

高等学校教材

模具制造技术

M U J U Z H I Z A O J I S H U

● 曾珊琪 丁毅 主编



化学工业出版社

高等学校教材

模具制造技术

曾珊琪 丁 毅 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本教材是根据高等教学改革的主旨,以培养社会应用型人才为重点,提高学生综合能力为目标而编写的。全书内容以现代模具制造技术和加工工艺为主线,较全面系统地阐述了现代模具制造方法的基本原理、特点、加工工艺及应用。全书共分9章,主要内容包括:模具制造概述;模具制造工艺规程的编制;模具成形零件的机械加工与光整加工;模具数控机床加工及数控加工工艺;模具的机械加工精度与表面质量;模具的电火花加工和电火花线切割、电化学加工、超声波加工与激光加工等特种加工;典型模具零件加工工艺和装配工艺,以及现代模具先进制造技术的简介。全书围绕着模具零件结构特征和精度要求与加工方法的关系进行论述,列举较多的加工工艺实例,力求理论基础紧密结合实际。

本书可作为材料成型及控制工程、模具设计与制造、塑性成型工艺与设备、机械制造工艺及设备等专业教学使用。也可供从事模具设计与制造的专业人员和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

模具制造技术/曾珊珊,丁毅主编. —北京:化学工业出版社,2008.5
高等学校教材
ISBN 978-7-122-02661-3

I. 模… II. ①曾…②丁… III. 模具-制造-高等学校-教材 IV. TG76

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第056930号

责任编辑:杨 菁

文字编辑:徐雪华

责任校对:宋 夏

装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张19½ 字数497千字 2008年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:35.00元

版权所有 违者必究

前 言

本教材是根据现代模具工业所需专业人才的培养目标和基本要求,结合高等教学改革的主旨,以培养社会应用型人才为重点,以提高学生综合能力为目标而编写的。本教材可作为材料成型及控制工程、模具设计与制造、塑性成型工艺与设备、机械制造工艺及设备等专业教学使用。也可供从事模具设计与制造的专业人员和工程技术人员参考。

本教材针对模具单件生产的加工特征,进行模具制造工艺内容的探讨。在本教材编写中增加了现代新的模具制造技术、模具制造的生产实例、模具制造工艺规程的制订、加工质量和精度分析等方面的内容,突出保证模具加工和装配精度的重要性。整个内容与模具生产实际紧密结合,力求教材内容具有先进性、时代性及实用性,能够体现出我国模具工业技术发展水平。使学生通过学习后能够在解决生产实际问题具有分析能力和解决问题的手段。

本书系统、全面介绍模具制造的各种工艺和方法及现代模具制造新技术。全书共分为9章,第1章简述模具工业的发展,模具设计与加工的关系及优质模具应满足的要求。概述模具制造的工艺过程和模具零件的分类及零件基本表面的加工方案等;第2章介绍模具制造工艺规程的编制,包括工件的安装和基准选择,工艺路线的拟订以及工序设计;第3章重点介绍模具成形零件表面的一般机械加工,仿形加工,精密加工以及光整加工等加工方法;第4章介绍模具数控加工工艺和数控机床加工及加工中心;第5章主要分析机械加工质量的影响因素,提出提高加工质量的途径;第6章重点介绍模具零件的电火花成形加工,电火花线切割,电化学加工,超声加工与激光加工等特种加工方法;第7章介绍典型模具零件的加工工艺;第8章介绍典型模具的装配工艺;第9章简介现代模具先进制造技术,包括快速成形及快速模具制造技术、高速切削技术、模具的CAPP/CAM、机械制造系统的自动化技术、逆向工程技术等。

本教材考虑到专业课时有限,编写内容尽可能详细、易懂,因此可根据具体学时情况将部分教学内容由学生自学,以保证学生能够全面、完整的了解和掌握模具制造技术和制造工艺的知识。

本教材第1章、第6章、第9章由陕西科技大学丁毅主编,第2章至第5章、第7章、第8章由陕西科技大学曾珊珊主编。参加编写的人员有陕西科技大学丁毅、曾珊珊、郑梅、田普建、郭楠、胡妍、刘雯等。

本书在编写过程中,总结了多年的教学经验与体会,吸收了许多高校近年来的教学经验,博采众长,以及参考了相关著作和论文所提供的宝贵经验和资料,为本教材的编写给予很大的帮助,在此表示衷心的感谢!还要感谢李尧、刘春燕、王玲等为本书的文字、图片整理给予的帮助和支持!

由于编者水平有限,书中遗漏之处,敬请读者批评指正。

编 者

2008年3月

目 录

第1章 模具制造概述	1	2.3 工艺路线的拟订	20
1.1 现代模具工业的发展	1	2.3.1 表面加工方法的选择	20
1.2 模具设计与加工的关系	1	2.3.2 加工阶段的划分	20
1.3 优质模具应满足的要求	1	2.3.3 加工顺序的安排	21
1.4 模具制造的特点	2	2.3.4 工序的集中与分散	23
1.5 模具制造的工艺路线	2	2.4 工序设计	24
1.5.1 分析估算	3	2.4.1 机床与工艺设备的选择	24
1.5.2 模具设计	3	2.4.2 加工余量与工序尺寸	25
1.5.3 模具制图	3	思考题	27
1.5.4 零件加工	4	第3章 模具成形零件的机械加工	28
1.5.5 装配调整	4	3.1 一般机械加工	28
1.5.6 试模	4	3.1.1 车削加工	28
1.6 模具的主要加工方法	5	3.1.2 铣削加工	31
1.6.1 机械加工	5	3.1.3 刨削和插削加工	33
1.6.2 特种加工	5	3.1.4 磨削加工	34
1.6.3 塑性加工	5	3.2 仿形加工	36
1.6.4 铸造	5	3.2.1 仿形加工的控制方式及工作 原理	37
1.6.5 焊接	6	3.2.2 仿形加工工艺	39
1.7 模具结构分析及零件分类	6	3.2.3 雕刻加工	41
1.7.1 模具的结构	6	3.3 精密加工	43
1.7.2 模具零件的分类	7	3.3.1 坐标镗床加工	43
1.7.3 模具零件表面的组成	8	3.3.2 坐标磨床加工	49
1.7.4 模具零件毛坯的选择	8	3.3.3 成形磨削	53
1.8 外圆柱面、孔、平面的常规加工	8	3.4 光整加工	60
1.8.1 模具零件外圆柱面的加工方案	8	3.4.1 研磨与抛光的机理	60
1.8.2 模具零件孔的加工方案	9	3.4.2 研磨与抛光的分类	60
1.8.3 模具零件平面的加工方案	9	3.4.3 手工研磨、抛光	60
思考题	10	3.4.4 挤压研磨抛光	64
第2章 模具制造工艺规程	11	3.4.5 其他光整加工	66
2.1 基本概念	11	思考题	67
2.1.1 模具的生产过程和工艺过程	11	第4章 模具数控加工	68
2.1.2 模具的机械加工工艺过程	11	4.1 数控加工原理及特点	68
2.1.3 模具的生产类型	13	4.1.1 数控机床的基本概念	68
2.1.4 制定模具工艺规程的原则和 步骤	13	4.1.2 模具数控加工工艺的特点	70
2.2 工件的安装和基准选择	16	4.1.3 模具数控加工工艺设计	71
2.2.1 基准的概念	16	4.1.4 数控机床、刀具和夹具的选择与 使用	75
2.2.2 工件的安装方式	17	4.1.5 走刀路线与加工参数	79
2.2.3 定位基准的选择	19		

4.1.6 数控加工工艺文件	81	6.3.4 电铸成形	193
4.2 数控机床加工	82	6.3.5 化学加工	195
4.2.1 数控加工的程序编制	82	6.4 超声波加工与激光加工	197
4.2.2 数控铣床的加工和程序编制	84	6.4.1 超声波加工	197
4.3 加工中心	85	6.4.2 激光加工	201
4.3.1 加工中心的功能及特点	85	思考题	203
4.3.2 加工中心的组成、分类及结构特点	87	第7章 典型模具零件加工工艺	205
4.3.3 计算机数控系统原理	91	7.1 冷冲模零件加工工艺	205
4.3.4 加工中心的发展	94	7.1.1 冷冲模模架的加工	205
思考题	96	7.1.2 凸模和凹模的加工	209
第5章 模具的机械加工质量	97	7.2 塑料模零件加工工艺	222
5.1 模具机械加工精度	97	7.2.1 塑料模模架的加工	222
5.1.1 概述	97	7.2.2 塑料模型腔的加工	224
5.1.2 工艺系统的几何误差	98	7.2.3 型腔的抛光	230
5.1.3 工艺系统的受力变形	102	7.2.4 其他结构零件的加工	232
5.1.4 工艺系统的热变形	109	思考题	235
5.1.5 提高加工精度的工艺措施	111	第8章 典型模具装配工艺	236
5.1.6 加工误差的统计分析法	112	8.1 模具装配方法	236
5.2 机械加工表面质量	116	8.1.1 装配概念	236
5.2.1 加工表面质量的概念	116	8.1.2 装配基本方法	236
5.2.2 影响加工表面粗糙度的工艺因素及其控制措施	118	8.1.3 装配工作的基本内容	239
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	119	8.2 冷冲模的装配工艺	239
5.2.4 机械加工中的振动	123	8.2.1 冷冲模装配的技术要求	239
思考题	126	8.2.2 冷冲模的装配	240
第6章 模具的特种加工	127	8.2.3 粘接技术在模具装配中的应用	251
6.1 电火花成形加工	127	8.3 塑料模的装配工艺	255
6.1.1 电火花加工的基本原理及特点	127	8.3.1 塑料模装配的技术要求	255
6.1.2 电火花成形加工的基本规律	130	8.3.2 塑料模装配顺序和主要内容	255
6.1.3 电火花成形加工机床及附件	137	8.3.3 塑料模其他配合零件的装配	262
6.1.4 模具电火花穿孔加工	148	8.3.4 塑料模的总装配与试模	265
6.1.5 型腔模电火花成形加工	153	思考题	269
6.2 电火花线切割加工	160	第9章 现代模具先进制造技术	270
6.2.1 电火花线切割加工的基本原理及特点	160	9.1 快速成形及快速模具制造技术	270
6.2.2 电火花线切割加工机床	161	9.1.1 快速成形技术概述	270
6.2.3 电火花线切割控制系统和编程要点	165	9.1.2 快速成形技术的主要工艺方法	271
6.2.4 电火花线切割加工工艺	172	9.1.3 快速成形技术的应用与发展	275
6.3 电化学加工	175	9.1.4 基于 RP 的快速制模技术	276
6.3.1 电化学加工的基本原理	175	9.2 高速切削技术	283
6.3.2 电解加工	178	9.2.1 高速切削概述	283
6.3.3 电解磨削	190	9.2.2 模具的高速铣削	284
		9.3 模具的 CAPP/CAM	286
		9.3.1 计算机辅助工艺设计 (CAPP)	286
		9.3.2 机械产品的 CAD/CAM 技术	290
		9.4 机械制造系统的自动化技术	293
		9.4.1 概述	293

9.4.2 柔性制造系统	294	9.5.2 逆向工程数据采集与处理	297
9.4.3 计算机集成制造系统	295	9.5.3 逆向工程在模具制造中的应用 ...	301
9.5 逆向工程技术	296	思考题	302
9.5.1 逆向工程概念	296	参考文献	303

第1章 模具制造概述

模具是机械工业的重要工艺装备，是制造各种金属和非金属零件的一种重要生产工具，它对零部件的制造质量和成本有着决定性的作用。

1.1 现代模具工业的发展

随着我国工业生产的不断发展，给模具工业带来广阔前景的同时也带来了新的挑战。根据现代工业发展的趋势，工业产品的特征表现为：大型产品和小型化多功能性产品的结构越来越复杂；表面质量和加工精度的要求越来越高；高速、高温、高摩擦及腐蚀性工作环境的产品对高性能材料的需求越来越多，尤其是高性能工程材料的使用越来越广泛，因此工业产品的制作对模具的需求量更大、种类更多、性能和精度更高、结构和工作条件更复杂、寿命要求更长。目前我国模具工业发展的总趋势主要包括发展精密、高效、长寿命模具及发展高效、精密、数控自动化加工设备，提高模具制造水平以及大量发展多工位、多型腔的模具等。

模具经过设计最终成型依靠的是机械加工技术，因此提高模具制造水平是获得高质量模具的保证。近年来，我国模具制造技术在不断发展，模具的加工手段从一般的机械加工、精密加工发展到数控机床加工的广泛应用。模具计算机辅助设计和制造（CAD/CAM）已越来越深入模具现代化加工技术的应用和发展。现代模具加工技术的主要特点表现为：模具精度的保证从主要依靠钳工技巧，发展到更多依靠精密加工机床、各种数控机床和加工中心及各种特种加工技术的应用。

1.2 模具设计与加工的关系

模具设计和加工是模具制造的两个不可分割的领域，只有将两个领域妥善协调，才能制造出接近理想状态的模具。设计领域主要包括从模具的构思设计到制图的过程；加工领域包括从零部件粗加工到精加工、装配及试模、结束的过程。

从模具设计方面考虑，有很多内容与加工方面的信息有关，如果对加工没有作充分了解，设计出的模具就不能有满足其使用性能的充分把握。而模具加工是设计构思的具体实现，如果对模具及模具各零部件的功能没有充分地理解，也难以加工出高质量低成本的模具。人们一般的观点总是把模具制造技术的设计问题放在前面，将加工放在后面，而实际上应该在加工的基础上进行设计，才能获得最佳效果。

1.3 优质模具应满足的要求

在制造模具时，人们都希望能够制造出优质模具。要制造优质模具，最重要的是从模具的功能来决定模具的特性，而不是从模具的外部特征来决定模具的特性。只要能满足功能的要求，外部形状的选择可以是任意的。但是，要确定最佳形状，则应取决于制造和使用是否

方便。因此评价一副优质模具除应保证其高精度的制造外，还应满足以下各项要求。

(1) 安装简便 把模具安装在机床上的方法简便，容易获得精确定位，调整工作量少。

(2) 生产性能好 遵从通常的使用习惯，操作性能好，易于掌握，生产率高。

(3) 加工过程无故障 无取出制件不方便、注射差错、螺钉松动及模具零件破损等故障。

(4) 可靠性高、使用寿命长 在整个使用寿命中，型腔尺寸和形状的变化极小，可放心地进行生产。

(5) 按期交货 在规定的日期内将模具制造完毕并符合质量要求。

(6) 模具成本低 模具成本与模具结构的复杂程度、模具材料、制造精度要求及加工方法有关。计算模具成本公式如下：

模具成本 = (模具制造费 + 维修保养费) / 制件总生产数

对大批量生产用的模具，必须达到寿命长及维修保养费用低的要求，才能获得低成本。

1.4 模具制造的特点

模具制造虽然属于机械制造的范畴，但由于模具的特性及生产性质使得模具零件在传统的机械加工中有一定的难度。模具制造与一般机械制造相比难加工的主要因素在于：

(1) 模具材料的硬度较高 模具属于一种成型加工工具，所以对模具材料的硬度要求比制件硬度高，例如，冷冲压模具的成形零件一般多采用淬火工具钢或硬质合金等材料制成，因此用传统的切削加工方法制造比较困难。

(2) 模具加工质量要求高 模具的加工质量主要包括模具零件的尺寸精度、形状精度、位置精度（统称加工精度）、表面粗糙度等。

模具的加工精度是由制件和模具结构的要求决定的，一般模具工作部分的精度比制件精度高 2~4 个等级，制造公差控制在 $\pm 0.01\text{mm}$ 以内，有的甚至要求在微米级范围内；模具加工后的表面不允许有任何缺陷，工作表面的粗糙度值 R_a 小于 $0.8\mu\text{m}$ 。

(3) 形状结构复杂 模具工作部分的形状大部分是二维、三维的复杂曲面，尤其是异形型腔。而一般的切削加工适合于加工简单的几何形状，因此用于加工复杂曲面时，加工难度增加，精度也不易保证。

(4) 单件生产 通常生产某一种制件只需要 1~2 副模具，即使是锤锻模也属小批量生产，所以模具一般都是单件生产，多采用传统方法加工，生产周期较长，设备工具投入成本较高。

1.5 模具制造的工艺路线

模具制造的基本工艺路线如图 1-1 所示。首先进行分析估算，然后进行模具设计、零件

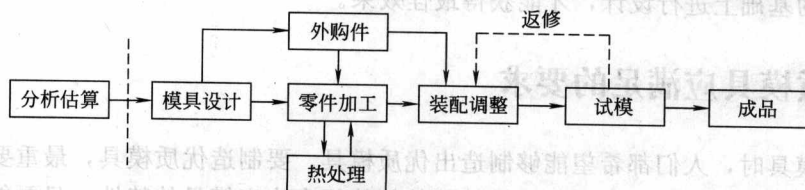


图 1-1 模具制造的基本工艺路线

加工、装配调整、试模，直到生产出符合要求的制品。

1.5.1 分析估算

根据制品零件图样或实物分析确定将采用模具的套数、模具结构及主要加工方法，然后进行估算。估算的内容包括：

(1) 模具费用 包括材料费、外购零件费、设计费、加工费、装配调整和试模费等，以及各种加工方法所用的工具和加工费用等。

(2) 交货日期 估算完成每项工作的时间，确定交货日期。

(3) 模具总寿命 估算模具的单个寿命和经多次简单修复后使用的总寿命。

(4) 制品材料 制品规定使用的材料性能、尺寸大小、消耗量、材料利用率等。

(5) 所用设备 了解应用模具的设备性能、规格及附属设备等。

在进行模具估算时，只注意模具费用及交货日期是不够的，还应对模具制造和试模过程中可能出现的问题以及制成后使用情况的了解和估算。

分析估算在模具制造中是很重要的环节，决定着模具的加工质量及经济效益。在模具设计之前经过对模具分析估算，确定出模具合理的价格是模具制造者和使用者获得最佳经济利益的保障，是模具制造者应具备的技术水平。关于模具价格估算有专门的教材介绍。

1.5.2 模具设计

在进行模具设计时，首先要尽量多收集信息并认真研究，再进行模具设计，这样才能保证设计出的模具不仅功能优良、精度高，而且符合其使用要求。

模具设计前应收集的信息主要包括如下方面。

(1) 来自营业方面的信息 包括产量、产品单价、模具价格、交货日期、被加工材料的性质和供应方法、将来的市场变化等。

(2) 被加工制品的信息 包括制品的质量要求、用途以及设计修正、改变形状和公差的可能性。

(3) 生产部门的信息 包括模具的设备性能、规格、操作方法和技术条件。

(4) 模具制造部门的信息 包括加工设备及技术水平。

(5) 标准件及其他外购件的供应情况等。

1.5.3 模具制图

模具设计方案及其结构已经确定后，就可以进行模具装配图和零件图的绘制。

1.5.3.1 装配图的表示方法和内容

(1) 装配图视图的表示方法

① 主视图画成上、下模或定、动模对合状态（下止位置），俯视图只画下模或动模。

② 主视图画成上、下模或定、动模对合状态，俯视图画出上、下模或动、定模各一半。

③ 绘制对合状态的主视图后再分别画出下模或动模的俯视图，上模或定模的仰视图。

应用时可根据模具结构的需要选择其中一种。对于结构复杂的模具，如果需要还可以加画左视图。装配图绘制原则是要求表达清楚模具零件间的装配关系和模具零件的工作关系。

(2) 装配图包含内容

装配图除用视图表示模具的结构及装配关系外，还应包括以下内容。

① 标注尺寸：视图上应标注模具长、宽、高三个方向的最大尺寸；有配合要求零件的装配尺寸；对外有连接关系的尺寸。

② 技术要求：在装配图上应提出与装配过程和模具使用有关的技术要求。

③ 装配图上还应表示模具上每一种零件的序号和填写与序号对应的明细表和标题栏。

④ 在装配图空余的位置绘制制件图。若装配图无空余处，制件图则以单独零件图绘制。

1.5.3.2 零件图包含的内容

① 根据装配图绘制零件图，使其满足各种配合关系。

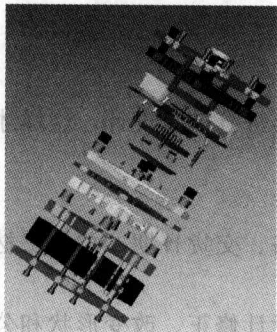
② 在零件视图上按规定注明尺寸、尺寸公差、形位公差及表面粗糙度等。

③ 有的在零件图上还要用文字写明技术条件，例如热处理工艺要求等。

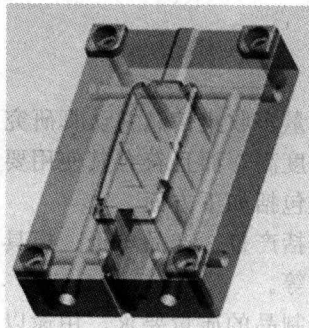
④ 标准件不必绘制零件图，例如连接螺钉、销钉等可不绘制零件图。

1.5.3.3 模具的三维图

模具结构比较复杂时，为了更清楚直观地表达模具的结构，可以采用计算机三维绘图软件（Pro/E、UG 等）绘制出三维装配图和零件图（图 1-2）。目前，由于三维绘图软件功能的强大，在实际生产中，可以用三维视图直接转化为二维工程图，甚至通过三维零件图可以直接与数控机床接口进行模具零件的加工。



(a) 装配爆炸图



(b) 成形零件图

图 1-2 模具的三维图

1.5.4 零件加工

模具的每个需要加工的零件，都要先按照零件图的要求制定加工工艺并填写工艺卡，再准备零件的毛坯，然后分别对毛坯进行粗加工、半精加工、热处理、精加工及精修抛光等。

1.5.5 装配调整

装配就是把加工好的零件组合在一起构成一副完整的模具。模具的装配与一般机器的装配不同，一般机器的装配是把零件加工合格后，再将各零件紧固连接组装在一起，最后加工定位销孔并打入定位销钉。而在模具的装配调整过程中，为了保证有些零件间的配合或位置精度，需进行一定的人工整修或机加工，可谓“边装配边加工”的装配过程。这样的装配方式利于提高模具的精度，是模具装配的重要特点。

1.5.6 试模

装配调整好的模具，还需要安装在机器设备上（如冲床、注塑机等）进行试模。检查模具在运行过程中是否正常，制件形状尺寸是否符合要求。如发现制件不合格则需对模具拆卸进行修整，重装后再次试模，直到运行完全正常，加工出的制件符合要求为止。试模环节也

是模具制造工艺的特点之一。

1.6 模具的主要加工方法

1.6.1 机械加工

机械加工包括：一般机械加工（即传统的切削与磨削加工）、仿形加工、精密加工、数控机床加工等。

机械加工的特点是加工精度高、生产效率高，而且用相同的机床和工具可以加工出各种形状和尺寸的工件。在模具制造中机械加工是模具零件不可缺少的加工手段。

但是，用机械加工方法加工复杂形状的零件效率较低、硬度高的材料难于加工、高精度零件加工工序复杂。在模具制造中，这些都是机械加工需要解决的技术问题。

1.6.2 特种加工

特种加工是指切削加工以外的一些新的加工方法，也称为非传统加工方法。特种加工与传统的机械加工方法不同，它不需要用比工件更硬的工具，也不需要加工过程中施加明显的机械力，而是直接利用电能、化学能、声能、光能等机械能以外的其他能量为主来除去工件上的多余部分，以达到一定的形状、尺寸和表面粗糙度的要求。特种加工的方法很多，用于模具加工的主要方法有：电火花成形加工、电火花线切割加工、电解加工、电解抛光、电解除屑、电铸、超声加工、激光加工等。

特种加工的特点如下：

- ① 加工情况与工件的硬度无关，可以实现以柔克刚；
- ② 工具与工件一般不接触，加工过程不必施加明显的机械力；
- ③ 可通过简单的进给运动加工各种复杂形状的零件；
- ④ 易于实现加工过程自动化。

特种加工的这些特点，解决了机械加工所面临的一些加工难题。所以特种加工在模具制造中得到越来越广泛的应用，并成为模具加工中的一种重要方法。

1.6.3 塑性加工

塑性加工主要是冷挤压模法。冷挤压是在油压机的高压下，将淬硬的挤压冲头缓慢地挤入具有一定塑性的坯料中，使坯料上获得与冲头形状相同、凸凹相反的型腔。冷挤压法是一种无屑加工的方法，其加工原理属于压力加工成形。

型腔冷挤压的特点：制模速度快、型腔或型面不需再加工、型面形状复杂且精确，适用于塑性好的模坯材料。

1.6.4 铸造

对于精度和使用寿命要求不高的模具可采用铸造法成型，简单、方便、快速。

铸造法适用的模具材料有三种。

(1) 铸铁 用于大件不规则形状的模具，例如汽车外壳。铸铁模具在制造上的优点是，可以很容易铸出复杂的形状，尺寸不受限制，便于机械加工，而且价格低，润滑性好，缺点是精度较差。

(2) 锌基合金 用于试制和小批量生产的场合，模具寿命较短。锌基合金是一种用铸造法制造简易模具的典型材料，其熔点低，可铸性好，铸造精度相对较高，具有与软钢相近的

强度、耐磨性和润滑性。用低熔点材料锌基合金铸造模具，也称快速制模法。其制模速度快，容易制成形状复杂的模具，但模具的材质较软，耐热性较差，不适合高熔点制件生产或大批量生产的场合。

为了提高快速制模的质量和使用寿命，也有用导热性和耐久性较好的铍铜合金代替锌基合金的，主要用于生产批量较大而又细微的复杂模具。

(3) 合成树脂 用于模具材料的合成树脂主要有酚醛树脂、聚酯树脂、环氧树脂。用合成树脂铸造模具的优点是容易快速制模，轻而无锈，复制和维修都比较简单。但耐磨性差，遇热变形大，且强度不高、易疲劳老化。可用于试制新产品的模具。

1.6.5 焊接

焊接法制模是把分散加工好的模块焊接在一起，获得型面较复杂的模具。这种制模方法与整体加工相比，加工简单、快速、省料、尺寸大小不受限制。但精度难以保证，易残留热应变及内部应力，承受冲击的能力差。主要用于精度要求不高的大型模具的制造，或用于模具的修复。

1.7 模具结构分析及零件分类

1.7.1 模具的结构

模具的种类很多，由于功能的相似性，组成模具的零件在不同的模具中往往具有相同的结构特征，以典型注塑模具和冲压模结构为例进行分析，从而找到模具零件的加工规律。

1.7.1.1 注塑模的基本结构组成

注塑模的基本结构根据使用功能分为成形零件、浇注系统、导向机构、顶出装置、侧向分型与抽芯机构、冷却加热系统和排气系统等。

① 成形零件是指构成模具型腔的零件，主要包括：凸模、凹模、型芯、成型杆、成型环及镶块等零件。

② 浇注系统是指模具中从注塑机喷嘴开始到型腔为止的塑料流动通道。普通浇注系统是由主流道、分流道、浇口、冷料穴等组成。

③ 导向机构在塑料模具中主要有定位、导向、承受一定侧压力的作用，保证动、定模合模准确。合模导向机构由导柱、导套或导向孔（直接开在模板上）、定位锥面等组成。

④ 顶出装置主要起将制件从模具中顶出的作用，由顶杆或顶管或推板、顶出板、顶杆固定板、复位杆及拉料杆等组成。

⑤ 侧向分型与抽芯机的作用是脱开侧向凸模或抽出侧向型芯，通常包括斜导柱、弯销、斜导槽、楔紧块、斜滑块、斜槽、齿轮齿条等零件。

⑥ 冷却加热系统的作用是调节模具工艺温度，由冷却系统（冷却水孔、冷却水槽、铜管）或加热系统组成。

⑦ 排气系统的作用是将型腔内的气体排除，主要由排气槽、配合间隙等组成。

图 1-3 是典型三板式注塑模示意图。

1.7.1.2 冲模的基本结构组成

图 1-4 是典型冲压模具示意图。

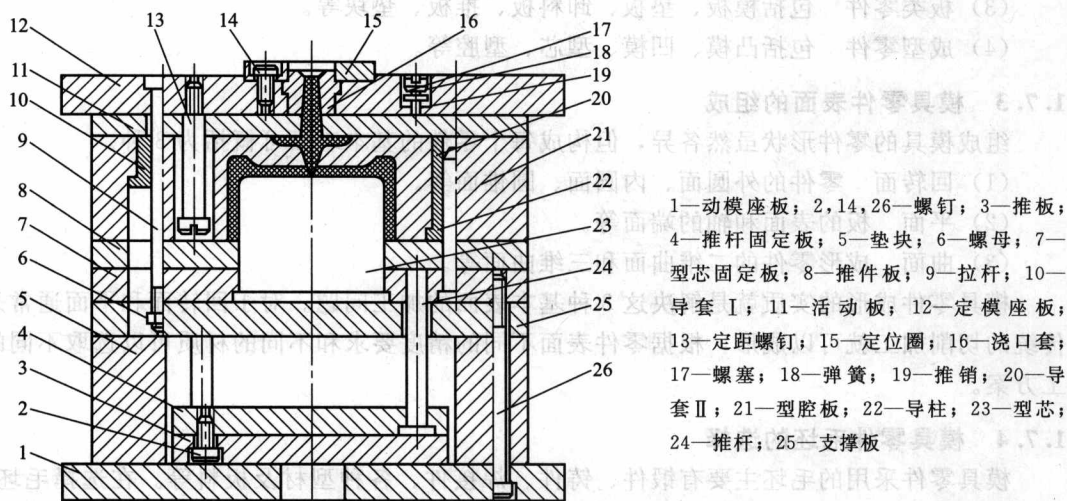


图 1-3 三板式注塑模示意图

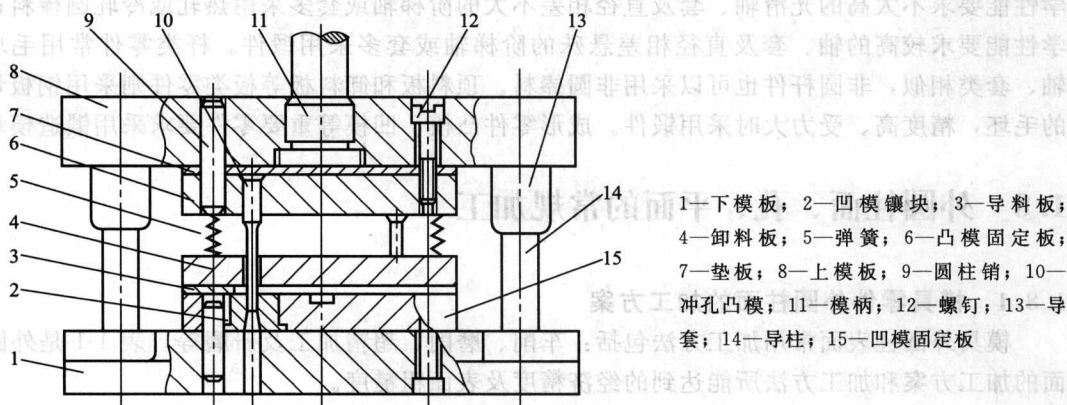


图 1-4 典型冲压模具结构示意图

冲模的基本结构可分为工艺类零件和辅助类零件。工艺类零件包括工作零件、定位零件、卸料和顶出零件等。辅助零件包括导向零件、支撑和夹持零件和紧固零件及其他零件。

- ① 工作零件主要由凸模、凹模、凸凹模和刃口镶块组成。
- ② 定位零件由定位销、挡料销、导正销、导料板和定距侧刃等组成。
- ③ 卸料和顶出零件由压料板、卸料板、顶出器、顶销和推板等组成。
- ④ 导向零件主要由导柱、导套、导板和导筒组成。
- ⑤ 支撑和夹持零件由上下模板、模柄、凸凹模固定板、垫板和限位器等组成。
- ⑥ 紧固零件及其他零件包括：螺钉、销钉、弹簧、起重柄和托架等组成。

1.7.2 模具零件的分类

组成模具结构的零件虽然很多，功能、形状及使用要求也不相同，但从结构的加工工艺特征分析，可以大致分成 4 大类。

- (1) 轴套类零件 包括模具中的导柱、导套、浇口套、模柄、定位圈等。
- (2) 杆类零件 包括顶杆、复位杆、推杆、拉料杆等。

- (3) 板类零件 包括模板、垫板、卸料板、推板、垫块等。
- (4) 成型零件 包括凸模、凹模、型芯、型腔等。

1.7.3 模具零件表面的组成

组成模具的零件形状虽然各异，但构成每个零件的基本表面可概括为 3 种。

- (1) 回转面 零件的外圆面、内圆面、圆锥面等。
- (2) 平面 板的表面和轴的端面等。
- (3) 曲面 成形零件的二维曲面和三维曲面等。

模具零件成形的实质就是解决这 3 种基本表面的加工问题。对于回转面和平面通常采用传统的切削加工就可以成形，根据零件表面不同的精度要求和不同的材质可以选取不同的加工方案。

1.7.4 模具零件毛坯的选择

模具零件采用的毛坯主要有锻件、铸件、焊接件、各种型材及板料等。在选择毛坯时，主要考虑的因素有：模具图纸的规定；模具零件的结构形状和几何尺寸；生产批量；模具零件的材料及对材料组织和力学性能的要求等。轴、套类零件常用的毛坯是圆棒料或锻件，力学性能要求不太高的光滑轴、套及直径相差不大的阶梯轴或套多采用热轧或冷轧圆棒料；力学性能要求较高的轴、套及直径相差悬殊的阶梯轴或套多采用锻件。杆类零件常用毛坯与轴、套类相似，非圆杆件也可以采用非圆棒料。顶料板和卸料板等板类零件则采用钢板切割的毛坯，精度高、受力大时采用锻件。成形零件凸模、凹模等重要零件要求采用锻造模坯。

1.8 外圆柱面、孔、平面的常规加工

1.8.1 模具零件外圆柱面的加工方案

模具外圆柱表面常用加工方法包括：车削、磨削、超精加工及研磨等。表 1-1 是外圆柱面的加工方案和加工方法所能达到的经济精度及表面粗糙度。

表 1-1 外圆柱面的加工方案及加工精度

序号	加工方案	经济精度 (公差等级表示)	经济粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	适用范围
1	粗车	IT11~13	12.5~50	适用于淬火钢以外的各种金属
2	粗车-半精车	IT8~10	3.2~6.3	
3	粗车-半精车-精车	IT7~8	0.8~1.6	
4	粗车-半精车-精车-滚压(或抛光)	IT7~8	0.025~0.2	
5	粗车-半精车-磨削	IT7~8	0.4~0.8	主要用于淬火钢,也可用于未淬火钢,但不宜加工有色金属
6	粗车-半精车-粗磨-精磨	IT6~7	0.1~0.4	
7	粗车-半精车-粗磨-精磨-超精加工(或轮式超精磨)	IT5	0.012~0.1 (或 $R_a 0.1$)	
8	粗车-半精车-精车-精细车(金刚车)	IT6~7	0.025~0.4	主要用于要求较高的有色金属加工
9	粗车-半精车-粗磨-精磨-超精磨(或镜面磨)	IT5 以上	0.006~0.025 (或 $R_a 0.05$)	极高精度的外圆加工
10	粗车-半精车-粗磨-精磨-研磨	IT5 以上	0.006~0.1 (或 $R_a 0.05$)	

1.8.2 模具零件孔的加工方案

模具零件上孔的加工方法包括：钻孔、扩孔、铰孔、镗孔、磨孔、珩磨孔及研磨孔。表 1-2 是孔的加工方案和加工方法所能达到的经济精度及表面粗糙度。

表 1-2 孔的加工方案及加工精度

序号	加工方案	经济精度 (公差等级表示)	经济粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	适用范围
1	钻	IT11~13	12.5	加工未淬火钢及铸铁的实心毛坯,也可用于加工有色金属。孔径小于 15~20mm
2	钻-铰	IT8~10	1.6~6.3	
3	钻-粗铰-精铰	IT7~8	0.8~1.6	
4	钻-扩	IT10~11	6.3~12.5	加工未淬火钢及铸铁的实心毛坯,也可用于加工有色金属。孔径大于 15~20mm
5	钻-扩-铰	IT8~9	1.6~3.2	
6	钻-扩-粗铰-精铰	IT7	0.8~1.6	
7	钻-扩-机铰-手铰	IT6~7	0.2~0.4	
8	粗镗(或扩孔)	IT11~13	6.3~12.5	除淬火钢外各种材料,毛坯有铸出孔或锻出孔
9	粗镗(粗扩)-半精镗(精扩)	IT9~10	1.6~3.2	
10	粗镗(粗扩)-半精镗(精扩)-精镗(铰)	IT7~8	0.8~1.6	
11	粗镗(粗扩)-半精镗(精扩)-精镗-浮动镗刀精镗	IT6~7	0.4~0.8	
12	粗镗(扩)-半精镗-磨孔	IT7~8	0.2~0.8	主要用于淬火钢,也可用于未淬火钢,但不宜用于有色金属
13	粗镗(扩)-半精镗-粗磨-精磨	IT6~7	0.1~0.2	
14	粗镗-半精镗-精镗-精细镗(金刚镗)	IT6~7	0.05~0.4	主要用于精度要求高的有色金属加工
15	钻-(扩)-粗铰-精铰-珩磨;钻-(扩)-拉-珩磨;粗镗-半精镗-精镗-珩磨	IT6~7	0.025~0.2	精度要求很高的孔
16	以研磨代替上述方法中的珩磨	IT5~6	0.006~0.1	

1.8.3 模具零件平面的加工方案

模具零件上平面的加工方法包括：车削、刨削、铣削、磨削、研磨。表 1-3 是平面的加工方案和加工方法所能达到的经济精度及表面粗糙度。

根据表 1-1、表 1-2、表 1-3 中所示各种不同加工方案的选择,可以解决模具零件上的所有不同尺寸、不同精度的外圆柱面、内孔及平面的加工。所有模具零件都不是由一种表面组成的,而是由几种不同表面组成,例如,导柱是由外圆柱面和端平面组成;模板除具有 6 个平面外,还具有各种不同精度的内孔。

因此在加工模具零件表面时,不仅要考虑每一种表面的加工方案,还要考虑各种表面的加工的先后顺序,使其能够尽可能高效率、低成本地达到零件的技术要求。另外,由于各零件外形结构的不同,还要考虑定位装夹的问题,并根据其定位装夹的特点选择合适的加工方法与设备。模具零件的加工需要经过制定合理的模具制造工艺规程。模具的成形表面由于形状的多样性和复杂性,其加工方法将在后面章节重点介绍。

表 1-3 平面的加工方案及加工精度

序号	加工方案	经济精度 (公差等级表示)	经济粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	适用范围
1	粗车	IT11~13	12.5~50	端面
2	粗车-半精车	IT8~10	3.2~6.3	
3	粗车-半精车-精车	IT7~8	0.8~1.6	
4	粗车-半精车-磨削	IT6~8	0.2~0.8	
5	粗刨(或粗铣)	IT11~13	6.3~25	一般不淬硬平面(端铣表面粗糙度 R_a 值较小)
6	粗刨(或粗铣)-精刨(或精铣)	IT8~10	1.6~6.3	
7	粗刨(或粗铣)-精刨(或精铣)-刮研	IT6~7	0.1~0.8	精度要求较高的不淬硬平面,批量较大时宜采用宽刃精刨方案
8	以宽刃精刨代替上述刮研	IT7	0.2~0.8	
9	粗刨(或粗铣)-精刨(或精铣)-磨削	IT7	0.2~0.8	精度要求高的淬硬平面或不淬硬平面
10	粗刨(或粗铣)-精刨(或精铣)-粗磨-精磨	IT6~7	0.025~0.4	
11	粗铣-精铣-磨削-研磨	IT5 以上	0.006~0.1 (或 $R_z(0.05)$)	高精度平面

思考题

1. 模具工业发展趋势与现代工业产品特征有何关系?
2. 优质模具应满足哪些要求?
3. 模具制造的工艺路线是什么?
4. 模具制造有什么特点?
5. 模具零件的毛坯种类有哪些?如何选择?
6. 模具零件各表面的切削加工为什么都要从粗加工开始?