

普通高等教育国家级“十一五”规划教材

现代模具制造

徐长寿 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书以模具制造工艺过程为主线,从生产实际出发,将目前模具制造涉及的常规制造工艺和特种加工方法有机地结合起来,在内容上力求创新,常规机械加工从简,数控加工、精密加工、特种加工等新技术加大篇幅,以适应高等院校专业教学改革的需要。

本书可作为高等院校模具设计与制造、数控等机械类专业教材使用,也可供机械制造、材料成型等专业的学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代模具制造/徐长寿主编. —北京:化学工业出版社, 2007.4
普通高等教育国家级“十一五”规划教材
ISBN 978-7-122-00126-9

I. 现… II. 徐… III. 模具-制造工艺-高等学校-教材 IV. TG760.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 036657 号

责任编辑:杨 菁
责任校对:顾淑云

文字编辑:徐雪华
装帧设计:张 辉

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:三河市延风装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张15 $\frac{3}{4}$ 字数425千字 2007年5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:28.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着我国成为世界制造业基地，近年来模具工业突飞猛进，成为我国工业现代化的前沿领域。工业生产对模具提出了更高的要求，从而带动以计算机为代表的高新技术不断应用于模具制造。模具制造技术在模具行业中占有举足轻重的地位，直接决定着模具行业发展水平。模具专业的学生及各类技术人员急需一本介绍现代模具制造技术的专业书籍。根据社会对模具人才的要求和多年来的教学实践，编写了《现代模具制造》这本书。

本书根据高等教育的特点，结合模具设计与制造专业的培养目标，在编写中力求内容全面，反映国内外较成熟的制造方法，同时增加部分先进技术内容，使学生了解我国模具行业的技术水平和基本的模具制造技术，为合理设计模具结构以及正确选择模具制造方法打下必要的基础。

在编写时，我们对传统的教材结构进行了调整，取材有详有略，突出理论与实践相结合。受篇幅和教学时数限制，着重以目前应用最广泛的冷冲模、塑料模、压铸模的制造技术为主，兼顾其他类型模具。

本书由徐长寿任主编，罗晋平、宁海霞任副主编，汪红兵、刘美娟、朱学超参与了本书的编写。全书分9章，内容包括模具材料及热处理、数控加工技术、光整加工、特种加工、模具CAM、模具装配、典型模具零件加工以及模具制造实训。具体分工是：罗晋平编写第2章；宁海霞编写第5章、第7章；汪红兵编写第4章、第8章、第9章；刘美娟编写第1章、第6章；朱学超编写第3章。全书由徐长寿统稿，由张红兵主审。

限于编者水平，错误之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编者

2006年12月于苏州

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 模具工业在国民经济中的作用	1
1.2 模具制造技术的发展趋势	1
1.2.1 模具制造的基本要求	1
1.2.2 现代模具制造技术的特点	2
1.2.3 模具制造技术的发展趋势	3
1.3 模具加工技术	5
1.3.1 模具加工程序	5
1.3.2 模具加工方法的分类	6
1.3.3 模具加工方法的新动向	6
第 2 章 模具材料及其热处理	8
2.1 概述	8
2.1.1 模具用钢	8
2.1.2 其他模具材料	9
2.1.3 模具常用热处理工艺	9
2.2 冷作模具钢及其热处理	10
2.2.1 碳素工具钢的热处理	11
2.2.2 低合金冷作模具钢的热处理	11
2.2.3 高合金冷作模具钢的热处理	12
2.2.4 火焰淬火型冷作模具钢的热处理	12
2.3 热作模具钢的热处理	13
2.3.1 较高韧性热作模具钢的热处理	13
2.3.2 高热强性热作模具钢的热处理	14
2.3.3 高耐磨性热作模具钢的热处理	14
2.4 塑料模具钢的热处理	15
2.4.1 预硬化型塑料模具钢的热处理	15
2.4.2 易切削预硬化型塑料模具钢的热处理	16
2.4.3 非合金中碳塑料模具钢的热处理	16
2.4.4 渗碳型塑料模具钢的热处理	16
2.4.5 时效硬化型塑料模具钢的热处理	16
2.4.6 耐腐蚀型塑料模具钢的热处理	17
2.5 其他模具材料的热处理	17
2.5.1 模具用铸铁的热处理	17
2.5.2 模具用铸钢的热处理	17
2.5.3 钢结硬质合金的热处理	18
思考题	18
第 3 章 数控加工技术	19
3.1 数控加工概述	19
3.1.1 数控加工技术的发展及其特点	19
3.1.2 数控加工技术在模具制造中的应用	20
3.2 数控车削	21

3.2.1	概述	21
3.2.2	编程实例	22
3.3	数控铣削	24
3.3.1	概述	24
3.3.2	数控铣削的主要加工对象	25
3.3.3	夹具和刀具	25
3.3.4	数控铣削的工艺分析	27
3.3.5	编程实例	27
3.4	高速铣加工	29
3.4.1	高速切削原理及特点	29
3.4.2	高速切削的工业应用	30
3.4.3	高速铣削的工艺特点及在模具制造中的应用	31
3.5	数控磨削	38
3.6	数控电火花成型	40
3.6.1	电火花加工的基本原理及其分类	40
3.6.2	电火花加工的机理	42
3.6.3	电火花加工机床	46
3.6.4	电火花穿孔成型加工	47
3.7	数控电火花线切割	56
3.7.1	电火花线切割加工原理、特点及应用范围	56
3.7.2	电火花线切割加工设备	58
3.7.3	电火花线切割控制系统和编程技术	62
3.7.4	线切割加工工艺及其扩展应用	66
第4章	CAM 技术	70
4.1	概述	70
4.1.1	CAM 基本概念	70
4.1.2	CAM 编程的基本实现过程	71
4.1.3	CAD/CAM 软件数控编程功能分析及软件简介	72
4.1.4	CAD/CAM 的硬件	74
4.2	CAM 编程基础及加工工艺	75
4.2.1	数控编程基础	76
4.2.2	CAM 数控加工工艺	77
4.2.3	CAM 自动编程的参数设置	79
4.3	CAM 实例	90
4.3.1	加工术语和定义	90
4.3.2	CAM 入门实例	91
4.3.3	综合加工实例	94
	思考题	102
第5章	特种加工技术	103
5.1	电铸成型技术	103
5.1.1	电铸原理和特点	103
5.1.2	电铸设备	104
5.1.3	电铸工艺流程	104
5.1.4	电铸加工应用实例	106
5.2	快速成型技术	107
5.2.1	快速成型技术基本原理及其特点	107
5.2.2	快速成型技术的典型方法	108

5.2.3 基于快速成型技术的快速模具制造技术	110
思考题	114
第6章 模具表面处理技术	115
6.1 研磨抛光	115
6.1.1 研磨抛光的作用	115
6.1.2 研磨抛光的机理	115
6.1.3 研磨抛光的分类	117
6.1.4 研磨抛光的加工因素	117
6.2 手工研磨抛光	118
6.2.1 研磨抛光剂	118
6.2.2 研磨抛光工艺	120
6.3 电化学抛光	122
6.3.1 电化学抛光基本原理及特点	122
6.3.2 影响电化学抛光质量的因素	123
6.3.3 抛光方式	123
6.3.4 电化学抛光工艺过程	125
6.4 超声波抛光	126
6.4.1 超声波抛光基本原理及特点	126
6.4.2 超声波抛光机	127
6.4.3 超声波抛光工艺	128
6.4.4 超声波抛光效率及其影响因素	129
6.5 挤压研磨抛光	130
6.5.1 挤压研磨抛光基本原理及工艺特点	130
6.5.2 弹黏性研磨抛光剂	131
6.5.3 挤压研磨抛光机和夹具	131
6.5.4 挤压研磨抛光工艺参数和工艺规律	132
6.6 其他表面处理	133
6.6.1 弹性体蠕动抛光法	133
6.6.2 磁力抛光法	134
6.6.3 喷丸抛光法	134
6.6.4 程序控制抛光法	136
思考题	137
第7章 模具的装配和检验	138
7.1 模具装配概述	138
7.1.1 模具装配工艺过程	138
7.1.2 模具装配精度和装配方法	139
7.1.3 模具装配的技术要求	139
7.2 冲压模具的装配	140
7.2.1 冲压模具装配过程与技术要求	140
7.2.2 冲模零件的固定方法	141
7.2.3 凸凹模间隙的调整	144
7.2.4 冲压模具装配实例	145
7.3 塑料模具的装配	147
7.3.1 概述	147
7.3.2 组件装配	148
7.3.3 塑料模总装	150
7.3.4 塑料模装配实例	152

7.4 冲压模具的检验	154
7.4.1 模架的检测	154
7.4.2 凸、凹模的检测	155
7.4.3 最终检测	157
7.5 塑料模具的检验	158
7.5.1 塑料模具的质量标准	158
7.5.2 塑料模具检验方法	158
思考题	159
第8章 典型模具零件加工	160
8.1 凸模、型芯类零件	160
8.1.1 概述	160
8.1.2 型芯零件加工工艺分析	163
8.1.3 非圆形凸模加工工艺分析	164
8.1.4 冲裁凸凹模零件加工工艺分析	166
8.1.5 冷挤压凸模加工工艺分析	167
8.1.6 典型凸模的加工实例	170
8.2 型孔、型腔板类零件	171
8.2.1 概述	171
8.2.2 冲裁凹模加工工艺分析	173
8.2.3 冷挤压凹模加工工艺分析	175
8.2.4 塑料模型孔、型腔板加工工艺分析	178
8.2.5 复杂分型面镶块加工工艺分析	180
8.2.6 典型凹模的加工实例	182
8.3 石墨电极加工	185
8.3.1 电极材料及石墨	186
8.3.2 石墨电极的加工方法	186
思考题	187
第9章 模具制造综合实训	188
9.1 模具制造基本技能	188
9.1.1 划线	188
9.1.2 样板制作	192
9.2 冷冲模制造实训	194
9.2.1 冷冲压加工及其基本工序	194
9.2.2 冷冲模的基本类型及典型结构	195
9.2.3 冷冲模零部件的选用	203
9.2.4 冷冲模拆卸、测绘技能训练	211
9.3 塑料模制造实训	214
9.3.1 塑料模塑成型的方法及模具类型	214
9.3.2 塑料注射成型模具的类型及典型结构	215
9.3.3 塑料模零部件的选用	219
9.3.4 塑料模拆卸、测绘技能训练	227
9.4 综合技能训练	228
9.4.1 较复杂工件的制作	228
9.4.2 典型塑料注射模的制作	231
思考题	240
参考文献	242

第 1 章 绪 论

1.1 模具工业在国民经济中的作用

模具是工业生产的基础工艺装备。振兴和发展我国的模具工业，日益受到人们的重视和关注。在电子、汽车、电机、电器、仪器、仪表、家电和通讯等产品中，60%~80%的零部件都依靠模具成型。用模具生产的制件所表现出来的高精度、高复杂度、高一致性、高生产率和低消耗，是其他加工制造方法所不能比拟的。模具又是“效益放大器”，用模具生产的最终产品的价值，往往是模具自身价值的几十倍。模具生产技术水平的高低，已成为衡量一个国家产品制造水平高低的重要标志，在很大程度上决定着产品的质量、效益和新产品的开发能力。

模具工业地位之重要，还在于国民经济的支柱产业——机械、电子、汽车等工业需要大量的模具，特别是汽车大型覆盖件模具、电子产品的精密塑料模具和冲压模具，目前在质与量上都远不能满足这些支柱产业发展的需要。这几年，我国每年约进口 10 亿美元左右的模具。我国石化工业一年生产 500 多万吨聚乙烯、聚丙烯和其他合成树脂，很大一部分需要塑料模具成型，做成制品，才能用于生产和生活的消费。生产建筑业用的地砖、墙砖和卫生洁具，需要大量的陶瓷模具；生产塑料管件和塑钢门窗，也需要大量的塑料模具。

模具工业是高新技术产业的一部分，又是高新技术产业化的重要领域。用信息化技术带动和提升模具工业的制造技术水平，是推动模具工业技术进步的关键环节。CAD/CAE/CAM 技术在模具工业中的应用，快速原型制造技术的应用，使模具的设计制造水平发生了重大变革。模具的开发和制造水平的提高，还有赖于采用数控精密高效加工设备。逆向工程、并行工程、敏捷制造、虚拟技术等先进制造技术在模具工业中的作用，也要与电子信息等高新技术嫁接实现高新技术产业化。

1997 年以来，国家相继把模具及其加工技术和设备列入了《当前国家重点鼓励发展的产业、产品和技术目录》和《鼓励外商投资产业目录》。经国务院批准，从 1997 年到 2005 年，对全国部分重点专业模具厂实行增值税返还 70% 的优惠政策，以扶植模具工业的发展。

“十五”规划提出，要走新型工业化道路，要坚持以信息化带动工业化，以工业化促进信息化，要用高新技术和先进适用技术改造传统产业，大力振兴装备制造业。在贯彻“十五”规划和全面建设小康社会中，作为给制造业提供基础工艺装备的模具工业，肩负着重要的历史使命和光荣而艰巨的任务。

1.2 模具制造技术的发展趋势

1.2.1 模具制造的基本要求

在工业产品的生产中，应用模具的目的在于保证产品的质量，提高生产率和降低成本等。因此，除了正确进行模具设计，采用合理的模具结构外，还必须要有高质量的模具制造技术作为保证。制造模具时，不论采用哪一种方法都应满足如下几个要求。

(1) 精度高 为了生产合格的产品和发挥模具的效能，模具的设计和制造必须具有较高的精度。模具工作部分的精度通常要比制品精度高 2~4 级。模具结构则对上、下模之间的配合有较高的要求，组成模具的零部件都必须有足够的制造精度，否则模具将不可能生产出合格的

制品，甚至会导致模具无法正常工作。

(2) 寿命长 模具是比较昂贵的工艺设备，目前模具制造费用约占产品成本的 10%~30%，其使用寿命将直接影响生产成本。因此，除了小批量生产和新产品试制等特殊情况下，一般都要求模具有较长的使用寿命，在大批量生产的情况下，模具的使用寿命更加重要。

(3) 制造周期短 模具制造周期的长短主要决定于制造技术和生产管理水平的高低。为了满足生产的需要，提高产品的竞争能力，必须在保证质量的前提下尽量缩短模具制造周期。

(4) 成本低 模具成本与模具结构的复杂程度、模具材料、制造精度要求以及加工方法等有关。模具技术人员必须根据制品要求合理设计和制订其加工工艺，努力降低模具制造成本。

必须指出，上述四个指标是相互关联、相互影响的。片面追求模具精度和使用寿命必将导致制造成本的增加，只顾降低成本和缩短制造周期而忽略模具精度和使用寿命的做法也是不可取的。在设计和制造模具时，应根据实际情况进行全面考虑，即应在保证制品质量的前提下，选择与制品生产量相适应的模具结构和制造方法，使模具成本降低到最小。如果想提高模具制造的综合指标，就应该认真研究现代模具制造理论，积极采用先进制造技术，以满足现代工业发展的需要。

1.2.2 现代模具制造技术的特点

传统模具制造技术主要是根据设计图样，用仿型加工、成型磨削以及电火花加工方法来制造模具。近年来，随着计算机网络的高速发展，引发了一场通信技术革命，并构建了一个全球范围的虚拟环境，极大地缩短了人与人之间的距离。计算机技术、自动化技术、网络通信技术，这三者的有机结合给现代制造技术准备了技术条件和奠定了物质基础。

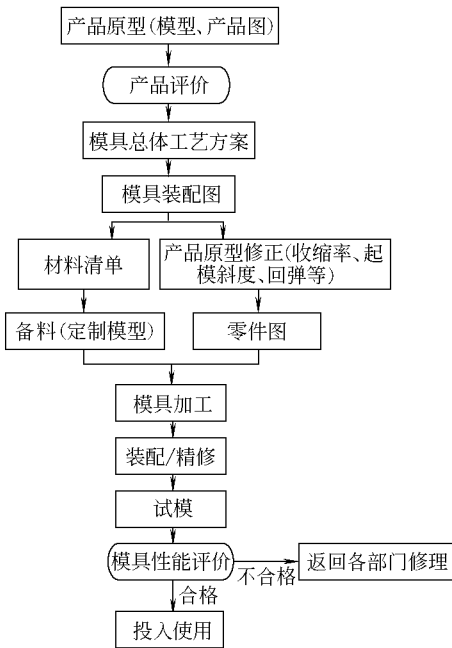


图 1-1 传统模具制造流程图

现代模具制造是伴随这些技术的发展而提出并得到了实质性应用。现代模具制造能够利用 CAD/CAM/CAE/CAPP 技术和数控加工技术有效地对整个设计制造过程进行预测评估，迅速获得样品，有利于争取订单、赢得客户，同时节省大量的模具试制材料费用，减少模具返修率，缩短生产周期，大大降低了模具成本。在此期间，人们还针对新的技术环境进行深入探讨研究，提出各种新的组织管理思想，如并行工程、精益生产、敏捷制造，甚至可以利用网络通信技术，在世界范围内组织最精良的动态联盟队伍来完成每个项目，快速解决各种难题。可见，高新技术的发展给模具业注入了新的生机，模具制造现代化正成为国际模具业发展的一种趋势。国内模具业也正从传统模具制造模式向着现代模具制造模式过渡。

传统模具制造技术与现代模具制造技术水平有很大的不同，为了便于比较，图 1-1、图 1-2 给出了传统模具制造和现代模具制造流程。从中可以归纳以下特点。

① 传统制模的质量依赖于人为因素，再现能力差，整体水平不易控制；现代制模的质量依赖于物化因素，再现能力强，整体水平容易控制。

② 传统制模采用串行方式进行，易造成设计与制造脱节，重复劳动多，加工周期长；现代制模则采用并行方式进行，设计和制造基于共同的数学模型，可以在模具总体工艺方案指导下通过公共数据库并行通信，相互协调，共享信息，重复劳动力少，加工周期短。

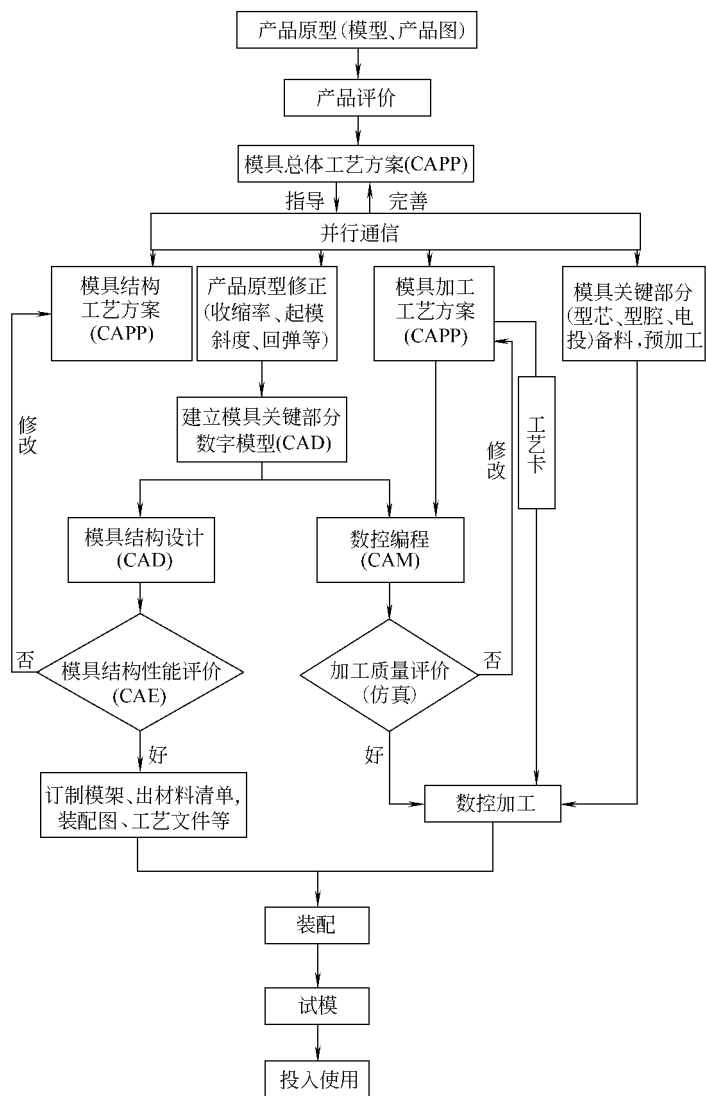


图 1-2 现代模具制造流程图

③ 传统制模只能通过试模来完成对模具质量的评价，返修多，成本高；现代制模则通过计算机数据模拟和仿真技术来完善模具结构，返修少，成本低。

正因为有了各种新的制造途径和手段，模具制造水平才得到了有效的提高。表 1-1 反映了传统模具制造与现代模具制造技术水平的差别。

1.2.3 模具制造技术的发展趋势

1.2.3.1 发展高效、精密、自动化技术

现代模具表面的加工向精密、自动化发展，成型表面的精加工向数控、数显和计算机控制等方向发展，使模具加工设备的 CNC 水平不断提高，使得计算机的设计过程有可能最终转化为现实。自动化技术是现代模具制造技术体现出实际意义的强有力的物质基础。按其能量转化形式不同可分为如下几种。

数控机械加工技术——数控车削技术、数控铣削技术、超高速切削技术等，这些技术一般都直接利用机械能来加工完成。

表 1-1 传统模具制造与现代模具制造的技术水平对比

项 目	分 类	传统模具制造	现代模具制造
精度/mm	冲模(定转子模)		
	尺寸精度	0.01~0.016	0.002~0.005
	步距精度	0.01~0.02	0.0023~0.005
	塑料模(电视机外壳)	0.05~0.1	0.005~0.01
	锻模	0.05~0.1	0.02~0.03
粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	冲模	1.6~0.8	0.4~0.2
	塑料模	0.8~0.4	0.1~0.05
	压铸模	0.4~0.2	0.1
	锻模	1.6~0.8	0.4
制造周期	汽车覆盖件模具	1 年左右	6~7 个月
	电视机外壳模具	7~8 个月	2~3 个月
	化油器压铸模	4~5 个月	2~3 个月
	伞齿轮锻模	3~4 个月	1~2 个月
使用寿命	定转子级进模(硬质合金)	3000~5000 万次	2~6 亿次
	电视机外壳塑料模	10~20 万件	60 万件以上
	化油器压铸模	5~10 万件	40 万件以上

数控电加工技术——数控电火花加工技术、数控线切割技术等，它们是利用电能来完成加工的。

数控特种加工技术——泛指新兴的、应用还不太广的各种数控加工技术，通常利用光能、超声波来完成加工。

1.2.3.2 发展模具高速切削技术

以高速铣削为代表的高速切削加工技术代表了模具零件外形表面粗加工发展的方向。高速铣削在主轴转速、进给速度、加速度和换刀速度方面都有很大提高，这样就大幅度提高了模具加工效率。高速切削加工与传统切削加工相比还具有温升降低、热变形小等优点。目前它已向更高的敏捷化、智能化、集成化方向发展。高速切削必须与相应的软件、加工工艺等相配合。高速铣削加工技术的发展，促进了模具加工技术的发展，特别是对汽车、家电行业中大型型腔模具制造注入了新的活力。

1.2.3.3 发展模具快速成型技术

快速成型制造技术（rapid prototyping, RP）是基于离散/堆积成型原理的新型数字化成型技术，它突破了传统的加工模式，不需机械加工设备即可快速地制造形状极为复杂的工件，属于非接触式加工，在加工速度和环境方面它都是无可挑剔的，是人们梦寐以求的加工模式。采用 RP 技术制模或 RP 技术与传统的铸造技术相结合，给企业带来了巨大的经济效益，它设计周期短，从模具的概念设计到制出模具所需的时间平均仅为传统加工方法的 1/3，而成本仅为传统制模成本的 1/4 左右。同时，采用 RP 技术，利用模具反求工程，还可以方便、快捷地研制出已有实物的复杂模具型腔，为模具改型设计开辟了一条新的途径。预测 21 世纪多品种、少批量生产方式将占工业生产的 75% 左右，开发和适应这种生产方式的模具技术越来越引起人们的重视，并已成为重要的发展方向。因此快速成型制模技术必将有极大的发展前途。

1.2.3.4 模具CAD/CAM 趋于快速化和智能化

由于数控技术的推广、普及，使得模具行业中 CAD/CAM 已呈现出三大发展趋势：混合模型、设计制造系统数据库管理、车间现场 3D 程序编制。

混合模型是在一个单独的几何实体模型中通过添加或减去某些是通体、表面及其他图形元素，形成新的几何实体模型。对于工程师来说，实体模型能使他设计的产品全部由相对标准化的实体元素构成，如标准的孔、凸台、套等。对于刀具设计师，在某些情况下，插入 3D 产品模型能够通过单次操作简单得从模具的型腔中减去。采用某些 CAM 系统，使用者可以将这些实体模型能够自如地分解，或把所有的实体进行加工，从而为成组技术、柔性制造、智能

化加工技术的实现提供可能。

数据库是模具设计、数控加工的“心脏”，在 CAM 中，它是一种高度自动化的专家系统，包含了近 10 余年的 CAM 专家经验，由资深的开发人员、机加工工具制造商以及大量的用户反馈共同完成。作为一种以丰富经验为基础的系统，该程序业为用户提供柔性的存储功能，以使用户添加自己的制造技术。数据库也是获得最佳表面质量的保证。程序编程重新转移到车间现场后，大多数刀具路线都是与加工工艺同步创造的，省去了 CAD 和 CAM 之间的反复修正过程，使生产部分获得了有效的 NC 程序，并能充分发挥生产线上工人和设备的作用，大大缩短 NC 编制时间。更重要的是，现在创造刀具轨迹的人就是执行加工的人，这也使得机械师获得了实施其加工方法的机会，有助于他们做出更好的现场管理决定，选择优化的加工方法，并及时地对加工方法进行修正。真正实现 CAD/CAPP/CAM 集成。

总之，模具制造业将随着相关行业（如计算机技术、电子技术、通讯技术、光学技术）的不断发展，在新的制造理念（如柔性制造、并行工程、敏捷制造、虚拟制造、智能制造等）的引导下，朝着低成本、高效率、高质量、环境安全舒适的方向发展。

1.2.3.5 发展新型模具材料

近期模具用钢开发应用的动向简介如下。

（1）发展易加工、抛光性好的材料 随着光盘、磁盘、棱镜等精密件的生产，对易加工镜面钢的要求增加。这种钢含非金属杂质少，金相组织细致均一，没有纤维方向性。它是塑料模钢材的主要发展方向。

（2）预硬钢 这种钢材由于以预硬处理状态供货，使模具制造周期大为缩短，也没有热处理变形的问题，应用较广。随着各种高耐磨钢材的开发和加工技术的发展，预硬钢的应用范围及数量有所减少，但在小批量生产及大型模具制造方面仍然有其优越性。

（3）耐蚀钢 模具在长期运转和保持过程中，容易生锈受蚀，而且近来随着塑料成型中添加各种成分，模具更容易受蚀。因此要求提高母材机体的耐腐蚀性能，开发了一些耐蚀不锈钢材。

（4）马氏体时效合金钢 这种钢材具有综合的力学性能和突出的工艺性能，特别是有较高的强度、韧度、耐磨性、低的热膨胀系数。因此具有高的缺口强度和断裂韧度，热应力低，抗黏结性强，热处理尺寸稳定，热机械疲劳寿命高，广泛用于压铸模。由于具有高的镜面抛光性能，马氏体时效合金钢也是制造注塑模的好钢材，但是价格贵。

（5）粉末高速钢 采用粉末冶金工艺，可以添加高于现有高速钢中含有量的合金元素，解决了原来高速钢熔炼过程中产生一次碳化物粗大的问题。由于碳化物变细，组织均匀，无方向性。因此具有耐磨、高韧度、长期使用尺寸稳定的特点。对于制造复杂冲压件及高速冲压的模具，优点更突出。

（6）硬质合金 主要用于制作寿命要求很高，制件生产批量大的模具。

1.3 模具加工技术

1.3.1 模具加工程序

模具加工的一般程序如框图 1-3 所示。

冲模由凸模、凹模、导向、顶出等部分组成，注塑模及压铸模由型腔部分的定模以及型芯部分的动模，还有导向、顶出、支承等部分组成。一副模具的零件多达 100 个以上。其中除了标准件可以外购，直接进行装配外，其他零件都要进行加工。

坯料准备是为各模具零件提供相应的坯料。其加工内容按原材料的类型不同而异。对于锻件或切割钢板要进行六面加工，除去表面黑皮，将外形尺寸加工到要求，磨削两平面及基准面，使坯料平行度和垂直度符合要求。直接应用标准模块，则坯料准备阶段不需要再

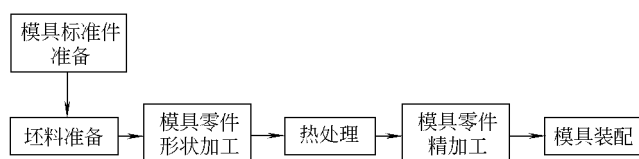


图 1-3 模具加工程序框图

作任何加工，是缩短制模周期的最有效方法。模具设计人员应尽可能选用标准模块。在不得已的情况下，对标准模块进行部分改制加工。若基准面发生变动，则需重新加工出基准面。

模具零件的形状加工的任务是按要求对坯料进行内外形状的加工。例如，

按冲裁凸模所需形状进行外形加工，按冲裁凹模所需形状加工型孔。又如按照注塑模型型芯的形状进行内、外形状加工，或按型腔的形状进行内外加工。

模具零件的精加工是对淬硬的模具零件半成品进一步加工，以满足尺寸精度、形状精度和表面质量的要求。针对精加工阶段材料较硬的特点，大多数采用磨削加工和精密电加工方法。

无论是冲模或注塑模都有预先加工好的标准件供模具设计人员选用。现在，除了螺栓、销钉、导柱、导套等一般标准件外，还有常用圆形和异形冲头、导销、推杆等各种标准件。此外还开发了许多标准组合，使模具标准化达到更高的水平。模具制造中的标准化程度越高，则加工周期越短。

模具装配的任务是将已加工好的模具零件及标准件按模具总装配图要求装配成一副完整的模具。在装配过程中，需对某些模具零件进行抛光和修整。试模后还需对某些部位进行调整和修正，使模具生产的制件符合图样要求，而且模具能正常地连续工作，模具加工过程才结束。在整个模具加工过程中还需对每一道加工工序的结果进行检验和确认，才能保证装配好的模具达到设计要求。

1.3.2 模具加工方法的分类

模具加工方法主要分为切削加工及非切削加工两大类。这两类中各自所包含的各种加工方法见表 1-2。

通常，按照模具的种类、结构、用途、材质、尺寸、形状、精度及使用寿命等各种因素选用相应的加工方法。

各种加工方法均有可能达到的精度和经济精度。为了降低生产成本，根据模具各部位的不同要求尽可能考虑各加工方法的经济精度。

1.3.3 模具加工方法的新动向

随着工业产品不断向多样化和高性能化发展，产品制造厂要求模具制造业在短时间为新产品的开发和投产提供高精度模具。模具制造业为了适应用户的这一要求，充分利用数控加工及模具计算机辅助制造等新技术，从而使模具加工技术进入以数控加工和模具计算机辅助制造为主的新阶段。

模具零件制造属于单件小批量生产方式，型腔、型芯往往比较复杂，难以在短时间内完成，制造质量也不易保证。在数控技术出现以前，除了用于大批量生产的专门生产线具有较高的自动程度外，各种零件的制造基本上由手动操作完成。此时零件一般由直线、圆弧等简单的几何元素构成。数控技术的产生和发展，为复杂曲线、曲面模具零件的单件小批量自动加工提供了极为有效的手段。

电子技术的飞速发展，促进了数控技术由硬件数控到计算机数控的发展，而计算机为更有效地使用数控技术也发挥了巨大的作用。随着人们对数控加工的研究日臻完善，各种各样的 CAD/CAM 系统不断涌现。利用计算机进一步提高数控加工的精度，而且不断拓宽了数控技术的应用领域，从复杂的几何造型系统到计算机辅助工艺规划、数控自动编程，到今天 CAD/CAM 系统及数控技术在模具加工领域起着不可缺少的重要作用。

模具零件数控加工的一般过程大致如下：首先在计算机上利用曲线、曲面数学模型设计构

表 1-2 模具加工方法

分类	加工方法	机床	使用工(刀)具	适 用 范 围
切削加工	平面加工	龙门刨床 牛头刨床 龙门铣床	刨刀 刨刀 端面铣刀	对模具坯料进行六面加工
	车削加工	车床 数控车床 立式车床	车刀 车刀 车刀	各种模具零件的回转面和平面
	孔加工	钻床 横臂钻床 铣床 数控钻床 加工中心 深钻孔钻	钻头、铰刀 钻头、铰刀 钻头、铰刀 钻头、铰刀 钻头、铰刀 深孔钻头	加工模具的各种孔 加工注塑模冷却水孔
	镗孔加工	卧式镗床 加工中心 铣床 坐标镗床	镗刀 镗刀 镗刀 镗刀	镗削模具中的各种孔 镗削高精度孔
	铣削加工	铣床 数控铣床 加工中心 仿形铣床 雕刻机	立铣刀、端面铣刀 立铣刀、球头铣刀 立铣刀、球头铣刀 球头铣刀 小直径立铣刀	铣削模具各种平面、曲画 进行仿形加工 雕刻图案及字体
	磨削加工	平面磨床 成型磨床 数控磨床 光学曲线磨床 坐标磨床 内、外圆磨床 万能磨床	砂轮 砂轮 砂轮 砂轮 砂轮 砂轮 砂轮	磨削模板各平面 磨削各种形状的模具零件表面 磨削精密模具孔
	电加工	型腔电加工 线切割加工 电解加工	电极 线电极 电极	电蚀切割难以加工的 部位精密轮廓加工 型腔和平面加工
	抛光加工	手持抛光机 抛光机或手工抛光	各种砂轮 锉刀、砂纸、 油石抛光剂	去除铣削痕迹 对模具零件进行抛光
非切削加工	挤压加工	压力机	挤压凸模	难以切割加工的型腔
	铸造加工	铍铜压力铸造 精密铸造	铸造设备 石膏模型铸 造设备	铸造注塑模型腔
	电铸加工	电铸设备	电铸母型	精密注塑模型腔
	表面装饰纹加工	蚀刻装备	装饰纹样板	在注塑型腔表面加工

造出零件的几何形状，生成几何模型。其次根据尺寸精度要求及所选择的刀具要求，计算出刀具加工轨迹。然后根据加工机床数控代码的约定进行后置处理，生成数控程序。最后数控程序以纸带、软盘或 DNC 方式交付机床进行切削加工。

由于采用了数控机床，模具零件的形状加工过程发生了很大的变化。例如模板的加工，过去采用手工划线、钻床钻孔、带锯去矩形孔废料、立铣加工型孔、手工攻螺纹五道工序。改用数控机床后，则由数控机床定位钻孔，减少了手工划线工序，而且孔位精度有了提高。如果使用加工中心，则一次装夹可完成所有加工内容。由于减少了装夹和工序转移的等待时间，大幅度缩短了加工周期，同时也减少了多次装夹带来的孔位误差，提高了加工精度。

第2章 模具材料及其热处理

模具材料的性能对模具寿命有决定性的影响，材料与模具加工要求能否适应至关重要。因此，根据模具的结构和使用情况，合理选用制模材料是模具工程师的重要任务之一。

模具热处理及表面强化是模具制造中的关键工艺之一，是保证模具质量和使用寿命的重要环节，模具材料必须通过合适的热处理才能发挥出潜在的性能。实际使用证明，在模具失效中，由于热处理不当引起的失效占有很大的比重。

在模具制造过程中，如果能选用正确的材料及合理的热处理工艺，对降低成本，提高模具质量和使用寿命都将起到重大的作用。

2.1 概述

模具用途广泛，工作条件差别很大，所以制造模具的材料范围很广。目前，冲压模、塑料模、压铸模、锻模、粉末冶金模等制模材料仍以钢为主。有些模具（如塑料模）还可采用低熔点合金、铝合金、锌合金和其他非金属材料等。

2.1.1 模具用钢

制造模具所采用的钢材对下列性能有较高要求：

（1）硬度和耐磨性 磨损是最重要的模具失效形式之一，一般，模具材料硬度高，耐磨性好，则模具寿命长。同时，制件的表面粗糙度和尺寸精度都和模具表面的耐磨性有直接关系。

（2）可加工性能 模具零件往往形状复杂，淬火后加工又困难，所以对材料的加工性能要求较高，同时还要求材料的热处理变形小，这样才能较好地保证模具的形状和尺寸精度。

（3）强度和韧性 模具必须有足够强度才能承受工作时的高压。对于受强烈冲击载荷的模具，如冷作模具的冲头，锤用热锻模具、冷锻模具、热锻模具等，模具材料的韧性是十分重要的考虑因素，对于在高温下工作的模具，还必须考虑其在工作温度下的高温韧性。

（4）淬透性 模具要想获得足够厚度的表面耐磨层，就必须要求钢材具有较好的淬透性。

（5）抛光性 某些制件要求非常高的表面质量甚至光泽，因而模腔必须抛光良好。为此，模具材料要求具有较好的抛光性能，不能含有粗糙的杂质和气孔等。

（6）耐腐蚀性 某些塑料及添加剂对模具有腐蚀作用，所以要求模具选用耐腐蚀的钢材或进行型腔表面镀铬、镀镍处理。

模具的用途不同，在性能上侧重点也不同，如冷冲模具对耐磨性和淬透性要求较高，而塑料模具比较看重材料的可加工性能和抛光性等。

模具用钢按用途一般可分为三大类：冷作模具钢、热作模具钢和塑料模具钢。

冷作模具钢主要用于制造金属在冷态下变形的模具。如：冷冲模、拉深模、冷弯曲模、冷挤压模、冷锻模和粉末压制模具等。因为模具要受到很大的压力、摩擦和冲击，所以冷作模具钢要求具有高硬度、高耐磨性及足够的强度和韧性。此外，还要求冷作模具钢淬透性高，热处理变形小。

热作模具钢主要用于制造经过加热的固态或液态金属在压力下成型的模具。前者如热锻模（包括热挤压模），后者如压铸模。热作模具钢是在高温下工作的，除承受很大的冲击力、拉应力、弯曲力外，还受到炽热金属在模腔中流动而产生的强烈摩擦和炽热金属的加热和冷却的反复作用，极易使模具表面产生热疲劳裂纹。因此要求热作模具钢在工作高温下能保持足够的强

度、韧性和耐磨性，以及较高的热疲劳抗力和导热性。

为保证热作模具经中温或高温回火后具有足够的强度和韧性，热作模具钢通常选用中碳钢，加入的合金元素有铬、锰、镍、硅、钼等，其作用是提高钢的淬透性，强化铁素体。镍还能提高其韧性，铬、硅、钨可提高钢的相变点，避免模具在交替加热和冷却时因组织转变而产生应力，从而提高其热疲劳抗力。钼主要是提高回火稳定性与防止第二类回火脆性。

塑料模具钢是制造各种塑料模具的专用钢材。由于塑料品种众多，对塑料制品的要求也千差万别，因此形成了范围很广的塑料模具材料系列，主要有碳素结构钢、塑料专用模具钢（包括预硬型、渗碳型、耐蚀型、时效型）等。与冷作和热作模具钢相比，塑料模具钢的使用性能要求并不太高，但对一些工艺性能要求较高（如热处理变形小、优良的抛光性、耐腐蚀性或可蚀蚀性等）。

2.1.2 其他模具材料

（1）铜合金 主要是铍青铜，可用于塑料模。一般采用铸造方法制模，不仅成本低，周期短，而且还可制出形状复杂的模具。铍青铜可通过固溶-时效强化，固溶后合金处于软化状态，塑性较好，便于机械加工。经时效处理后，合金的抗拉强度可达 1100~1300MPa，硬度可达 40~42HRC。铍青铜适用于制造吹塑模、注射模等，以及一些高导热性、高强度和高耐腐蚀性的塑料模。利用铍青铜铸造模具可以复制木纹和皮革纹，可以用样品复制人像或玩具等不规则的成型面。

（2）铝合金 铝合金的密度小，熔点低，加工性能和导热性都优于钢，其中铸造铝硅合金还具有优良的铸造性能，因此在有些场合可选用铸造铝合金来制造塑料模具，以缩短制模周期，降低制模成本。常用的铸造铝合金牌号有 ZL101 等，它适于制造要求高导热率，形状复杂和制造周期短的塑料模具。形变铝合金 LC9 也是用于塑料模制造的铝合金之一，由于它的强度比 ZL101 高，可制作要求强度较高且有良好导热性的塑料模。

（3）锌合金 用于制作塑料模具的锌合金大多为 Zn-4Al-3Cu 共晶型合金，用此合金通过铸造方法易于制出光洁而复杂的模具型腔，并可降低制模费用和缩短制模周期，锌合金的不足之处是高温强度较差，且合金易于老化，因此锌合金塑料模长期使用后易出现变形甚至开裂，这类锌合金适合制造注射模和吹塑模等。

用于塑料模具的锌合金还有镀锌合金和镍钛锌合金。镀锌合金耐热性好，所制作的注射模的使用寿命可达几万至几十万件。镍钛锌合金由于镍和钛的加入可使强度、硬度提高，从而使模具寿命成倍增长。

（4）环氧树脂 利用环氧树脂制作模具的型腔和型芯，可缩短模具生产周期，降低模具成本，它适用于对强度要求不高，而需要减轻重量的小批量用生产模具。制造环氧树脂注射模所用材料除钢材外还包括环氧树脂、填料、硬化剂、促进剂、封闭剂、脱模剂、制造过程中的过渡模材料、特级石膏粉。

注射模所用的环氧树脂在浇注后必须有足够的机械强度、良好的耐热性和导热性，同时还有良好的工艺性能。目前广泛使用的有双酚 A 类环氧树脂和脂环族环氧树脂。双酚 A 类环氧树脂的特点在于黏结力高，化学稳定性好，收缩率低，力学和电气性能良好，环氧树脂 634、6101 就属于这类树脂。脂环族环氧树脂黏度低，工艺性能好，分子结构紧密，固化后硬度大，耐热性和耐紫外光老化等特性好，如环氧树脂 6207 就属于这一类。

（5）低熔点合金 利用低熔点合金浇铸吹塑模具的型腔不仅可以缩短模具的制造周期和节约大量钢材，同时还节省劳力，很适合做新产品试制模。低熔点合金的种类较多，目前使用的较简单的一种是 58%Bi 和 42%Sn 的锡合金。

2.1.3 模具常用热处理工艺

通常所说的模具热处理，包括两部分，即模具材料的热处理和模具零件的热处理。前者是

在钢厂内完成的，必须保证钢材的质量（如基本力学性能，金相组织等）要符合国家或行业标准规定的要求，或者满足用户订货时与钢厂签订合同规定的要求，其特点是在大型工业炉中大批量生产，对象是轧材、锻件、模块等。模具零件热处理是在模具制造厂或热处理专业厂完成的，其特点是小批量或单件生产，工艺多样复杂，设备精良，相对而言是精工细作。模具零件热处理工艺涉及零件的形状结构、尺寸大小和重量，精度以及热处理技术要求等许多因素，内容十分丰富，工艺千变万化。

常用的热处理方法有正火、退火、淬火、回火、调质、渗碳及氮化等，见表 2-1。热处理可分为预备热处理和最终热处理两大类：为最终热处理作组织或性能准备的叫预备热处理，如退火、正火等；给予钢或零件最终性能的热处理叫最终热处理，如淬火、回火等。但这种分类不是绝对的，如淬火并高温回火，即调质处理，有时是预备热处理，有时可作最终热处理；预硬钢的热处理，在钢厂是最终热处理，对于模具制造厂而言又是预备热处理。

表 2-1 模具常用热处理说明

热处理名称		定 义	目 的	应 用
正火		把钢加热到临界温度 A_{c3} 以上,保温后空冷的操作	消除应力、细化晶粒、改善组织、调整硬度、便于切削加工	作为预备热处理,或用来消除网状渗碳体,为球化退火作准备
退火	完全退火	把钢加热到临界温度 A_{c3} 以上,保温后缓慢冷却的操作	消除应力、降低硬度、改善切削加工性能	用于模具锻件、铸钢件或冷压件的热处理
	球化退火	把钢加热到 A_{c1} 以上稍高的温度保温后再冷至稍低于 A_{r1} 的温度保温,然后空冷的操作	消除片状渗碳体,使其变成球状渗碳体,改善切削性能	用于碳素工具钢及合金工具钢模具
调质		淬火后高温回火的操作	既有较高的强度,又有较高的韧性	作为模具零件淬火及氮化前的中间热处理
淬火		将钢加热到相变温度以上,保温后快速冷却,获得马氏体、贝氏体的操作	提高零件的硬度及耐磨性	用于模具零件的最终热处理
回火		将淬火零件加热至 A_{c1} 以下某一温度,保温后冷却的操作	消除淬火应力,调整硬度	模具淬火后都必须回火
渗碳		将钢件放在含碳的介质中,加热至奥氏体化温度,将碳渗入钢件表面的操作	提高零件表面的含碳量,使表面获得很高的硬度和耐磨性,而心部具有良好的韧性	在模具制造中用于导柱、导套的热处理
氮化		将钢件放在含氮的气氛中,加热至 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$,使氮渗入钢件表面的操作	提高零件的耐磨性和耐蚀性	用于工作负荷不大,但耐磨性要求高及要求耐蚀的模具

2.2 冷作模具钢及其热处理

冷作模具主要用于金属或非金属材料的冲裁、拉深、弯曲、冷挤、冷镦、滚丝、压弯等工序。冷作模具的工作零件承受着拉压、弯曲、冲击、疲劳、摩擦等多种机械力的作用，使模具零件发生断裂、堆塌、磨损、黏着（咬合）、啃伤、软化等多种形式的失效。因此冷作模具用钢应在热处理后具有高的变形抗力、断裂抗力、耐磨损、抗疲劳、抗黏着等性能。

冷作模具钢包括碳素工具钢、低合金模具钢、高合金模具钢、高速钢、硬质合金等。常用冷作模具钢主要有：碳素工具钢，如 T10A、T12A 等；低合金工具钢，如 9Mn2V、CrWMn、9SiCr、GCr15 等；高合金工具钢，如 Cr12、Cr12MoV 等。

冷作模具钢合金化具有以下特点。
此为试读，需要完整版请访问：www.ertongbook.com