺寸的确定	142
第十一节 圆筒形件的拉深系数和拉深次数的确定	142
一、拉深系数及其极限	142
二、影响极限拉深系数的因素	144
三、极限拉深系数的确定	144
四、无凸缘圆筒形件的拉深次数及工序件尺寸的确定	145
五、带凸缘圆筒形拉深件的拉深方法及工序件尺寸的确定	147
第十二节 拉深模工作部分尺寸的确定	153
一、凸模和凹模圆角半径	153
二、拉深模间隙	154
三、凸模和凹模工作部分的尺寸及公差	155
第十三节 排样	156
一、工序件的携带方式	157
二、载体的种类与特点	158
三、工序的安排	161
第十四节 冲压力计算及压力机选择	161
一、冲裁力和压力中心的计算	161
二、弯曲力的计算	163
三、拉深力与压料力	164
第十五节 复杂级进模主要零件的加工	167
一、凸模的加工	167
二、凹模镶块的加工	169
三、整体凹模、凹模（凸模）固定板、卸料板的加工	170
第十六节 复杂冲模	173
一、凹模为整体式级进模	174
二、凹模拼块框套式固定级进模	177
三、凹模拼块直槽式固定级进模	177
四、凹模拼块分段拼合固定级进模	177
五、子模具组合级进模	178
第十七节 复杂级进模的装配	181
一、主要部件的装配	182

二、丝架级进模装配示例	183
第四章 精密、复杂、大型模具的研讨	190
第一节 “高效率、高精度、高寿命”三高级进模	190
一、导电片级进模	190
二、集成电路引线框架级进模	193
三、定转子铁心自动叠装硬质合金级进模	195
第二节 典型汽车覆盖件模具	198
一、拉深模	199
二、切边模	201
三、翻边模	204
试题库	207
理论知识试题	207
一、判断题	207
二、选择题	209
三、填空题	212
理论知识试题答案	214
参考文献	216

机床立座 V002—RXM。机床立座 V002—RXM 式示图 1-1 图
 夹卸主、进给系统、(ATC) 置装刀夹卸自、夹卸主、进给、柱立、台升工、良末由心中工
 夹卸主、进给系统、(ATC) 置装刀夹卸自、夹卸主、进给、柱立、台升工、良末由心中工

第一章

加工中心编程与操作

培训学习目的 了解数控加工中心；了解提高加工效率和加工质量的方法；掌握数控加工中心的编程与基本操作。

第一节 加工中心概述

加工中心是数控机床中功能较为齐全、加工精度很高的工艺设备，是目前世界上应用最广泛的数控机床之一。其综合加工能力强，可实现多种加工功能，一次装夹可完成多个加工要素的加工，具有较高的工作效率和质量稳定性。

一、加工中心的结构与分类

1. 加工中心的结构

加工中心主要由以下几个基本部分组成。

- (1) 主轴头 由主轴箱、主轴电动机、主轴和主轴轴承等零件组成。由数控系统控制主轴的起、停和变速等动作，并通过装在主轴上的刀具参与切削运动，是加工中心成形运动的执行部件之一。
- (2) 基础部件 由床身、立柱和工作台等部件组成。这些部件大多为铸铁或焊接而成的钢结构件，是加工中心中体积和重量最大的基础构件，主要承受加工中心的静载荷以及在加工时产生的切削负载，要求有足够的刚度。
- (3) 进给系统 由进给伺服电动机、机械传动装置和位移测量元件等组成。它驱动工作台、主轴等移动部件形成进给运动。
- (4) 数控系统 (CNC) 加工中心的数控部分由 CNC 装置、可编程序控制器、伺服驱动装置以及操作面板等组成。它是完成加工过程的控制中心。
- (5) 自动换刀装置 (ATC) 自动换刀装置 (ATC, Automatic Tool Changer) 由刀库、传动箱、机械手等部件组成。换刀时，由机械手将刀具从刀库内取出装入主轴孔中，或者由主轴直接取走刀具。
- (6) 辅助装置 包括切削冷却、润滑、液压、气动、排屑、防护和检测系统等部分。这些装置不直接参与切削运动，对加工中心的加工效率、加工精度和可靠性起着保障作用，是加工中心不可缺少的部分。

图 1-1 所示为 MXR—560V 型立式加工中心整体外形及结构组成。MXR—560V 型立式加工中心由床身、工作台、立柱、滑鞍、主轴头、自动换刀装置（ATC）、液压系统、主轴头冷却装置、润滑系统、气动系统、切削冷却系统及整体防护等组成。

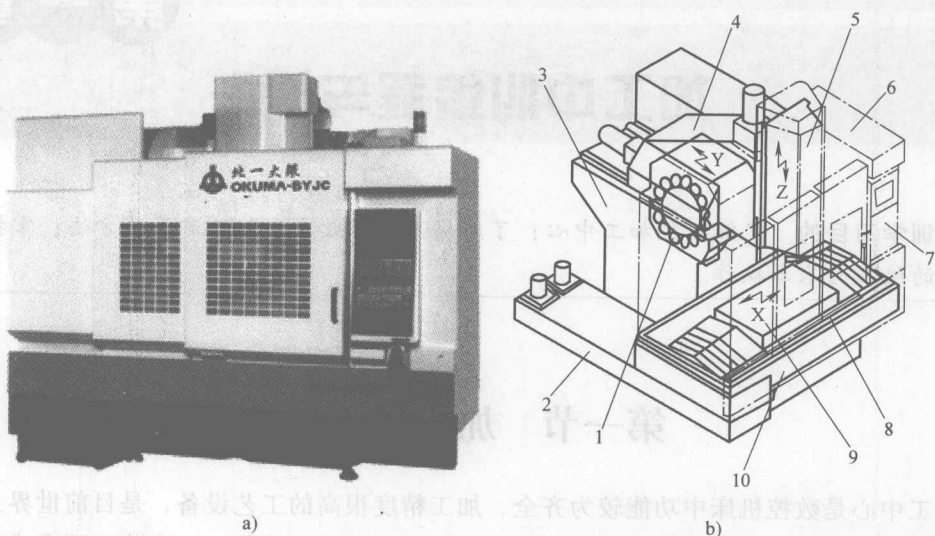


图 1-1 MXR—560V 型立式加工中心

a) 加工中心整体外形图 b) 加工中心结构组成图

1—ATC 刀库 2—切削液箱 3—立柱 4—滑鞍 5—主轴头 6—整体防护 7—操作面板
8—切屑、切削液回收槽 9—工作台 10—床身

2. 加工中心的分类

(1) 按照布局方式分类

1) 立式加工中心。立式加工中心的主轴轴线为垂直状态设置，其结构形式多为固定立柱式，工作台为长方形，能完成铣削、镗削、钻削、攻螺纹等工序的加工。配合其他辅助装置，可用于铣削螺纹和螺旋面。立式加工中心的结构简单，占地面积小，适宜加工高度尺寸较小的零件。

2) 卧式加工中心。卧式加工中心的主轴轴线为水平状态设置，通常都带有可进行分度回转运动的正方形分度工作台，一般具有 3~5 个运动坐标，常见的是 3 个直线运动坐标加一个回转运动坐标（回转工作台），一次装夹可对工件的多个表面进行铣削、镗削、钻削及攻螺纹等工序的加工。与立式加工中心相比较，卧式加工中心的结构复杂，占地面积大，具有更多的柔性，适宜加工箱体类零件。

3) 龙门式加工中心。龙门式加工中心的典型特征是具有一个龙门形的固定立柱，主轴多为垂直设置，安装在龙门框架上，可实现 X 向、Z 向移动，工作台仅实现 Y 向移动。龙门式加工中心结构刚性良好，适用于加工大型或形状复杂的工件。

4) 复合加工中心（万能加工中心或五面加工中心）。复合加工中心具有立式加工中心和卧式加工中心的功能，工件一次安装后能完成除安装面外的所有侧面和顶面等 5 个面的加工。这种方式可以最大限度地减少工件装夹次数，减小工件的形位误差，提高生产效率。

(2) 按照加工方式分类

1) 车削加工中心。车削加工中心以车削为主, 还可进行铣、钻等工序的加工。主体是数控车床, 配有转塔式刀库或换刀机械手和链式刀库组成的大容量刀库。

2) 镗铣加工中心。镗铣加工中心主要用于镗削、铣削、钻孔、扩孔、铰孔及攻螺纹等工序的加工, 是机械加工行业应用最多的一类数控设备, 有立式和卧式两种。

3) 钻削加工中心。钻削加工中心主要用于钻孔, 也可进行小面积的端铣加工。

(3) 按照数控系统分类 有 2 坐标加工中心、3 坐标加工中心和多坐标加工中心, 也有半闭环加工中心和全闭环加工中心。

二、加工中心的主要功能

加工中心是在数控铣床或数控镗床的基础上, 增加了自动换刀装置, 使工件在一次装夹后, 可以连续对工件自动进行钻孔、扩孔、镗孔、攻螺纹、铣削等多工序加工。

加工中心至少有 3 个运动坐标, 多的达十几个, 其控制功能可实现 3 轴联动, 甚至是 5 轴联动、6 轴联动, 可使刀具进行更复杂的运动; 具有直线插补、圆弧插补功能, 有些还具有螺旋线插补和 NURBS 曲线插补功能。

加工中心还具有多种辅助功能: 各种加工固定循环, 自动对刀, 中心冷却, 刀具寿命管理, 过载、超行程自动保护, 丝杠螺距误差补偿, 丝杠间隙补偿, 故障自动诊断, 人机对话, 工件在线检测和加工自动补偿等, 这有利于提高生产率和机床利用率, 保证产品的加工精度。

三、加工中心的加工对象

加工中心适用于加工形状复杂, 工序多, 精度要求高, 需要多种类型普通机床和较多刀具、工装并经过多次装夹和调整才能完成加工的零件。其主要加工对象有箱体类零件, 具有复杂曲面的零件, 异形件和盘、套、板类零件等。

第二节 加工中心常用刀具与工件装夹

一、加工中心常用刀具的类型

加工中心上使用的刀具主要有铣刀及各种孔加工刀具。下面介绍加工中心常用的刀具。

1. 面铣刀

面铣刀的形状如图 1-2 所示, 它适用于加工平面, 尤其是对大面积平面的加工。面铣刀的直径一般较大, 通常将其制成镶齿结构, 即将刀齿和刀体分开。刀齿是由硬质合金制成的可转位刀片, 刀体的材料选用 40Cr, 把刀齿安装固定在刀体上。

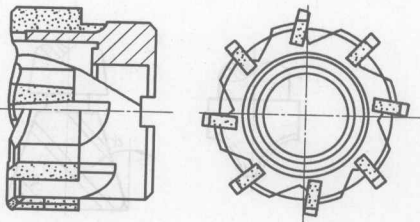


图 1-2 硬质合金整体焊接式面铣刀

2. 立铣刀

立铣刀分为高速钢立铣刀和硬质合金立铣刀两类, 如图 1-3 所示。它主要用于加工沟槽、平面、台阶面和二维曲面等。

立铣刀根据其刀齿数目分为粗齿立铣刀、中齿立铣刀和细齿立铣刀。粗齿立铣刀刀齿少，强度高，容屑空间大，适于粗加工；细齿立铣刀齿数多，工作平稳，适于精加工；中齿立铣刀的用途介于粗齿和细齿之间。

3. 键槽铣刀

图 1-4 所示的键槽铣刀有两个刀齿，圆柱面和端面都有切削刃，兼有钻头和立铣刀的功能。铣削键槽时，立铣刀先对工件钻孔，再沿工件轴线铣键槽全长。

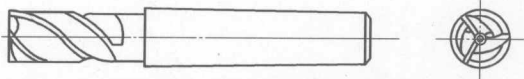


图 1-3 高速钢立铣刀

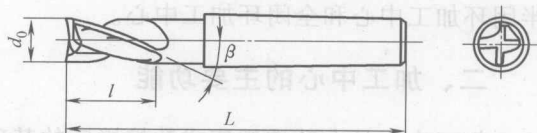


图 1-4 键槽铣刀

4. 球头铣刀

球头铣刀如图 1-5 所示，刀体形状有圆柱形球头铣刀和圆锥形球头铣刀，也可分为整体式和机夹式。球头铣刀的圆柱面和球头上都有切削刃，铣削时既能做轴向进给运动，也能做径向进给运动，它主要用于各种曲面的加工。

5. 成形铣刀

成形铣刀一般是为某个工件或某项加工内容而专门制造的，它适用于加工特定形状的面和特定形状的孔、槽，如图 1-6 所示。

6. 麻花钻

图 1-7 所示的麻花钻用于孔的钻削，可分为锥柄麻花钻和直柄麻花钻。直柄麻花钻一般用于小直径钻头，锥柄麻花钻一般用于大直径钻头。

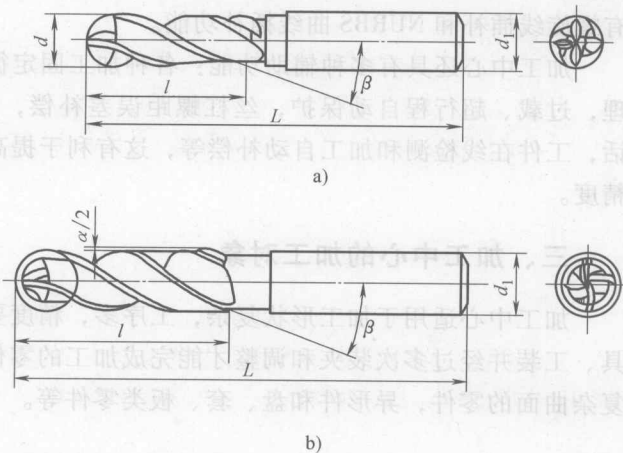


图 1-5 球头铣刀

a) 圆柱形球头铣刀 b) 圆锥形球头铣刀



图 1-6 成形铣刀

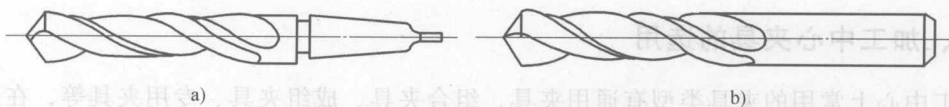


图 1-7 麻花钻

a) 锥柄麻花钻 b) 直柄麻花钻

7. 镗刀

镗刀如图 1-8 所示，用于孔的镗削加工，主要是对已钻出的孔或毛坯孔进行进一步加工。常用的有整体式镗刀和机械固定式镗刀。整体式镗刀一般装在可调镗头上使用，机械固定式镗刀一般装在镗刀杆上使用。

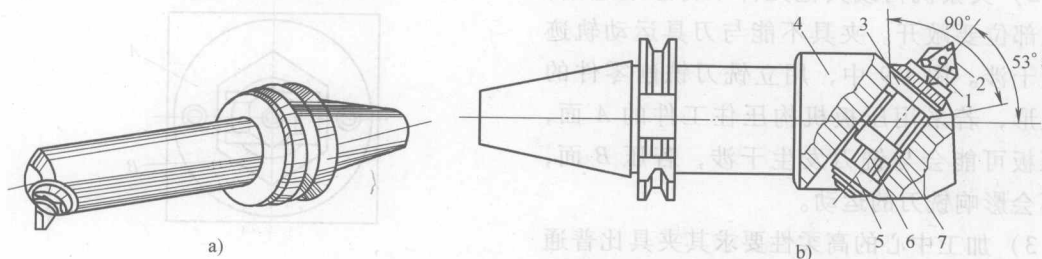


图 1-8 微调镗刀

1—刀体 2—刀片 3—调整螺母 4—刀杆 5—螺母 6—拉紧螺钉 7—导向键

二、加工中心刀具的选用

刀具的正确选择和使用是决定零件加工质量的重要因素，对高精度加工中心更要强调选用高性能刀具，充分发挥机床的效率，降低加工成本，提高加工精度。加工中心上使用的刀具应满足安装调整方便、刚性好、精度高、寿命长等原则，对刀具的基本要求如下：

1. 刀具刚性要好

加工中心的主轴转速较普通机床的主轴转速高 1~2 倍，有些加工中心的主轴转速高达数万转，再有为提高生产效率而采用大切削量，这都对刀具的刚度和强度有较高的要求，以防因刀具刚性较差而断刀并造成零件损伤。

2. 刀具的寿命要长

若刀具不耐用、磨损较快，不仅会影响零件的表面质量与加工精度，而且会增加换刀引起的调刀与对刀次数。

3. 刀具的排屑性能要好

切削过程中，若排屑不好，不仅会刮伤工件加工表面，而且可能会造成断刀，因此要求刀具的排屑、断屑性能要好。

除上述几方面之外，还要求同一批刀具在切削性能和刀具寿命方面不得有较大差异；在选择刀具材料时，一般应尽可能选用硬质合金刀具，甚至可选用性能更好、更耐磨的立方氮化硼和金刚石刀具。

三、加工中心夹具的选用

加工中心上常用的夹具类型有通用夹具、组合夹具、成组夹具、专用夹具等，在选择时往往要考虑产品的生产批量、生产效率、质量保证及经济性，主要有以下几个方面的要求：

1) 夹具结构应力求简单。对于形状简单的单件小批量生产的零件，应尽可能选用通用夹具，如三爪自定心卡盘、机用虎钳等；对批量小的零件应优先选用组合夹具；对批量较大且周期性投产、加工精度要求较高的零件，应考虑采用成组夹具和专用夹具。

2) 夹紧机构或其他元件不得影响进给，加工部位要敞开。夹具不能与刀具运动轨迹发生干涉。图 1-9 中，用立铣刀铣削零件的六边形，若采用压板机构压住工件的 A 面，则压板可能会与铣刀发生干涉，若压 B 面，则不会影响铣刀的运动。

3) 加工中心的高柔性要求其夹具比普通机床结构更紧凑、简单，装卸方便，夹紧动作更迅速、准确，尽可能缩短辅助时间且要保证足够的刚性，能灵活多变，因此常采用气动或液压夹具。

4) 自动换刀和交换工作台时不能与夹具或工件发生干涉。

5) 夹具应便于与机床工作台及工件定位表面间的定位元件连接。加工中心工作台上一般都有基准 T 形槽，转台中心有定位圈，台面侧面有基准挡板等定位元件。夹具上用于紧固的孔和槽的位置必须与工作台的 T 形槽和孔的位置相对应。

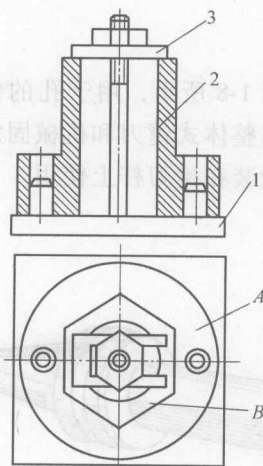


图 1-9 与刀具运动轨迹不发生干涉的夹紧机构
1—定位装置 2—被加工零件 3—夹紧装置

第三节 加工中心的程序编制

一、数控系统的功能代码

1. 准备功能

准备功能指令（G 代码）由字母“G”和其后的 1~3 位数字组成，常用的为 G00~G99，现在有些数控系统准备功能指令已扩展至 G150。该指令的主要作用是指定数控机床的运动形式，为数控系统的插补运算做好准备。

G 代码有模态代码和非模态代码之分。非模态代码只在被指定的程序段中有效；模态代码一旦被执行，便在系统内存中被保存，一直有效，直到被程序指令取消或被同一组的 G 代码取消。同一组的 G 代码在一个程序段中只能出现一个（两个以上时最后一个有效），不同组的 G 代码可以放在同一个程序段中，其各自功能互不影响，且与顺序无关。

不同数控系统的 G 代码种类会有所差别。表 1-1 为 FANUC 系统的 G 代码。

表 1-1 G 代码及功能

G 代码	组别	用于数控铣床的功能	特性	G 代码	组别	用于数控铣床的功能	特性
* G00	01	快速定位	模态	* G54	14	第一工件坐标系	模态
G01		直线插补	模态	G55		第二工件坐标系	模态
G02		顺时针圆弧插补	模态	G56		第三工件坐标系	模态
G03		逆时针圆弧插补	模态	G57		第四工件坐标系	模态
G04	00	暂停	非模态	G58		第五工件坐标系	模态
* G10		数据设置	模态	G59		第六工件坐标系	模态
G11		数据设置取消	模态	G65	00	程序宏调用	非模态
* G17	02	XY 平面选择	模态	G66	12	程序宏模态调用	模态
G18		ZX 平面选择	模态	* G67		程序宏模态调用取消	模态
G19		YZ 平面选择	模态	G73	09	高速深孔钻孔循环	非模态
G20	06	英制 (in)	模态	G74		左旋攻螺纹循环	非模态
G21		公制 (mm)	模态	G75	01	精镗循环	非模态
* G22	04	行程检查功能打开	模态	* G80	09	钻孔固定循环取消	模态
G23		行程检查功能关闭	模态	G81		钻孔循环	模态
G27	00	参考点返回检查	非模态	G82		钻孔或镗孔循环	模态
G28		返回到参考点	非模态	G84		右旋攻螺纹循环	模态
G29		由参考点返回	非模态	G85		镗孔循环	模态
* G40	07	刀具半径补偿取消	模态	G86		镗孔循环	模态
G41		刀具半径左补偿	模态	G87	03	背镗循环	模态
G42		刀具半径右补偿	模态	G89		镗孔循环	模态
G43		刀具长度正补偿	模态	G90		绝对坐标编程	模态
G44		刀具长度负补偿	模态	G91	00	相对坐标编程	模态
G49		刀具长度补偿取消	模态	G92		设定工件坐标系	模态
G52	00	局部坐标系设置	非模态	G98		循环返回起始点	模态
G53		机床坐标系设置	非模态	G99	10	循环返回参考平面	模态

说明：标有“*”符号的 G 代码为默认 G 代码。

2. 辅助功能

辅助功能指令也称为 M 代码，是用于控制机床状态的指令。M 代码同样也会因不同的数控系统而有所差别。表 1-2 为 FANUC 系统的 M 代码。

3. 主轴功能

主轴功能也称为 S 功能，用来指定加工中心主轴的转速。S 代码用地址 S 及其后的数字来表示，单位为“r/min”，例：S500。

4. 进给功能

进给功能也称为 F 功能，用以指定切削时的进给速度。F 代码用地址 F 及其后的数字来表示，单位为“mm/min”，例：F80。

表 1-2 M 代码及功能

代 码	特 性	功 能	代 码	特 性	功 能
M00	非模态、后作用	程序停止	M06	模态、后作用	换刀
M01	非模态、后作用	选择停止	M07、M08	模态、前作用	切削液打开
M02	非模态、后作用	程序结束	M09	模态、后作用	切削液停止
M03	模态、前作用	主轴正转起动	M30	非模态、后作用	程序结束并回起点
M04	模态、前作用	主轴反转起动	M98	非模态	调用子程序
M05	模态、后作用	主轴停止转动	M99	非模态	子程序结束

5. 刀具功能

刀具功能也称为 T 功能，用以选择刀具。T 代码用地址 T 及其后的数字来表示刀具号，例：T04 表示选用 4 号刀。

6. 刀具补偿功能

刀具补偿功能指令有 H 代码和 D 代码，是刀具补偿号地址，用于存放刀具长度和半径补偿值。H 代码和 D 代码分别用地址 H 和 D 及其后的数字来表示刀具长度和半径补偿号，例：H05、D03。

二、手工编程

数控编程的方法主要有两种：手工编程和自动编程。

(1) 手工编程 手工编程是指编制零件数控加工程序的各个步骤（包括分析零件图样、确定加工中所需的工艺信息、数据处理、编写数控程序单、程序的校验及试切等）均由人工来完成。这种编程方式比较简单，很容易掌握，适用于几何形状不太复杂、计算比较简单、加工程序不多的编程。但对于形状复杂的零件，计算繁琐，程序量大，手工编程难以胜任甚至无法编出程序。

(2) 自动编程 自动编程是指用计算机辅助生成数控程序，不需人工计算轨迹坐标和编写程序单。自动编程弥补了手工编程的不足，并解决了手工编程无法实现的程序。目前用得最多的自动编程方式是利用 CAD/CAM 软件进行零件的造型设计、工艺分析及加工编程、仿真。

本节主要介绍手工编程的方法。

1. 程序结构

完整的数控加工程序由程序号、程序段和程序结束所组成。程序结构示例如下：

```

O1111;           } 程序号
N01 G54 G00 X0 Y0;
N02 M03 S500;    } 程序段
N03 G01 G41 X10 Y5 D01 F150;
:
N60 M30;         } 程序结束
    
```

(1) 程序号 程序号是程序的开始标记，供数控装置在存储器程序目录中查找、调用。

程序号由地址码和编号（4 位数字）组成。不同的数控系统，程序号地址码采用的字符也不同，如 FANUC 系统用 O，SIEMENS 系统则用 % 作为程序号的地址码。

(2) 程序段格式及组成 程序段由程序段序号字、地址、数字等组成。其格式举例如下：

N03 G01 G41 X10 Y5 D01 F150;

N03——程序段号，由程序段地址符 N 与数字所组成。

G01、G41——准备功能指令，由表示准备功能地址符 G 和数字所组成。

X10、Y5——坐标轴地址字，由坐标地址符及数字组成。

D01——刀具的半径补偿功能，其后数字表示补偿的刀具号。

F150——进给功能，其后面的数字表示进给速度值。

在程序段中表示地址的英文字母可分为尺寸地址和非尺寸地址两种。表示尺寸地址的英文字母有 X、Y、Z、U、V、W、P、Q、I、J、K、A、B、C、D、E、R、H 共 18 个字母；非尺寸地址有 N、G、F、S、T、M、L、O 8 个字母。

(3) 程序结束 程序结束一般用辅助功能代码 M02 或 M30 来表示。

2. 常用 G 代码编程指令 (FANUC 系统)

(1) 与坐标相关的编程指令

1) 设定工件坐标系指令 G92。

G92 X__ Y__ Z__;

G92 指令可以确定当前工件坐标系坐标原点（也称为程序原点）。坐标 (X、Y、Z) 的点为刀具刀位点在工件坐标系中的初始位置。执行 G92 指令后也就确定了刀具刀位点的初始位置（也称为程序起点或起刀点）与工件坐标系坐标原点的相对位置，建立了工件坐标系，如图 1-10 所示，刀具起刀点坐标为 (40, 30, 30)。程序为：

G92 X40 Y30 Z30;

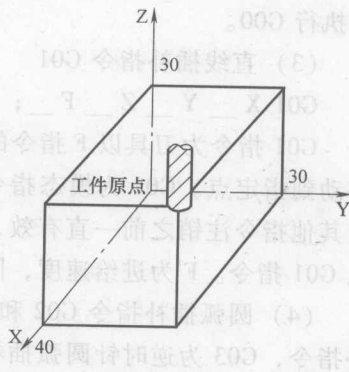


图 1-10 G92 设定的工件坐标系

2) 选择工件坐标系指令 G54 ~ G59。数控机床可以设定不同的程序零点，预设 G54 ~ G59 共 6 个工件坐标系，这 6 个工件坐标系的坐标原点在机床坐标系中的值可通过 MDI 方式输入，存储于机床存储器内，重新开机后仍然有效。在程序中可分别选择其中之一，被选择的工件坐标系原点即为当前程序原点，例如如下程序：

G54 G00 G90 X20 Y40;

G55 G00 X40 Y30;

执行第一个程序段时，系统会选定 G54 作为当前工件坐标系，再执行 G00 移动到该坐标系中的 A 点；当执行第二个程序段时，系统会选定 G55 作为当前工件坐标系，再执行 G00 移动到该坐标系中的 B 点，如图 1-11 所示。

3) 绝对坐标编程指令 G90 及增量坐标编程指令 G91。

G90 } X__ Y__ Z__;
G91 }