

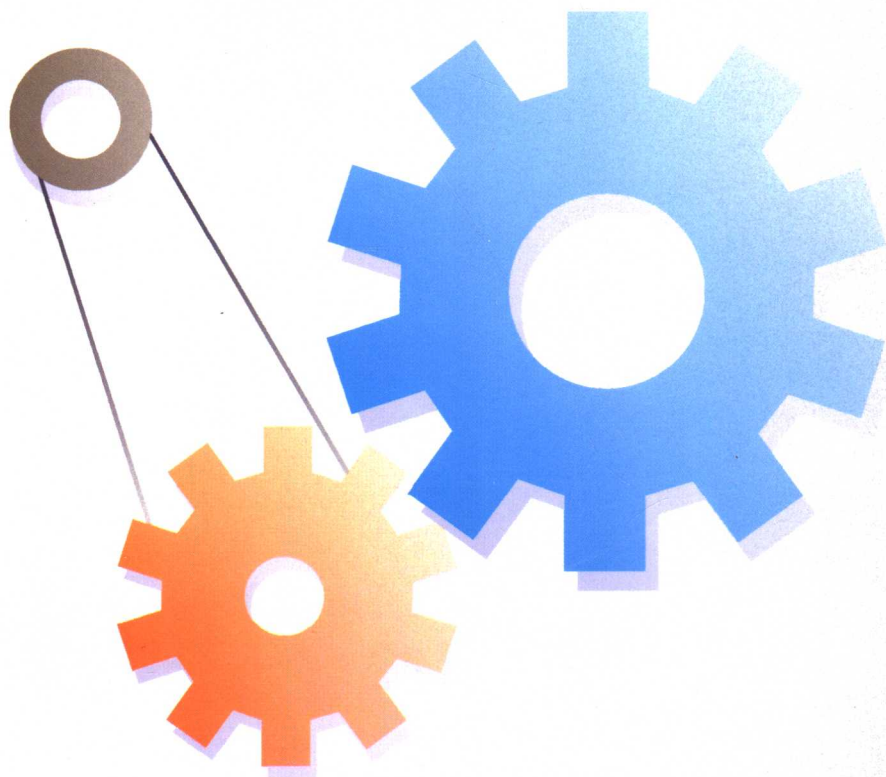


21世纪高等院校新概念系列教材

机械与模具制造工艺学

JIXIE YU MOJU ZHIZAO GONGYIXUE

杨 耀 陈国香 主编



中国宇航出版社

机械与模具制造工艺学

主 编：杨 耀 陈国香
副主编：伍少敏 刘花兰

 中国宇航出版社

·北京·

版权所有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械与模具制造工艺学/杨耀,陈国香主编. —北京:中国宇航出版社,2005.9

(21世纪高等院校新概念系列教材)

ISBN 7-80144-986-X

I. 机... II. ①杨...②陈... III. ①机械制造工艺—高等学校—教材②模具—制造—
工艺—高等学校—教材 IV. ①TH16②TG760.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 095929 号

责任编辑 刘亚静 装帧设计 03 工舍 责任校对 王 妍

出版 中国宇航出版社

社址 北京市阜成路 8 号 邮编 100830
(010)68768548

网址 www.caphbook.com/www.caphbook.com.cn

经销 新华书店

发行部 (010)68371900 (010)88530478(传真)
(010)68768541 (010)68767294(传真)

零售店 读者服务部 北京宇航文苑
(010)68371105 (010)62529336

承印 北京地质印刷厂

版次 2005 年 9 月第 1 版
2005 年 9 月第 1 次印刷

规格 787 × 1092

开本 1/16

印张 24.5

字数 612 千字

书号 ISBN 7-80144-986-X

定价 39.00 元

本书如有印装质量问题,可与发行部调换

前 言

本书根据教育部提出的“高等职业教育为制造业和农业现代化培养高技能型人才”的任务而编写，综合了《机械制造工艺学》、《模具制造工艺学》、《机床夹具设计》三门学科的主要内容，突出高等教育注重培养学生的学习能力、实践能力和创新能力的特点。因此，本书可作为高等工科院校本科、高职、高专等机械类、机电类、近机类专业的专业课教材，可以满足 60~100 学时的教学要求。

本书由南昌理工学院教授杨耀，南昌大学教授陈国香主编，江西航空职业技术学院副教授伍少敏，江西航空技术学院副教授刘花兰副主编。本书绪论、第 2、第 3 章由杨耀编写，第 4、第 6 章由陈国香编写，第 1、第 5、第 8 章由伍少敏编写，第 7 章由刘花兰编写。全书由杨耀、陈国香统稿、审稿、定稿。南昌理工学院张娟、顾吉仁、李玉满、李利花、焦芳及解放军第二炮兵学院杨建军等同志参加了书稿的打印、制图、编排等工作。蓝天学院邱映辉教授对本书编写提出了宝贵意见，在此，一并致以衷心的感谢！

由于作者水平和时间有限，误编或欠妥之处难免，恳请读者批评指正。

编 者

2005 年 3 月

目 录

绪论	1
第1章 零件机械加工方法综述	3
1.1 一般机械加工	3
1.1.1 车削加工	3
1.1.2 铣削加工	6
1.1.3 刨削	8
1.1.4 磨削加工	10
1.2 仿形加工	11
1.2.1 仿形加工原理与控制形式	11
1.2.2 仿形车削	13
1.2.3 仿形铣削	14
1.2.4 仿形刨削	18
1.2.5 雕刻加工	19
1.3 精密加工	20
1.3.1 坐标镗床加工	21
1.3.2 坐标磨床加工	25
1.3.3 成形磨削	29
1.4 思考题与习题	40
第2章 机械加工工艺规程的制定	41
2.1 基本概念	41
2.1.1 生产过程及其组成	41
2.1.2 工艺过程及其组成	41
2.1.3 生产纲领和生产类型	44
2.1.4 工艺规程的作用及格式	46
2.1.5 制定工艺规程的原始资料与基本步骤	46
2.2 零件的工艺性分析	50
2.2.1 概念	50
2.2.2 工艺性审查	50
2.2.3 零件的工艺性分析与工艺规程的制定	53
2.3 毛坯选择	54
2.3.1 毛坯的种类和选择	54

2.3.2	毛坯的形状与尺寸公差	54
2.4	定位基准的选择	55
2.4.1	基准及其分类	55
2.4.2	定位基准的选择	56
2.5	工艺线路的拟定	59
2.5.1	表面加工方法的选择	59
2.5.2	加工顺序的安排	63
2.5.3	加工阶段的划分	66
2.5.4	工序的划分与组合	67
2.6	加工余量的确定	67
2.6.1	概念	67
2.6.2	影响加工余量的因素	69
2.6.3	确定加工余量的方法	69
2.7	工序尺寸及其公差的确 定	70
2.7.1	工艺基准与设计基准重合时工序尺寸及其公差的确 定	70
2.7.2	工艺基准与设计基准不重合时工序尺寸及其公差的确 定	71
2.8	机械加工时间定额	80
2.9	思考题与习题	81

第3章	典型零件的机械加工	88
3.1	轴类零件加工	88
3.1.1	概述	88
3.1.2	卧式车床主轴的机械加工	89
3.2	杆类零件加工	97
3.2.1	概述	97
3.2.2	模具导柱的机械加工	98
3.2.3	外圆表面先进的磨削方法简介	100
3.2.4	外圆表面的光整加工方法简介	102
3.3	套类零件加工	106
3.3.1	概述	106
3.3.2	液压缸的机械加工	107
3.3.3	模具导套的机械加工	109
3.3.4	深孔加工方法简介	111
3.3.5	孔的光整加工方法简介	113
3.4	模座平板类零件加工	115
3.4.1	概述	115
3.4.2	材料、毛坯与热处理	115
3.4.3	模座的加工	115
3.5	凸、凹模的加工	119

3.5.1	概述	119
3.5.2	凸模的机械加工工艺流程	119
3.5.3	凹模的机械加工工艺流程	122
3.6	箱体加工	122
3.6.1	概述	122
3.6.2	车床主轴箱的机械加工	123
3.6.3	箱体孔类的加工方法	126
3.7	思考题与习题	127
第4章	模具的特种加工及其他加工方法	131
4.1	电火花加工	131
4.1.1	电火花加工的原理和特点	131
4.1.2	电火花加工的基本规律	133
4.1.3	电火花加工机床	140
4.1.4	电火花穿孔加工	143
4.1.5	型腔模电火花加工	155
4.2	电火花线切割加工	163
4.2.1	电火花线切割加工原理和特点	163
4.2.2	电火花线切割加工机床	164
4.2.3	电火花线切割程序编制	168
4.2.4	电火花线切割加工工艺	177
4.3	电化学及化学加工	180
4.3.1	电化学加工概述	180
4.3.2	电解加工	181
4.3.3	电铸加工	185
4.3.4	化学加工	189
4.4	超声加工	191
4.4.1	超声加工的基本原理和特点	191
4.4.2	超声加工设备	192
4.4.3	基本工艺规律	193
4.4.4	超声加工的应用	194
4.5	模具成型零件的其他加工方法	194
4.5.1	模具的铸造成型	194
4.5.2	模具挤压成形	198
4.6	思考题与习题	202
第5章	机械加工质量	204
5.1	机械加工精度	204
5.1.1	概述	204

5.1.2	工艺系统的几何误差	205
5.1.3	工艺系统的受力变形	212
5.1.4	工艺系统的热变形	222
5.1.5	提高加工精度的工艺措施	223
5.1.6	加工误差的统计分析法	225
5.2	机械加工表面质量	230
5.2.1	加工表面质量的概念	230
5.2.2	影响加工表面粗糙度的工艺因素及其控制措施	232
5.2.3	影响零件表面层物理力学性能的主要因素及其控制措施	233
5.2.4	机械加工中的振动	239
5.3	思考题与习题	243
第6章	机械与模具装配工艺	245
6.1	装配概述	245
6.1.1	装配概念	245
6.1.2	装配工作的基本内容	245
6.1.3	装配的组织形式	246
6.1.4	装配精度	247
6.2	装配尺寸链	248
6.2.1	装配尺寸链的基本概念	248
6.2.2	装配尺寸链的建立	249
6.3	装配方法及其选择	250
6.3.1	互换装配法	250
6.3.2	分组装配法	253
6.3.3	修配装配法	255
6.3.4	调整装配法	257
6.3.5	装配方法的选择	260
6.4	装配工艺规程的制定	261
6.4.1	制定装配工艺规程的步骤与主要工作内容	261
6.4.2	确定装配顺序的原则	263
6.5	冷冲模的装配	264
6.5.1	冷冲模装配的技术要求	264
6.5.2	模架的装配	265
6.5.3	凸、凹模装配	268
6.5.4	冲模装配的顺序	271
6.5.5	冲裁模装配实例	272
6.5.6	级进模装配实例	274
6.5.7	复合模装配实例	275
6.5.8	环氧树脂等黏结技术在模具装配中的应用	277

6.6 塑料模装配	279
6.6.1 塑料模装配的技术要求	279
6.6.2 型心、型腔凹模与模板的装配	280
6.6.3 过盈配合件的装配	284
6.6.4 装配中的修磨	286
6.6.5 导柱、导套的装配	287
6.6.6 推杆装配	288
6.6.7 滑块抽心机构的装配	291
6.6.8 楔紧块及斜导柱的装配	292
6.6.9 热塑性塑料注射模具装配实例	292
6.7 思考题与习题	296
 第7章 机床专用夹具设计	298
7.1 概述	298
7.1.1 机床夹具及其功用	298
7.1.2 机床夹具的分类与组成	300
7.2 工件的定位	301
7.2.1 工件定位的基本原理	301
7.2.2 常用定位方式与定位元件的设计	308
7.2.3 定位误差及其计算	317
7.3 工件的夹紧	327
7.3.1 夹紧原理	327
7.3.2 典型夹紧机构	330
7.3.3 组合夹紧机构与联动夹紧机构	334
7.4 各类机床夹具的设计特点	336
7.4.1 车床夹具	337
7.4.2 铣床夹具	340
7.4.3 钻床夹具	342
7.4.4 镗床夹具	350
7.4.5 数控机床夹具	355
7.5 组合夹具	356
7.5.1 组合夹具的特点与应用场合	356
7.5.2 组合夹具的基本元件及主要作用	357
7.5.3 组合夹具的组装	357
7.6 专用夹具设计方法	360
7.6.1 机床专用夹具的设计方法	360
7.6.2 夹具结构的工艺性	362
7.7 思考题与习题	366

第 8 章 现代机械制造技术	369
8.1 机械与模具的 CAPP/CAM	369
8.1.1 计算机辅助工艺设计(CAPP)	369
8.1.2 机械产品的 CAD/CAM 技术	374
8.2 机械制造系统的自动化技术	378
8.2.1 概述	378
8.2.2 柔性制造系统	378
8.2.3 计算机集成制造系统	380
参考文献	382

绪 论

1. 机械与模具制造业在国民经济中的地位

机械制造业是国民经济中一个十分重要的产业，它为国民经济各部门科学研究、国防建设和人民生活提供各种技术装备，在社会主义建设事业中起着中流砥柱的作用。从农业机械到工业机械，从轻工业机械到重工业机械，从航空航天设备到机车车辆、汽车、船舶等设备，从机械产品到电子电器、仪表产品等，都必须有机械及其制造。在工业高度发达的国家中，机械工业的产值常常占整个工业总产值的40%或更多。

在机械制造中，机床夹具、模具都是不可缺少的工艺装备，尤其是模具以其特定的形状通过一定的方式使材料成形。据国际生产技术协会提供的资料显示，机械零件粗加工的75%和精加工的50%都将由模具成形来完成。因此模具被誉为“金属加工中的帝王”，是“进入富裕社会的原动力”，“模具就是黄金”。

2. 模具制造工艺的特点

模具制造也是机械制造，但由于其特殊功能，与一般机械制造相比较，有着特殊的要求与明显的特点，主要表现为：

1) 单件生产。除模架制造成批生产外，模具工作零件或其他结构件都是单件生产，每种模具一般只生产1~2副，普遍采用修锉、修配方法加工，很少采用“互换法”加工。在零件制造过程中，工件更换频繁，工序组合相对集中，对工人技术水平要求较高。

2) 制造质量高。一般地，模具工作零件的制造精度比产品零件高2~4级。例如，模具工作部分制造偏差控制在0.01 mm左右，工作部分的表面粗糙度值 R_a 要求小于0.8 μm ，需要采用精密机床如坐标磨床、数控机床加工。

3) 形状复杂。模具工作部分都是二维、三维复杂曲面，而不是一般机械的简单几何体，加工难度大，必要时采用镶嵌结构、拼合结构，需要采用专门化机床、特种加工方法，需要高技术水平的工人。

4) 材料硬度高。一般采用工具钢淬火、低温回火，或硬质合金，需要采用特种加工方法。

5) 模具生产需具备专业化的生产组织形式。该形式与其生产方式应相适应。

3. 本课程的内容与特点

本课程的内容主要包括机械与模具的制造方法、机械与模具零件制造工艺规程、机械与模具装配工艺、机械加工质量、机床专用夹具设计。具体分8章，即零件机械加工方法综述、机械加工工艺规程的制定、典型零件的机械加工、模具的特种加工及其他加工方法、机械加工质量、机械与模具装配工艺、机床专用夹具设计、现代机械制造技术。

由此,本课程的特点之一是新的结构体系。它突破了传统的学科内容结构,综合了《机械制造工艺学》、《模具制造工艺学》、《机床夹具设计》三门学科的主要内容,将机械制造与模具制造工艺有机地结合,充实了传统的《机械制造工艺学》中的内容,确定了传统的《模具制造工艺学》中的理论依据。

本课程的特点之二是涵盖的知识面广。它既阐述了机械制造共同的理论、规律、加工方法,又概述了模具制造特殊加工方法与特点,以介绍制造与装配工艺为主,又较详细地介绍了夹具设计基本知识。适应了不同专业培养目标的差异,不同学历层次对教材内容的需求,因而,本课程涵盖的知识面较广泛,可供授课时取舍。

本课程的特点之三是注重应用能力的培养。坚持工艺理论的分析以够用为度,着重于介绍机械与模具制造方法的基本原理、特点及应用;着重于培养学生在零件机械加工工艺规程的编制、线切割编程、模具装配工艺过程的制定和夹具设计等方面独立工作的能力,力求体现应用型本科、高职、高专培养目标与教学特色。

本课程的特点之四是实践性极强。课程中阐述的工艺理论来源于生产实践和科研实践,而工艺理论的发展又促进和指导生产的发展。学习制造工艺理论在于应用,在于为将来从事工艺技术工作奠定基础,在于提高工艺技术水平。因此,要安排实践性教学环节,如到工厂机械或模具制造现场参观学习;进行必要的课程设计或大作业,如工艺规程的编制,拆装模具,设计夹具;完成习题与思考题的练习,从而建立感性认识,加深对基本概念和基本理论的理解及应用。

4. 学习本课程的目的与要求

《机械与模具制造工艺学》是高等工科院校“机械制造工艺及设备”、“机械设计制造及其自动化”、“材料成型与控制技术”、“机电一体化”、“模具设计与制造”、“数控技术”等专业的一门必修的主要专业课。通过本课程的课堂理论教学以及实践教学环节的配合,使学生掌握基本的工艺知识,初步具有分析和解决机械与模具制造工艺技术问题的能力,自学工艺理论和新工艺、新技术的能力。

具体有以下几点要求:

- 1) 熟悉机械与模具零件精密加工、特种加工方法的基本原理、特点及应用。
- 2) 掌握机械与模具零件制造工艺的基本理论(包括定位和基准理论、工艺和装配尺寸链理论、加工精度和误差分析理论、表面质量和机械振动理论等),注重基本理论的应用。
- 3) 掌握典型零件制造工艺及典型模具装配工艺过程。
- 4) 掌握机床夹具设计的定位原理、定位误差分析、夹紧装置的应用、设计特点及方法。
- 5) 具有制定中等复杂程度的典型机械与模具零件机械加工工艺规程的能力。
- 6) 具有设计中等复杂程度零件机床夹具的能力。
- 7) 了解现代机械制造技术的特点与应用。

第 1 章 零件机械加工方法综述

零件机械加工由于其加工精度高,表面质量好,生产效率高,能加工特形表面,是零件加工的主要方法。

1.1 一般机械加工

机械加工的方法有很多种,常用的方法有车削、铣削、刨削、钻削、铰削、镗削和磨削。由于它们所使用的机床不同,应用范围不同,所以各种加工方法有不同的工艺特点。

1.1.1 车削加工

车削加工是在车床上主要对回转面进行加工的方法。车床的种类很多,主要有卧式车床、立式车床、转塔自动车床及数控车床。车削加工的通用性好,加工精度高,表面粗糙度低,一般精车精度达 IT7 ~ IT8,表面粗糙度 R_a 值为 $1.6 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。精细车可达 IT5 ~ IT6, R_a 值达 $0.4 \mu\text{m}$,是最基本的切削加工方法之一。这里只介绍一些特殊的车削方法。

1. 特形曲面的车削

在机械制造中,由于设计和使用等的需要,会出现各种复杂的特殊的型面,如凸轮、手柄、自动机床上的靠模及球面等。当其为单件生产或小批生产时,通常用普通车床来完成这些特殊型面的加工。

车削精度要求不高的特形曲面,常用纵、横向同时进给法来完成车削加工,即在车削时双手同时摇动大拖板手柄和中拖板手柄,通过双手协调动作,车出所要求的特形曲面形状。

例如车削图 1-1 所示的手柄,工件装夹在三爪卡盘上。车削时,首先按图示要求车削 $\phi 30 \text{ mm}$ 与 $\phi 20 \text{ mm}$ 的外圆,然后再开始车削手柄曲面,采用大拖板自动纵向进给和中拖板配合手动横向进给的方法。车削时,根据大拖板自动纵向进给的速度和工件曲面圆弧的大小,掌握中拖板进退配合的快慢,并根据工件曲面圆弧的变化,随时调整车削顺序,先车削距离卡盘最远的曲面 $R20$,再车削 $R60$ 的曲面,以此往左。车削时,大拖板应该由工件曲面的高处向低处作纵向进给,中拖板则由外向里以手动配合进给,这样可以避免因中拖板进给(退刀)不及时而将工件车坏。采用此种方法车削,由于手动进给的不均匀,工件表面的走刀痕迹往往很明显,为降低表面粗糙度,应用细板锉仔细修整后再用砂布加机械油砂光。最后切断,调头车削 $R10$ 的曲面并修光。

球面的加工常常也是单件或小批生产中碰到的问题。带球面的零件很多,如球面垫圈,拉深凸模,弯曲模,浮动模柄和塑料模的型心等零件,往往都带有球面,如图 1-2 所示浮动模柄接头,就是带球面的零件。

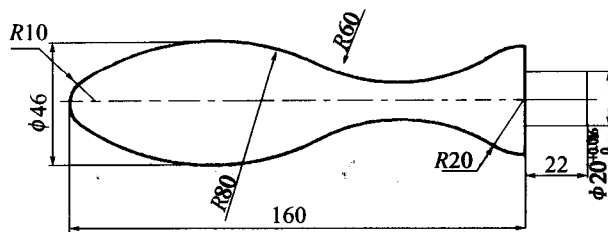


图 1-1 手柄

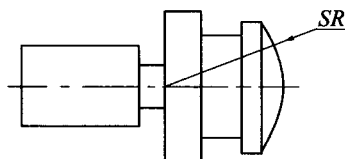


图 1-2 浮动模柄接头

球面的加工方法有很多种，如双手同时摇动中拖板手柄和小拖板手柄协调车削；用成形车刀车削；还可以在卧式车床上设置一个球面车削工具来车削球面，其方法是：在机床导轨上固定一基准板 2，在中拖板上紧固一调节板 3，基准板与调节板连杆 1 通过轴销铰链连接。当中拖板横向自动进给时，由于连杆 1 的作用，使大拖板作相应的纵向移动，而连杆绕基准板上的轴销回转使刀尖也作出圆弧轨迹。如图 1-3a 所示。

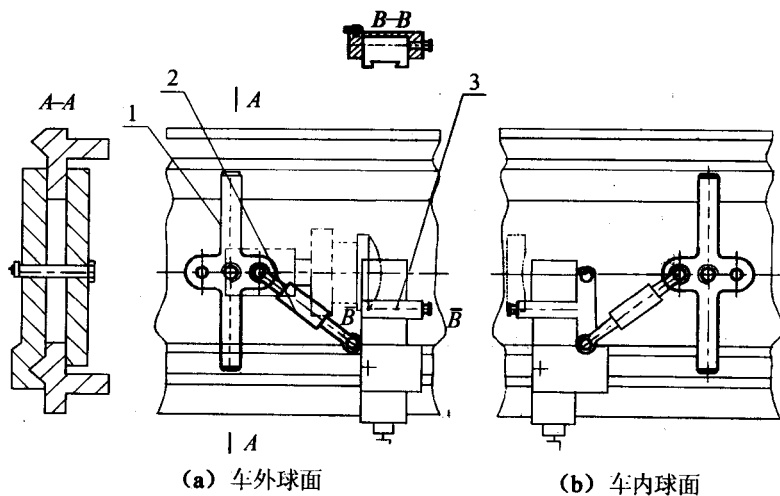


图 1-3 车球面工具

1—连杆；2—基准板；3—调节板

调节连杆 1 的长短，可以车出半径不同的球面。调整基准板的位置，可以车出内凹球面。如图 1-3b 所示。

2. 多型腔零件的车削

模具上常常有多型腔零件，如图 1-4 所示为三型腔塑料模的动模。其型腔的结构形状适

合于用车削加工。因此,可用四爪卡盘或花盘装夹零件。用辅助顶尖找正型腔中心,逐个车出。

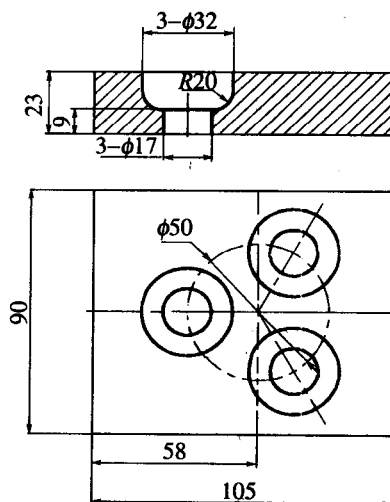


图 1-4 三型腔零件

车削前,须先按图示要求加工出工件的外形,以便车削时装夹,并在三个型腔的中心打上样冲眼或中心孔。车削时,把工件初步装夹在车床的花盘上,将辅助顶尖一端顶在样冲眼上或中心孔上,另一端顶在车床尾座顶尖上。用手转动主轴,以千分表校正辅助顶尖外圆,调整工件的位置,如图 1-5 所示。当辅助顶尖的外圆校正后,便可以对型腔进行车削。用同样的方法,可以校正其他型腔中心,并进行车削加工。

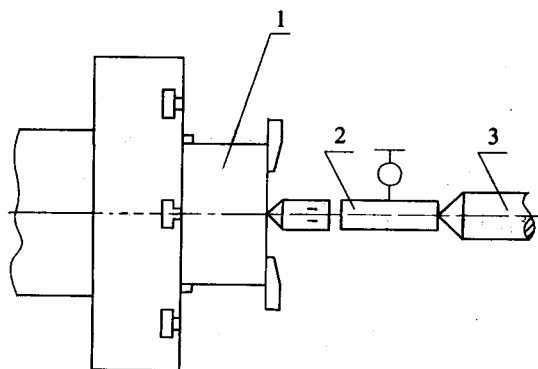


图 1-5 用辅助顶尖找正中心

1—坯料; 2—辅助顶尖; 3—车床尾座

辅助顶尖的结构如图 1-6 所示,要求 $\phi 16 \text{ mm}$ 与 $\phi 10 \text{ mm}$ 的外圆保持同轴。

又如图 1-7 所示箱盖零件,现要在车床上加工 $\phi 25^{+0.033} \text{ mm}$ 的两个孔及 $\phi 38$ 的凸台和 $136 \text{ mm} \times 96 \text{ mm}$ 的大平面,我们可以采用与上例相同的加工方法来加工,只是为了调整工件方便,可在花盘上安装一辅助夹具。这样,在加工时,只需移动辅助夹具到一定位置即可继续加工。它既方便了工件的装夹,加工和测量,又可避免因移动工件而产生加工误差。

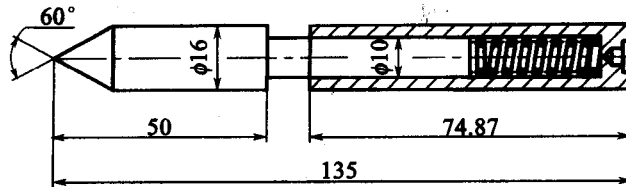


图 1-6 辅助顶尖结构图

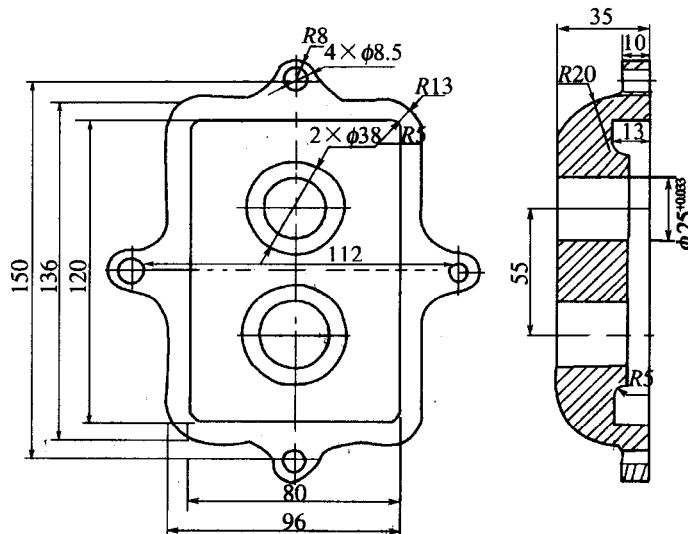


图 1-7 箱盖

3. 对拼装式型腔的车削

在模具设计中,常常把型腔设计成对拼式的,即型腔的形状由两个半片或多个镶件组成。如在注射模,吹塑模,压铸模,玻璃模和胀形模等模具中都常有拼装式型腔零件的使用。

车削加工拼装式型腔零件时,如图 1-8 所示。为保证型腔尺寸的准确性,应预先将各对拼件的对拼面磨平,相互间用工艺销钉固定组成为一个整体后再进行车削加工。

1.1.2 铣削加工

铣削加工可以用来加工平面、沟槽、螺纹、齿轮及成形表面,特别是复杂的特形面,几乎都是通过铣削加工来完成的。铣削加工精度较高,可达 IT8 左右,表面粗糙度 R_a 值为 $1.6 \sim 0.8 \mu\text{m}$,因此,铣削是切削加工中的重要加工方法之一,在机械加工中得到广泛的应用。

在模具零件的加工中,铣削主要用来加工各种模具的型腔和型面,铣削主要的机床是立式铣床和万能工具铣床。当模具的型腔和型面的精度要求较高时,铣削加工一般作为中间工序,铣削后经成形磨削或火花加工等来提高加工精度。

模具零件的立铣加工主要有以下几种。

1. 平面或斜面的铣削

在立铣上用端铣刀铣削平面,一般用平口钳,压板等装夹工件,其特点是切屑厚度变化

小、同时进行切削的刀齿较多，切削过程比较平稳，铣刀端面的副切削刃有刮削作用，工件的表面粗糙度较低，因此，对于宽度较大的平面，都采用高速端面铣削。既能保证铣削精度，生产效率又高。

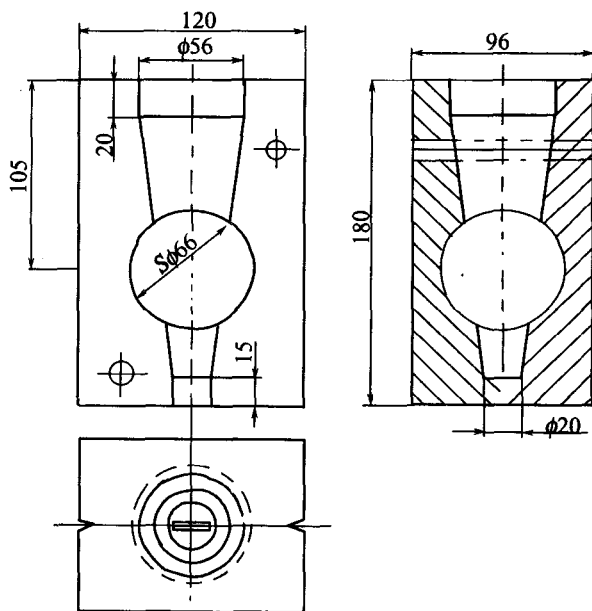


图 1-8 拼装式型腔零件

在立铣上铣削斜面，通常有三种方法：按划线转动工件铣斜面，用夹具转动工件铣斜面，转动立铣头铣斜面。

2. 圆弧面的铣削

在立铣床上加工圆弧面，通常是利用圆形工作台，它是立铣加工中的常用附件，其结构组成如图 1-9 所示。

利用它进行各种圆弧面的加工。首先将圆形工作台安装在立式铣床工作台上，将工件安装在圆形工作台上。安装工件时应注意使被加工圆弧的中心与圆形工作台的回转中心重合，并根据工件形状来确定铣床主轴中心是否需要与圆形工作台中心重合。

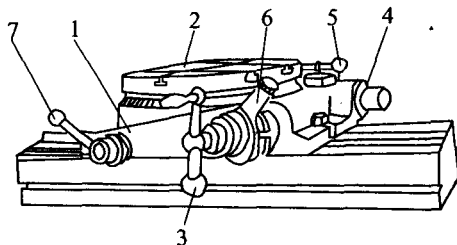


图 1-9 圆形工作台

1—底座；2—圆台；3，5，7—手柄；4—接头；6—板动杆