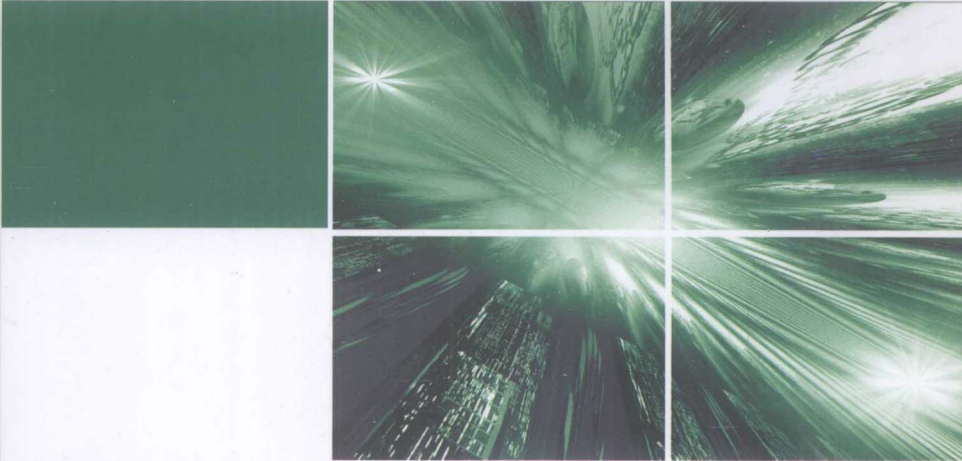


普通高等教育“十二五”规划教材



模具制造技术

宋建丽 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



本书较全面地讲述了传统模具制造技术的基本原理、特点和加工工艺,如模具的一般机械加工、仿形加工、成形磨削等;还讲述了数控加工基础、CAD/CAM、电火花成形加工、电火花线切割加工、电化学加工、超声波加工和快速制模等先进的模具制造技术,以及典型模具零件(冲模、锻模和塑料模)的制造工艺;同时,对模具的装配、维修与管理和常用模具材料及热处理进行了简要介绍。本书图文并茂,介绍基本工艺、原理、结构和设备等内容时大多附有图示说明,以利于学生学习和理解。

本书可作为高等院校材料成形及控制工程专业和模具设计与制造专业的课程教材,也可作为相关机械类专业的选修课教材,还可供从事塑性成形与模具设计、制造的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

模具制造技术/宋建丽主编. —北京:机械工业出版社, 2012.9

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-39429-7

I. ①模… II. ①宋… III. ①模具—制造—高等学校—教材 IV. ①TG76

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第187355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:冯春生 责任编辑:冯春生 韩旭东

版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉

封面设计:张静 责任印制:张楠

唐山丰电印务有限公司印刷

2012年10月第1版第1次印刷

184mm×260mm·17.5印张·434千字

标准书号:ISBN 978-7-111-39429-7

定价:35.00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 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

普通高等教育“十二五”规划教材 编审委员会

主任委员 李荣德 沈阳工业大学

副主任委员 (按姓氏笔画排序)

方洪渊 哈尔滨工业大学

朱世根 东华大学

邢建东 西安交通大学

李永堂 太原科技大学

聂绍珉 燕山大学

王智平 兰州理工大学

许并社 太原理工大学

李大勇 哈尔滨理工大学

周 荣 昆明理工大学

葛继平 大连交通大学

委 员 (按姓氏笔画排序)

丁雨田 兰州理工大学

王卫卫 哈尔滨工业大学(威海)

邓子玉 沈阳理工大学

刘金合 西北工业大学

毕大森 天津理工大学

闫久春 哈尔滨工业大学

张建勋 西安交通大学

李 桓 天津大学

李亚江 山东大学

周文龙 大连理工大学

侯英玮 大连交通大学

赵 军 燕山大学

黄 放 贵州大学

薛克敏 合肥工业大学

文九巴 河南科技大学

计伟志 上海工程技术大学

刘永长 天津大学

华 林 武汉理工大学

许映秋 东南大学

何国球 同济大学

李 尧 江汉大学

李 强 福州大学

邹家生 江苏科技大学

武晓雷 中国科学院

姜启川 吉林大学

梁 伟 太原理工大学

蒋百灵 西安理工大学

戴 虹 西南交通大学

秘 书 长 袁晓光 沈阳工业大学

秘 书 冯春生 机械工业出版社

塑性成形及模具教材编委会

顾问

王仲仁 哈尔滨工业大学
聂绍珉 燕山大学

俞新陆 清华大学

主任委员 李永堂 太原科技大学

副主任委员 (按姓氏笔画排序)

邓子玉 沈阳理工大学
华 林 武汉理工大学
陈拂晓 河南科技大学
赵 军 燕山大学

刘建生 太原科技大学
许映秋 东南大学
周文龙 大连理工大学
薛克敏 合肥工业大学

委员 (按姓氏笔画排序)

于宝义 沈阳工业大学
王雷刚 江苏大学
石连升 哈尔滨理工大学
刘守荣 中国农业大学
毕大森 天津理工大学
闫 洪 南昌大学
侯英玮 大连交通大学
郝滨海 山东大学
曹建国 四川大学
董湘怀 上海交通大学

王 群 湖南大学
冯再新 中北大学
刘全坤 合肥工业大学
吕 琳 重庆理工大学
池成忠 太原理工大学
李国禄 河北工业大学
姚兴军 华东理工大学
袁子洲 兰州理工大学
梅 益 贵州大学
霍晓阳 河南理工大学

秘书长 宋建丽 太原科技大学

秘 书 冯春生 机械工业出版社

前言

本书对模具制造技术进行了较为全面、系统的讲述，主要包括绪论，模具制造工艺基础，模具的传统机械加工，模具的数控加工，模具的特种加工，模具先进制造技术，典型模具零件制造工艺，模具的装配、维修与管理及模具材料及热处理等内容。本书将模具制造的传统方法和现代制造技术相结合，既讲述了各种传统模具制造方法的基本原理、特点和加工工艺，如模具的一般机械加工、仿形加工、成形磨削等，又介绍了数控加工基础、CAD/CAM、电火花成形加工、电火花线切割加工、电化学加工、超声波加工及快速制模等先进的模具制造技术。同时，还讲述了典型模具零件（冲模、锻模和塑料模）的制造工艺以及模具的装配、维修与管理，并对常用模具材料及热处理进行了简要介绍。

本书较多采用三维立体图形及实例进行讲述，注重理论与实用相结合，以便于学生学习和理解。本书可作为高等院校材料成形及控制工程专业和模具设计与制造专业的课程教材，也可作为相关机械类专业的选修课教材，还可供从事塑性成形与模具设计、制造的工程技术人员参考。

全书共分9章。第1、2、3章由太原科技大学宋建丽教授编写，第4章由山东大学李辉平教授编写，第5章和第7章由河南科技大学刘汀副教授编写，第6章和第8章由华北水利水电学院李刚讲师编写，第9章由哈尔滨工业大学（威海）王刚副教授编写。全书由宋建丽教授任主编并统稿，刘汀副教授任副主编，华南理工大学阮锋教授担任本书的主审。

本书还从网络资源中获得了许多参考资料，在此一并对众作者表示感谢。

由于编者水平有限，疏漏和错误之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

目 录

前言

第1章 绪论..... 1

- 1.1 模具工业在国民经济中的作用和地位 1
- 1.2 模具技术的现状及发展 2
 - 1.2.1 我国模具技术的现状及发展 ... 2
 - 1.2.2 模具制造技术的发展趋势 5
- 1.3 模具制造的特点及基本要求 7
 - 1.3.1 模具制造的特点 7
 - 1.3.2 模具制造的基本要求 8
- 1.4 本课程的性质、任务和要求 8
- 思考与练习..... 9

第2章 模具制造工艺基础 10

- 2.1 模具的生产过程和工艺过程..... 10
 - 2.1.1 模具的生产过程..... 10
 - 2.1.2 模具制造的工艺过程..... 10
 - 2.1.3 生产纲领和生产类型..... 12
- 2.2 模具制造工艺规程的制订..... 13
 - 2.2.1 工艺规程的作用..... 13
 - 2.2.2 模具零件工艺规程制订的原则与依据..... 14
 - 2.2.3 模具工艺规程制订的步骤..... 14
- 2.3 模具零件的工艺分析..... 15
 - 2.3.1 零件图样分析..... 15
 - 2.3.2 零件的结构工艺性分析..... 15
- 2.4 模具零件毛坯选择..... 16
- 2.5 定位基准的选择..... 18
 - 2.5.1 基准的概念..... 18
 - 2.5.2 工件的安装定位方法..... 18

- 2.5.3 定位基准的选择..... 19
- 2.6 加工余量及工序尺寸确定..... 22
 - 2.6.1 加工余量的概念..... 22
 - 2.6.2 加工余量的确定..... 23
- 2.7 切削用量的确定..... 24
 - 2.7.1 切削用量三要素..... 24
 - 2.7.2 切削用量的确定原则..... 24
- 2.8 机床与工艺装备的选择..... 25
- 2.9 模具制造工艺路线制订..... 26
 - 2.9.1 模具表面加工工艺及方法的选择..... 26
 - 2.9.2 加工阶段的划分..... 29
 - 2.9.3 工序的集中与分散..... 31
 - 2.9.4 加工顺序的安排..... 31
- 2.10 模具制造工艺文件 32
- 思考与练习 35

第3章 模具的传统机械加工 36

- 3.1 模具零件的传统机械加工方法..... 36
 - 3.1.1 车削加工..... 36
 - 3.1.2 铣削加工..... 44
 - 3.1.3 刨削和插削加工..... 52
 - 3.1.4 钻削和镗削加工..... 55
 - 3.1.5 磨削加工..... 60
- 3.2 模具的仿形加工..... 66
 - 3.2.1 仿形加工的工作原理..... 67
 - 3.2.2 仿形铣削加工工艺..... 68
- 3.3 模具零件孔型的精密加工..... 70
 - 3.3.1 坐标镗削加工..... 70



3.3.2 坐标磨削加工	75	系统及组成	133
3.4 成形磨削	78	4.6.2 CAD/CAM 的应用实例	136
3.4.1 成形磨削的基本原理	79	思考与练习	145
3.4.2 成形磨削方法	79	第5章 模具的特种加工	146
3.4.3 成形砂轮修整工具	80	5.1 电火花成形加工	146
3.4.4 夹具磨削法	82	5.1.1 电火花成形加工的 基本原理和特点	146
3.4.5 光学曲线磨床成形磨削法	93	5.1.2 电火花成形加工 机床及附件	150
3.4.6 数控成形磨床成形磨削法	94	5.1.3 影响电火花成形 加工质量的因素	152
思考与练习	95	5.1.4 工具电极设计与制造	155
第4章 模具的数控加工	96	5.1.5 电火花成形加工工艺方法	158
4.1 数控加工机床	96	5.1.6 电火花成形加工在模具 制造中的应用与实例	159
4.1.1 数控机床的工作 原理及组成	96	5.2 电火花线切割加工	162
4.1.2 数控机床的分类	98	5.2.1 线切割加工原理与特点	163
4.1.3 数控机床的主要特点	100	5.2.2 线切割加工机床	164
4.2 数控加工工艺基础	100	5.2.3 线切割手工编程	166
4.2.1 数控加工工艺的主要内容	100	5.2.4 线切割自动编程	169
4.2.2 数控加工机床的合理选用	101	5.2.5 电火花线切割加工工艺	171
4.2.3 对刀点的确定	101	5.2.6 电火花线切割应用实例	175
4.2.4 加工路线的选择	102	5.3 电化学及化学加工	179
4.3 数控机床的坐标系统	103	5.3.1 电解加工	180
4.3.1 坐标系	103	5.3.2 电解抛光加工	180
4.3.2 坐标轴及运动方向	103	5.3.3 电铸成形加工	181
4.3.3 坐标原点	104	5.3.4 电解磨削加工	182
4.4 数控加工编程基础	105	5.4 超声波加工	183
4.4.1 数控编程的方式	105	5.4.1 超声波加工工艺	183
4.4.2 数控程序格式	106	5.4.2 超声波抛光工艺	183
4.4.3 常用的准备功能和 辅助功能指令	107	思考与练习	184
4.4.4 数控车床程序编制	116	第6章 模具先进制造技术	185
4.4.5 数控铣削程序编制	123	6.1 先进制造技术	185
4.5 数控机床夹具和刀具 的选择与使用	129	6.1.1 先进制造模式与技术	185
4.5.1 数控机床夹具的 选择与使用	129	6.1.2 先进制造技术在模具 工业中的应用	186
4.5.2 数控机床刀具的 选择与使用	130	6.2 高速切削	189
4.6 模具 CAD/CAM 简介	132	6.2.1 高速切削的概念	189
4.6.1 模具 CAD/CAM		6.2.2 高速切削的机理	190
		6.2.3 高速切削技术的优势	191

6.2.4 高速切削的工业应用	192	试模与调整	228
6.2.5 高速切削机床	193	8.3 模具的维修	231
6.2.6 高速切削加工在模具 制造中的应用实例	195	8.3.1 模具的失效过程与形式	231
6.3 快速成形技术	196	8.3.2 影响模具寿命的主要因素	232
6.3.1 快速成形技术的 原理和特点	196	8.3.3 模具的修复方法	233
6.3.2 快速成形技术典型工艺	198	8.4 模具的管理	235
6.3.3 快速模具制造技术	200	8.4.1 模具管理概述	235
思考与练习	202	8.4.2 模具的标准化	236
第7章 典型模具零件制造工艺	203	思考与练习	240
7.1 模架制造	203	第9章 模具材料及热处理	241
7.1.1 模架的技术要求	203	9.1 模具材料概述	241
7.1.2 导柱、导套的加工	203	9.1.1 模具材料的性能与要求	241
7.1.3 模座的加工	205	9.1.2 模具材料的选用原则	242
7.1.4 模架的技术要求及装配	206	9.1.3 模具材料的分类	242
7.2 冲模制造	208	9.1.4 模具材料的发展趋势	243
7.2.1 冲裁模制造的技术要求	208	9.2 冷作模具材料及热处理	243
7.2.2 冲裁凸模的加工工艺	209	9.2.1 冷作模具材料的 分类和性能要求	243
7.2.3 冲裁凹模的加工工艺	210	9.2.2 冷作模具材料的 性能和热处理	244
7.3 锻模制造工艺	212	9.3 热作模具材料及热处理	249
7.3.1 锻模制造的技术要求	212	9.3.1 热作模具材料 分类和性能要求	249
7.3.2 锻模制造实例	214	9.3.2 热作模具材 料性能和热处理	250
7.4 塑料模制造工艺	215	9.4 塑料模具材料及热处理	255
7.4.1 塑料模制造技术要求	215	9.4.1 塑料模具材料 分类和性能要求	255
7.4.2 塑料模的加工	216	9.4.2 塑料模具钢的 性能及热处理	256
7.4.3 塑料模型腔的研磨	218	9.5 模具表面强化处理	261
思考与练习	219	9.5.1 模具表面强化方法和种类	261
第8章 模具的装配、维修与管理	220	9.5.2 模具表面化学热处理强化	262
8.1 模具的装配	220	9.5.3 模具表面气相沉积强化	264
8.1.1 模具装配的技术 要求、内容及特点	220	9.5.4 模具表面高能束强化	266
8.1.2 模具装配的方法及精度	220	9.5.5 模具表面涂覆技术	268
8.1.3 模具装配的定位与固定	222	9.5.6 其他模具表面强化技术	268
8.2 模具装配的工艺、试模和调整	223	思考与练习	269
8.2.1 装配尺寸链	223	参考文献	271
8.2.2 连接件的调试与修整	224		
8.2.3 冲模的装配、试冲与调整	226		
8.2.4 塑料模的装配、			

第 1 章 绪 论

1.1 模具工业在国民经济中的作用和地位

模具是工业生产中极其重要而又不可或缺的特殊基础工艺装备，它以特定的结构形式通过一定的方式使金属或非金属材料成形（或成型）而获得所需形状的零件或制品。由于模具生产过程集精密制造、计算机技术、智能控制和绿色制造为一体，因此模具既是高新技术载体，又是高新技术产品。由于使用模具进行制件的大批量生产具有生产效率高、产品一致性高、耗能耗材低，以及精度和复杂程度高等特点，因此，模具受到国民经济各工业生产部门越来越多的重视，被广泛应用于机械、电子、汽车、信息、航空航天、轻工、军工、交通、建材、医疗、生物、能源等领域，对我国经济发展、国防现代化和高端技术服务具有十分重要的支撑作用，也为我国经济运行中的节能降耗做出了重要贡献。工业要发展，模具须先行。模具工业是重要的基础工业，没有高水平的模具就没有高水平的工业产品。模具工业的发展水平已经成为衡量一个国家制造业水平高低的重要标志，也是一个国家的工业产品保持国际竞争力的重要保证之一。

模具工业作为国民经济的基础行业，获得了世界各国的普遍重视。汽车、电子信息、家电、办公设备、机械、建材、航空航天和电动工具等行业都是模具需求大户。众所周知，汽车零部件中约有 85% 的零件需使用模具成形。一个车型的轿车共需 4000 多套模具，价值 2 亿~3 亿元人民币。在各种类型的汽车中，平均一个车型需要冲模 2000 套，其中仅大、中型覆盖件模具就约有 300 套。一台电冰箱需用模具生产的零件约有 150 个，共需模具约 350 套；一台空调器，仅塑料模就需 20 多套，价值约 150 万元；每个型号的计算机约需模具 30 多套，与其配套的打印机，单台需模具 20 多副。模具产业有着广阔的市场发展空间，已成为国民经济五大支柱产业的重要支撑行业。

模具工业在世界经济发展的各个阶段都是不可或缺的，机械、电子、汽车等支柱产业和相关企业的发展，都会给模具工业带来强劲的需求，因此模具工业可以说是“百业之母”。美国工业界把模具工业称为“美国工业的基石”，模具在日本被誉为“进入富裕社会的原动力”，在德国被冠之以“金属加工业中的帝王”，在罗马尼亚被视为“黄金”，其他一些欧美发达国家则称模具工业为“磁力工业”。可以说模具工业是“不衰的工业”。根据国际生产技术协会预测，21 世纪机械制造所生产的零件中，75% 的粗加工和 50% 的精加工都将依赖模具完成。随着工业生产的迅速发展，模具工业将在国民经济发展过程中发挥越来越重要的作用。



1.2 模具技术的现状及发展

世界各国都视模具工业为国民经济发展的关键行业，致力于模具制造水平的提高，并已取得了显著的经济效益。早在 20 世纪 80 年代末，美国模具行业就有约 12 万个企业，从业人员 17 万多人，模具总产值达到 6447 亿美元。日本的模具产能约占全球的 40%，居世界第一位。日本模具工业协会 1957 年成立时，模具总产值为 106 亿日元，1998 年产值达到 1.87 万亿日元的高峰，在短短的 40 余年内增加了 170 多倍，这也是日本经济飞速发展并在国际市场上占有一席之地的重要原因之一。20 世纪 90 年代初，日本全国就有 13115 家模具企业，分别从事冲模、塑料模、压铸模、锻模等模具的生产。目前，世界模具市场仍是供不应求。近几年，世界模具市场总量一直为 600 多亿美元左右，其中，美国、日本、法国、瑞士等国每年出口的模具约占本国模具总产量的 1/3。模具工业的快速发展，对模具制造技术提出了更高的要求，也推动着模具制造技术的进步和发展。

1.2.1 我国模具技术的现状及发展

我国虽然很早就开始制造和使用模具，但模具工业起步晚、底子薄，与工业发达国家相比还存在较大的差距。改革开放以来，国家出台了一系列产业政策和经济政策指导模具工业的发展，大大提高了模具的商品化程度，推动了模具技术和模具工业的快速发展。20 世纪 80 年代后期，我国的模具工业才驶入发展的快车道。近年来，不仅国有模具企业有了很大发展，三资模具企业、乡镇（个体）模具企业的发展也相当迅速。目前，我国的模具工业已初具规模，全国共有模具生产企业（厂、点）约 3 万个，从业人员近 100 万人。1984 年 10 月在成都成立了中国模具协会，现有团体会员 1500 多个。从 20 世纪 80 年代以来，我国模具工业以每年 15% 以上的增速快速发展。1984 年我国模具工业的总产值不到 20 亿元，到 2006 年已达 720 亿元，2007 年达 870 亿元。其中，模具出口以 43% 的年增长速度高速发展，2007 年达 14.13 亿美元。据统计，2008 年上半年，我国出口模具总量为 8.68 亿美元，年出口模具突破 10 亿美元的关口，并继续保持良好的增长势头。我国模具产量仅次于日本、美国，位居世界第三，已步入模具生产大国的行列。

近年来，我国在模具材料、模具结构、模具制造技术及模具加工设备等方面都取得了可喜的进步，培养了一批高级模具技术人才。我国模具技术的发展主要表现在以下几个方面：

1) 在模具材料方面，研究开发了几十种新品种模具钢及硬质合金等新材料，并采用了一些新的热处理工艺。如开发了低合金冷作模具钢 GD (6CrMnNiMoVSi)、CH (7CrSiMnMoV)、DS 和基体钢 65Nb (65Cr4W3Mo2VNb)、LM1 (65W8Cr4VTi)、LM2 (65Cr5Mo3W2VSiTi) 等。研究开发的大截面热锻模具钢 5Cr2NiMoVSi 和 45Cr2NiMoVSi，已获得了较广泛的应用。研制了许多强韧性好、热稳定性高的热挤压用热作模具钢，如 HMI (3Cr3Mo3W2V)、TM (4Cr3Mo2WMnVNb)、Y4 (4Cr3Mo2MnVB)、Y10 (4Cr5Mo2SiV1)、HD2 (4Cr3Mo2VNiNbB)、012Al (5Cr4Mo3SiMnVAl) 等。这些钢在保持较好强韧性的条件下，具有高的热稳定性，分别用于制作热挤压模、精锻模、有色金属压铸模等，获得了良好的使用效果。我国还研制了含硫易切削预硬塑料模具钢，如 8Cr2S (8Cr2MnWMoVS) 和 S-Ca 复合易切削塑料模具钢 5NiSCa (5CrNiMnMoVSCa) 等。一些研究单位和硬质合金厂还研

制出了多种牌号的微晶硬质合金、超细晶粒硬质合金和钢结硬质合金，用于制作冷镦模、挤压模、拉深模、冲裁模、拉丝模和热镦模等。

模具新材料的应用，以及热处理技术和表面处理技术的开发和应用，大大提高了模具的使用寿命。模具钢的年产值也从 1995 年的 145 亿元上升到 2007 年的 870 亿元，增长了 500% 多，取得了突飞猛进的发展。

2) 我国模具的品种、精度和产业规模有了很大的发展。近几年，我国的模具工业发展较快，模具制造水平也在逐步提高，从过去只能制造简单的模具发展到可以制造大型、精密、复杂、长寿命的模具。在冲模方面，我国能生产 50 多工位的硬质合金多工位自动级进模，凹模镶件的重定位精度小于 0.005mm，步距精度小于 0.005mm，模具成形表面粗糙度 Ra 达到 0.1~0.4mm，模具寿命突破了 1 亿次。在塑料模方面，能设计和制造汽车保险杠及整体仪表盘大型注射模，大型彩色电视机、洗衣机和电冰箱等各种精密、大型注射模。重达 10 余 t 的汽车后保险杠模具，其尺寸精度可达 10 μ m，模具寿命达到 30 万次以上，达到了国际同类模具产品的技术水平。

我国模具行业发展迅猛，规模已居世界前列，主要体现在专业模具生产厂家数量及其生产能力增加，“三资”及私营企业发展迅速，股份制改造步伐加快等方面。从地区分布来看，以珠江三角洲和长江三角洲为中心的东南沿海地区发展快于中西部地区，南方地区的发展快于北方地区。目前发展最快、模具生产最为集中的省份是广东和浙江，江苏、上海、安徽和山东等地近几年也有较大发展。模具生产集聚地主要有深圳、宁波、台州、苏锡常地区、青岛和胶东地区、珠江下游地区、成渝地区、京津冀（泊头、黄骅）地区、合肥和芜湖地区以及大连、十堰等地。各地相继涌现出来的模具城、模具园区等，则是模具集聚生产最为突出的地方，具有一定规模的模具园区（模具城）全国已约有 20 个。

3) 模具制造设备获得了较大发展。我国已能自行设计制造一些先进、精密和高自动化程度的模具加工和检测设备，如数控仿形铣床、数控加工中心、精密坐标磨床、连续轨迹数控坐标磨床、高精度低损耗数控电火花成形加工机床、慢走丝精密电火花线切割机床、精密电解加工机床、三坐标测量仪、挤压研磨机等，使模具加工工艺提高到一个新的水平，大大提高了加工效率，也为先进加工工艺的推广奠定了物质基础。

4) 现代模具设计与制造技术得到了广泛应用和提高。随着计算机技术的发展和运用，计算机辅助模具设计与制造（CAD/CAM）技术逐渐成熟，不少研究单位和公司都开发了面向模具企业的 CAD/CAE/CAM 系统集成方案，表现出较高的实用水平，实现了模具设计与制造一体化。模具智能制造、并行工程、虚拟制造、敏捷制造和快速制造等先进制造技术正受到越来越多的关注，并被广泛应用于模具生产。

5) 模具的标准化和商品化程度进一步提高。到目前为止，已经制定了冲压模具、塑料模具、压铸模具和模具基础技术等 50 多项国家标准，300 多个标准号，基本满足了国内模具生产技术发展的需要。随着标准的颁布实施，模具的商品化程度也大大提高，从而缩短了模具制造周期，降低了制造成本，提高了标准件的内外质量。

从总体上看，虽然我国模具工业已得到较大的发展，但与国际平均水平，尤其是与发达国家相比，仍有较大差距。综合我国各类模具情况，与国外先进水平的差距主要表现为：模具使用寿命低 30%~50%（精密冲裁模使用寿命一般只有国外先进水平的 1/3 左右），生产周期长 30%~50%，质量可靠性与稳定性较差，制造精度和标准化程度较低

等。同时,我国在研发能力、人员素质、对模具设计制造的基础理论与技术的研究等方面也存在较大差距,在模具新领域的开拓和新产品的开发上较为落后,高技术含量模具的比例比国外要低得多(国外约为60%左右,国内不足40%),劳动生产率也要低许多。存在的问题主要有:

1) 总量供不应求。国内模具自给率只有70%左右。其中低档模具供过于求,中高档模具自配率只有60%左右。模具品种少、精度差、寿命短、生产周期长,技术含量和附加值偏低。特别是精密、大型、复杂、长寿命型模具,还须花费大量资金从国外进口。目前,就整个模具市场来看,进口模具约占市场总量的20%左右,其中,中高档模具进口比例占到40%以上,不能完全满足国内经济高速发展的需要。

2) 企业组织结构、产品结构、技术结构和进出口结构不尽合理。我国模具工业一直没有形成产业规模,主要以有经验和技术的钳工为主导,借助一些机床进行简单的模具生产和制造。模具生产厂(点)多数是自产自配的模具车间或分厂,自产自配的比例高达60%,而在国外70%以上是商品模具。国内专业模具厂大多是“大而全”、“小而全”的组织形式,而国外大多是“小而专”、“小而精”。国内中低档模具已供过于求,而以大型、精密、复杂、长寿命模具为主要代表的高技术含量模具自给率还较低,只有60%左右,有很大一部分依靠进口。2009年我国共进口模具19.64亿美元,出口18.43亿美元。出口模具约占模具总销售额的12.8%。在汽车工业比较发达的国家,模具用于汽车生产的占50%~60%,而我国不足30%,在模具使用合理性方面还有待提高。

3) 模具开发能力差,经济效益欠佳,管理落后。我国模具企业技术人员比例低、水平较低,且不重视产品开发,在市场中经常处于被动地位。我国每个模具职工平均年创造产值约合1万美元,而国外模具工业发达国家大多是20万~30万美元。我国相当一部分模具企业还沿用过去作坊式的管理,真正实现现代化企业管理的企业较少。

4) 模具产品水平和生产工艺水平低,生产周期长。产品水平低主要表现在模具的精度、型腔表面粗糙度、寿命及结构等方面;工艺水平低主要表现在设计、加工、工艺装备等方面。

5) 工艺装备水平低,且配套性不好,利用率低。近年来我国机床行业进步较快,已能提供比较成套的高精度加工设备,但与国外装备相比,仍有较大差距。虽然国内许多企业已引进许多国外先进设备,但总体装备水平还是要比国外许多企业低很多。由于体制和资金等方面的原因,引进设备不配套、设备与附件不配套现象十分普遍,设备利用率低的问题长期得不到妥善解决。装备水平低造成我国模具企业钳工比例过高等问题较为突出。

6) 专业化、标准化、商品化程度低,协作能力差。由于长期以来受“大而全”、“小而全”的影响,我国模具专业化水平低,专业分工不细致,商品化程度低。而国外先进国家模具标准件使用覆盖率达70%以上,而国内模具标准件使用覆盖率只有45%左右。目前国内每年生产的模具,商品模具只占40%左右,其余皆为自产自配。模具企业之间协作不畅,难以完成较大规模的成套模具任务。模具标准化水平低和模具标准件使用覆盖率低也对模具质量、成本有较大影响,特别是对模具制造周期有很大影响。

7) 模具材料及相关技术落后。模具材料性能、质量和品种等往往会影响模具质量、寿命及成本,国产模具钢与国外进口钢材相比有较大差距。塑料、板材、设备等性能差,也直接影响着模具水平的提高。

8) 人才严重不足, 科研开发及技术攻关投入太少。模具行业是技术、资金、劳动密集产业, 掌握且熟练运用新技术的人才异常短缺, 高级模具钳工及企业管理人才也非常紧张。模具企业效益欠佳, 对科研开发和技术攻关重视不够, 加上国家对模具行业的产业配套政策少, 模具行业在科研开发和技术攻关方面投入太少, 致使模具技术发展缓慢。

1.2.2 模具制造技术的发展趋势

模具技术集成了机械、电子、化学、光学、材料、计算机、精密监测和信息网络等诸多学科, 是一个综合性多学科的系统工程。模具行业需要在模具信息化、数字化技术和精密、超精密、高速、高效制造技术等方面取得突破。模具技术的发展趋势主要是模具产品向着更大型、更精密、更复杂及更经济的方向发展; 模具产品的技术含量不断提高, 模具制造周期不断缩短, 模具生产朝着信息化、无图化、精细化、自动化的方向发展; 模具企业向着技术集成化、设备精良化、产品品牌化、管理信息化、经营国际化的方向发展。模具行业和模具制造技术的发展趋势主要有:

1) 模具制造技术向高速、高效、高精、复合化方向发展。现代工业的发展对模具的生产效率和制造品质提出了越来越高的要求, 高速切削技术已经成为当前模具加工的主流。经过高速加工的工件表面大多数都非常光洁, 无需钳工的进一步加工。在美国, 采用高速加工技术以减少或省去钳工工序是一种效益相当可观的措施, 这种技术在欧洲和日本也颇受欢迎。另外, 用充分硬化的材料加工模具的型腔是模具加工业发展的另一个重要趋势。高主轴转速及小的刀具半径所进行的轻度切削形成了足够的转矩, 可以用来加工硬度高达 64HRC 的金属材料, 由于不需要再进行热处理, 常规热处理后的回火以及因抵消由热处理引起的几何变形所进行的磨削加工也都不需要了, 该技术在日本备受青睐, 如今在美国也受到了广泛的关注并正向欧洲传播。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加工发展的方向。高速铣削可以大大改善模具表面的质量状况, 并大大提高加工效率、降低加工成本。

近年来我国模具制造业的一些骨干重点企业, 先后引进了高速铣床和高速加工中心, 它们在模具加工中发挥了重要的作用。国内进口的高速加工机床主轴最高转速在短期内仍将以 10000 ~ 20000 r/min 为主, 少数会达到 40000 r/min 左右。虽然向更高转速发展是必然方向, 但目前最主要的还是推广应用。超高速加工中心的切削进给速度可达 80 m/min, 主轴转速可达 50000 r/min, 可在一个机床上完成对软、硬甚至超硬材料的超声波铣削和高速铣削, 使模具型腔曲面加工精度可达 0.01 mm, 大大提高生产效率和加工精度, 减少抛光工作量。毛坯下料设备出现了高速锯床、阳极切割和激光切割等高速、高效率的加工设备, 以及高速磨削和强力磨削设备。高效、高精、多功能复合刀具, 超精冲压模具制造技术, 精密塑料和压铸模具制造技术等应用日益广泛。加工精度超过 1 μ m 的超精加工技术和集电、化学、超声波、激光等技术于一体的复合加工在今后的模具制造中将具有广阔的前景。

高速加工是切削加工工艺的革命性变革, 从技术发展角度看, 高速铣削正与超精密加工、硬切削加工相结合, 开辟了以铣代磨的领域, 并大大地减轻了模具的研抛工作量, 缩短了模具制造周期, 在国内模具企业的应用将会越来越多。并联机床(又称虚拟轴机床)和 3D 激光六轴铣床的诞生, 及开放式数控系统的应用更推动了高速加工的发展。

2) 开发精密、复杂、大型、长寿命模具。应重点发展的模具产品主要有: 汽车覆盖件



模具,尤其是中高档轿车覆盖件模具;精密冲压模具,如精度和寿命要求极高的多工位级进模和精密冲裁模,代表了冲压模具的发展方向,主要为电子工业、汽车、仪器仪表、电机电器等配套;大型精密塑料模具,塑料模具中为汽车和家电配套的大型注射模,为集成电路配套的塑封模,为电子信息产业和机械及包装配套的多层、多腔、多材质、多色精密注射模,为新型建材及节水农业配套的塑料异型材挤出模及管路和喷头模具等,总量供不应求,应大力发展;主要模具标准件,应继续大力发展模架、导向件、推杆推管、弹性元件等;氮气缸和热流道元件主要依靠进口,应在现有基础上提高水平,形成标准并组织规模化生产;其他高技术含量的模具,如大型薄壁精密压铸模具、镁合金压铸模具、子午线橡胶轮胎模具等。

3) 全面推广 CAD/CAE/CAM 等先进的模具设计、分析与制造技术,使其向集成化、智能化和网络化发展。模具 CAD/CAM 技术在模具设计与制造中的优势越来越明显,可实现信息的综合管理与共享,可支持模具设计、制造、装配、检验、测试及生产管理的全过程。系列化软件包括了曲面/实体几何造型、复杂形体工程制图、工业设计高级渲染、模具设计专家系统、复杂形体 CAM、艺术造型及雕刻自动编程系统、逆向工程系统及复杂形体在线测量系统等;模具设计、分析、制造的三维化与无纸化使新一代模具软件以立体和直观的感觉来设计模具,所采用的三维数字化模型能方便地用于产品结构的 CAE 分析、模具可制造性评价和数控加工、成形过程模拟及信息的管理与共享;同时,随着竞争、合作、生产和管理等方面的全球化、国际化,以及计算机软硬件技术的迅速发展,模具行业可借助网络进行虚拟设计、敏捷制造等。先进模具设计技术、数字化分析技术和先进的模具制造技术相结合,获得完善的 CAD/CAE/CAM 解决方案,提高模具加工的自动化水平与生产效率,是现代模具企业发展的重要方向。

4) 优质模具材料及先进表面处理技术将进一步受到重视。因选材和用材不当,致使模具过早失效,大约占失效模具总量的 45% 以上。因此,选用优质钢材和应用相应的表面处理技术来提高模具的使用寿命十分重要,提高钢的纯净度、等向性、致密度和均匀性及研制更高性能或具有特殊性能的模具钢,开发模具钢品种规格,扩大其他优质模具材料如硬质合金、陶瓷材料、复合材料等的应用范围是主要的研究热点。用铝合金作模具材料以缩短制模周期、降低模具成本,将在快速经济模具中得到较快发展。

模具表面处理的主要趋势是:由渗入单一元素向多元素共渗、复合渗发展,由一般扩散向 CVD、PVD、PCVD、离子渗入、离子注入等方向发展,可采用的镀膜有 TiC、TiN、TiCN、TiAlN、CrN、Cr₇C₃、W₂C 等,同时热处理手段由大气热处理向真空热处理发展。目前,激光强化、辉光离子氮化及电镀(刷镀)防腐强化等技术也日益受到重视。

5) 加强模具生产企业的信息化和现代化管理。加快 PDM(产品数据管理)、ERP(企业资源管理)、MIS(模具制造管理信息系统)及 Internet 平台等信息网络技术的应用和模具生产企业的现代化管理技术的推广及发展。

6) 快速经济制模技术前景广阔。快速经济制模技术主要包括快速原型制造技术、表面成形制模技术、浇注成形制模技术、冷挤压及超塑成形制模技术、无模多点成形技术、KEVRON 钢带冲裁落料制模技术、模具毛坯快速制造技术等。采用快速经济模具制造技术,模具制造周期比同类钢模具缩短 70%~90%,而制模成本降低 60%~80%,大大缩短了模具生产周期,提高了新产品开发速度,降低了成本,具有广阔的应用前景。预计 21 世纪,用



各种超塑性材料来制作模具,用环氧、聚酯或在其中填充金属、玻璃等增强物制作简易模具等生产方式在工业生产中的比例将达到75%以上。

7) 开发先进的模具加工和专用设备,使成形表面的加工和光整加工向精密、自动化方向发展。随着各种新技术的迅速发展,国外已出现了模具自动加工系统,该系统由多台机床合理组合而成,配有随行定位夹具或定位盘,有完整的机具、刀具数控库和数控柔性同步系统,具有实时质量监测控制系统。大力开发和推广使用先进数控加工中心、数控电火花成形加工设备、计算机控制连续轨迹坐标磨床和配有CNC修整装配与精密测量装置的成形磨削加工设备等,使成形表面的加工和模具的抛光、研磨等光整加工技术向计算机控制和高精度加工方向发展,提高模具制造技术水平。日本的模具制造企业已普遍采用CNC机床、加工中心(MC)或CNC电火花加工设备。名古屋金型公司由于采用CNC机床、加工中心等先进加工设备,大大缩短了模具的交货期限,降低了生产成本。公司生产汽车前后尾灯灯罩注射模的交货期限为三个月,其中用于CAD和CAM的时间分别约为100h,机械加工时间为100h左右,其余时间为抛光和装配时间。这个以生产汽车前后尾灯灯罩注射模为主的小型模具厂,在20多台机加工设备中,电火花成形加工设备约占1/3,CNC铣床和加工中心约占2/3,只有1台加工深孔的枪钻为半自动设备。

8) 提高模具及模具标准件、重要辅件的标准化及模具生产企业专业化程度。模具标准件的种类、数量、水平、生产集中度等对整个模具行业的发展有重大影响。必须不断提高我国模具标准化水平,以提高模具质量、缩短模具生产周期、降低成本。强调模具企业技术的专业化发展,提升模具企业的专有技术和社会化能力是我国模具技术发展的必由之路。

1.3 模具制造的特点及基本要求

1.3.1 模具制造的特点

模具制造属于机械制造的范畴,但是,由于模具是一种专用的、高技术附加值的精密成形工艺装备,和普通的机械制造技术相比,模具制造具有以下特殊性:

(1) 单件、小批量生产 模具是进行大批量生产用的高寿命专用工艺装备,通常每套模具只能生产某一特定形状、尺寸和精度的制件,且使用寿命可达上千万次,因此,模具生产属于单件、多品种生产。模具的设计制造周期较长,需要几个月甚至更长的时间。

(2) 精度和表面质量要求高 为保证制品的精度,模具的制作精度和表面质量要求较高,模具各相关结构件之间的相对位置精度要求也较高。模具工作部分的制造公差应控制在 $\pm 0.01\text{mm}$ 之间,表面粗糙度 Ra 应小于 $0.8\mu\text{m}$,多数可达 $0.1\sim 0.4\mu\text{m}$ 。多工位级进精密冲模中凹模镶件的重复定位精度和步距精度可达 $0.002\sim 0.005\text{mm}$ 。

(3) 形状复杂 模具的工作部分多为二维或三维复杂曲面,如汽车覆盖件、飞机零件、玩具、家用电器等模具的表面,常由多种曲面组合而成,因此模具型腔(面)就很复杂,加工难度大。

(4) 材料硬度高 模具主要成形件多采用淬火合金工具钢或硬质合金制造,这类钢材从毛坯锻造、加工到热处理均有严格要求。模具材料硬度高,采用传统的机械加工方法较难加工,故常采用电加工等特种加工方法。



1.3.2 模具制造的基本要求

在应用模具进行生产时,为保证产品质量、提高生产率、降低成本,就必须正确进行模具设计,采用合理的模具结构,并以先进的模具制造技术作保证。模具制造应满足以下几个基本要求:

(1) 制造精度高 制件的精度在很大程度上取决于模具的精度和表面质量,因此,为了生产出合格的产品,设计、制造的模具必须具有较高的精度。模具工作部分的精度通常要比制件的精度高出2~4级。组成模具的零部件必须有足够高的制造精度,模具的上、下模的配合,镶块与型腔的组合,模块之间的拼合均要求有较高的精度,这样才能生产出合格的制品,延长模具使用寿命。

(2) 制造周期短 模具的生产周期是指从模具订货到试模、交货所需的时间。新产品更新换代的加快和市场竞争的日趋激烈,要求模具的制造周期越来越短。模具制造的周期一般由模具制造的技术水平和生产管理水平来决定。在保证质量的前提下,应尽量缩短模具制造周期,满足生产要求,提高产品竞争力。

(3) 使用寿命长 模具是比较昂贵的工艺装备,造价约为产品成本的10%~30%,其使用寿命的长短直接影响产品成本的高低。因此,除新产品试制和小批量生产等特殊情况下,一般要求模具有较长的使用寿命。精密冲模的使用寿命可达10000万~20000万次,我国无锡国盛精密模具有限公司生产的空调器翅片级进模使用寿命可达5亿冲次。非淬火钢注射模具使用寿命,国内可达10万~30万次,国外可达10万~60万次;淬火钢模具使用寿命,国内可达50万~100万次,国外可达160万~300万次。

(4) 模具成本低 模具的成本与模具结构的复杂程度、模具材料、制造精度要求及制造方法等因素有关。必须根据制件要求合理设计和制订模具制造工艺,降低成本。

模具制造所要求的上述四个指标是相互关联、相互影响的。片面追求模具制造精度和使用寿命必然导致制造成本的增加。当然,为了降低成本和缩短制造周期而忽视模具精度和使用寿命也是不可取的。在设计和制造模具时,应根据实际情况作全面考虑,在保证制件质量的前提下,选择与产品生产批量相适应的模具结构和制造方法,最大限度降低模具成本。

1.4 本课程的性质、任务和要求

本课程是材料成形及控制工程专业(塑性成形及模具方向)和模具设计与制造专业的核心专业课程之一。在学习本课程之前,学生应该已修完“金属工艺学”,并已开始学习“冲压工艺与模具设计”、“锻造工艺与模具设计”、“塑料成型工艺与模具设计”等课程,对模具设计已有初步的了解。模具设计与制造之间的关系非常密切,作为一个模具设计人员,还应该熟悉和掌握模具制造工艺和技术方面的相关知识,这样才能保证自己所设计的模具能够顺利加工出来,并具有良好的工艺性和经济性。如果所设计的模具不知用什么方法制造,甚至无法加工,那么无论其功能再全、精度再高,其设计的合理性都无从谈起。本课程的任务是使学生掌握模具制造所必备的工艺知识和技术,提高合理设计模具的能力,成为一名优秀的模具设计师。

工业生产的发展和材料成形新技术的应用,对模具制造技术提出了越来越高的要求。模

具的制造方法已不再是传统意义上的手工作业和一般的机械加工，而是趋于复杂化和多样化，是先进制造技术和管理与一般机械加工方法的有机结合。模具制造广泛采用电火花成形、数控线切割、电化学加工、超声波加工、激光加工及成形磨削、数控仿形和快速成形等现代加工技术。因此，通过本课程的学习，要求学生掌握各种模具加工方法的基本原理、特点及加工工艺，掌握各种加工方法对模具结构的要求，模具加工的工艺规程、加工、装配和生产管理等，提高学生分析模具结构工艺性的能力。

本课程综合性和实践性很强，涉及的知识面较广。因此，学生除了要重视课堂上工艺知识、技术原理和特点的理论学习外，还应该特别注意实践环节，尽可能多参加现场教学和实验，注重生产实习和参观，不断丰富自己的实践知识，提高本课程的学习效果。

思考与练习

1. 简述模具工业在国民经济中的重要地位。
2. 简述我国模具技术的现状及发展趋势。
3. 模具制造的基本要求和特点是什么？