



普通高等教育机械类“十二五”规划系列教材

模具设计与制造

MUJU SHEJI YU ZHIZAO

主 编 李小海 王晓霞

副主编 张 霞 郭 臣 殷宝麟

主 审 王俊发



Technology
Programming



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育机械类“十二五”规划系列教材

模具设计与制造

主 编 李小海 王晓霞

副主编 张 霞 郭 臣 殷宝麟

主 审 王俊发

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以冲压模具和塑料模具设计与制造为主要内容,以突出工艺分析、典型模具结构设计、典型模具零件制造、典型模具装配与调试为重点,系统讲述有关模具设计和制造方面的知识。本书所举的模具实例结构系统新颖,所讲述的技术内容全面,书中配有丰富的数据和图表,实用性强,能开拓思路,概念清晰易懂,便于自学。

本书适合作为相关专业本、专科生课程教材,也适合模具设计、制造工程技术人员及工人参考使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

模具设计与制造/李小海,王晓霞主编. —北京:电子工业出版社,2011.5

(普通高等教育机械类“十二五”规划系列教材)

ISBN 978-7-121-13372-5

I. ①模… II. ①李… ②王… III. ①模具—设计—高等学校—教材 ②模具—制造—高等学校—教材
IV. ①TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 074955 号

策划编辑:李 洁(ljje@phei.com.cn)

责任编辑:刘真平

印 刷:北京丰源印刷厂

装 订:三河市鹏成印业有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:19 字数:536 千字

印 次:2011 年 5 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:36.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

模具作为工业生产的基础工艺装备,其生产制件所表现出的高精度、高复杂程度、高一致性、高生产效率和低耗能、低耗材特点,是一般机械加工不可比拟的。模具设计与制造技术已越来越引起各产业部门的重视,国外将模具比喻为“金钥匙”、“金属加工帝皇”、“进入富裕社会的原动力”。日本、美国等发达国家模具工业的产值早已超过了机床工业的产值。模具技术已成为衡量一个国家产品制造水平的重要标志之一,是十分重要的装备工业。但是,在我国的模具市场上,技术含量较低的低档模具已供过于求,技术含量较高的中高档模具却供不应求,技术含量较高的大型、精密、复杂、长寿命模具 60%以上需要进口,每年需要花 10 多亿美元。因此,发展高精度、高技术产品的模具是我们未来发展的目标和方向。

目前,在我国模具设计与制造方面的人才还是相当紧缺的,这也是制约我国模具快速发展的一个瓶颈,大力加强模具方面人才的培养是十分紧迫的问题。随着科技进步和产业结构的调整,机械行业对高级应用型人才的综合能力要求越来越高,对复合型人才的需求越来越强,因而在应用型人才的培养中,就需要拓宽他们的知识面,以适应社会发展的需要。根据模具行业对人才能力的培养要求,让学生在动手的实践中,掌握技能,学习专业知识。我们基于行动导向的教学方法,应用了大量的模具结构简图,编写出理论实践一体化的特色教材,以适应应用型人才培养教育课程体系的改革。本书内容全面,通俗易懂,在模具装配和调试章节中,提供了冲压模具典型零件及模具结构的三维立体图形,直观形象。同时,本书最后以附录的形式,摘录了部分相关的设计资料和必要的技术数据。

本书以冲压模具和塑料模具设计与制造为主要内容,共分 10 章,可按 56 学时计划授课,包括冲压模具中的冲裁模、弯曲模、拉深模和局部成形模具设计、塑料成型基础知识、注射成型模具设计、其他塑料成型模具设计、典型模具零件制造工艺和模具装配与调试。本书以强化应用为重点,突出工程实践能力的培养,是我们在多年从事冲压工艺与模具设计与制造、塑料成型工艺和模具设计与制造教学及科研经验的基础上,参考国内外先进技术成果编写而成的,以培养高技能人才为目标。本书以就业为导向,体现了教学内容的先进性和前瞻性。

本书由佳木斯大学李小海副教授(编写第 1~4 章)、王晓霞教授(编写第 6~8 章)任主编;佳木斯大学张霞副教授(编写第 9 章)、殷宝麟讲师(编写第 10 章)、鹤岗市斯达排沙潜水泵有限公司郭臣高级工程师(编写第 5 章)任副主编;佳木斯大学史立秋副教授、颜兵兵副教授和西北工业大学明德学院雷玲讲师也参与部分编写和整理工作,并由佳木斯大学王俊发教授任主审。全书由李小海副教授统稿与定稿。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请有关专家和读者不吝赐教。

李小海

2011 年 5 月于佳木斯

目 录

第1章 绪 论	1	2.6.3 搭边和条料、带料宽度的确定	23
1.1 模具及模具制造技术概念	1	2.7 冲裁模主要零部件设计	25
1.2 模具在工业生产中的作用	2	2.7.1 凹模设计	25
1.3 模具的种类	2	2.7.2 凸模设计	29
1.4 模具材料的选择	3	2.7.3 模架与导向零件	33
1.5 工业生产对模具的基本要求	5	2.7.4 固定板与垫板	36
1.6 模具设计与制造的发展趋势	6	2.7.5 条料导向装置	37
第2章 冲裁及冲裁模设计	9	2.7.6 定位零件	37
2.1 冲裁变形过程分析及其断面特征	9	2.7.7 卸料与顶件(推件)装置	40
2.1.1 冲裁变形过程分析	9	2.7.8 模具的闭合高度	42
2.1.2 冲裁断面特征	10	2.7.9 常用压力机简介	44
2.2 冲裁件的工艺性	10	2.7.10 冲压设备选择	45
2.2.1 对结构的基本要求	11	2.8 冲裁模的典型结构	45
2.2.2 冲裁件的尺寸精度和粗糙度	12	2.8.1 冲裁模分类	45
2.3 冲裁间隙	12	2.8.2 冲裁模的组成零件	46
2.3.1 冲裁间隙的概念	12	2.8.3 冲裁模典型结构分析	46
2.3.2 间隙对冲裁的影响	12	思考题	52
2.3.3 间隙值确定	13	第3章 弯曲及弯曲模设计	53
2.4 冲裁模刃口尺寸计算	14	3.1 基本概念	53
2.4.1 凸、凹模尺寸计算原则	14	3.1.1 典型的弯曲件	53
2.4.2 凸、凹模分开加工时尺寸与 公差的计算	15	3.1.2 弯曲变形过程	53
2.4.3 凸、凹模配合加工时尺寸与 公差的计算	16	3.1.3 弯曲的应力与应变	54
2.4.4 配合加工计算实例	17	3.2 弯曲件的回弹	57
2.5 冲裁力和压力中心的确定	18	3.2.1 弯曲件回弹现象	57
2.5.1 冲裁力 F	18	3.2.2 影响回弹的因素	58
2.5.2 减小冲裁力的方法	18	3.2.3 回弹量的计算	59
2.5.3 卸料力、推件力及顶件力计算	19	3.2.4 减小回弹的措施	62
2.5.4 压力机吨位选择	20	3.2.5 弯曲件的工艺性	64
2.5.5 模具压力中心的确定	20	3.3 弯曲件毛坯尺寸计算	66
2.6 排样	21	3.3.1 有圆角半径弯曲件展开 长度计算 ($r > 0.5t$)	67
2.6.1 排样方法	21	3.3.2 无圆角半径或圆角半径很小的 弯曲件展开长度计算 ($r < 0.5t$)	67
2.6.2 材料的利用率	22	3.3.3 铰链弯曲件展开长度计算	68

3.3.4	棒料弯曲件展开长度计算	69	4.5.1	拉深凸模和凹模的结构	108
3.4	弯曲模典型结构	69	4.5.2	拉深凸模与凹模的圆角半径	110
3.4.1	V形件弯曲模	69	4.5.3	拉深模间隙	112
3.4.2	U形件弯曲模	70	4.5.4	拉深凸、凹模工作部分尺寸及公差	112
3.4.3	┐形件弯曲模	71	4.5.5	拉深凸模的出气孔尺寸	113
3.4.4	圆形件弯曲模	71	4.5.6	拉深模的压边圈	114
3.4.5	Z形件弯曲模	72	4.6	拉深模结构示例	116
3.4.6	有斜楔装置的弯曲模	72	4.6.1	首次拉深模	116
3.5	弯曲模设计的几个问题	73	4.6.2	以后各次拉深模	118
3.5.1	弯曲模工作部分尺寸计算	73	4.6.3	反拉深模	118
3.5.2	模具设计中的定位问题	76	4.6.4	拉深复合模	119
3.6	弯曲力的计算	77	思考题		119
3.6.1	自由弯曲阶段弯曲力	78	第5章	局部成形工艺及模具设计	120
3.6.2	校正弯曲的弯曲力	79	5.1	胀形	120
3.6.3	顶件力和压料力	80	5.1.1	起伏成形	120
3.6.4	压力机吨位的确定	80	5.1.2	凸肚	122
思考题		80	5.2	缩口	123
第4章	拉深及拉深模设计	81	5.2.1	缩口变形程度的计算	124
4.1	拉深的基本原理	81	5.2.2	缩口后材料厚度的变化及缩口的毛坯计算	124
4.1.1	拉深的工艺特点	81	5.3	翻边	125
4.1.2	圆筒件拉深的应力应变状态	82	5.3.1	圆孔翻边	125
4.2	拉深件的工艺性	83	5.3.2	外缘翻边	127
4.2.1	拉深件的形状要求	83	5.3.3	毛坯形状的修正	128
4.2.2	拉深件的尺寸要求	84	5.3.4	翻边模	129
4.2.3	拉深件的尺寸标注	85	5.4	整形与校平	130
4.2.4	拉深件的尺寸精度要求	85	5.4.1	校平	130
4.2.5	拉深件的材料	86	5.4.2	整形	131
4.2.6	拉深工艺的辅助工序	86	5.5	旋压	131
4.3	圆筒形件的工艺计算	87	5.5.1	普通旋压	132
4.3.1	切边余量的确定	87	5.5.2	强力旋压(旋薄)	133
4.3.2	毛坯尺寸的计算	87	思考题		135
4.3.3	拉深系数和拉深次数的计算	90	第6章	塑料成型基础知识	136
4.3.4	压边力、拉深力和拉深功的计算	98	6.1	塑料及塑料工业的发展	136
4.4	其他形状零件拉深	101	6.2	塑料模具及其发展	137
4.4.1	阶梯圆筒形件的拉深	101	6.3	塑料的组成	137
4.4.2	球形、抛物线形及锥形件的拉深	102	6.4	塑料成型过程中的物理和化学行为	139
4.4.3	矩形件的拉深	104	6.4.1	塑料的热力学性能	139
4.5	拉深模主要工作零件设计	108	6.4.2	高聚物的取向与影响因素	140

6.4.3	高聚物的降解与交联	141	7.7.1	推出机构及其组成	196
6.5	塑料的成型工艺性能	142	7.7.2	推出机构的设计原则	197
6.5.1	热塑性塑料的成型工艺性能	142	7.7.3	简单推出机构	197
6.5.2	热固性塑料的成型工艺性能	145	7.7.4	带螺纹塑件推出机构设计	200
6.6	塑料成型工艺	146	7.7.5	推出机构的复位	202
6.6.1	注射成型	146	7.8	侧向分型与抽芯机构	203
6.6.2	压缩成型	153	7.8.1	斜导柱侧向分型与抽芯机构	204
6.6.3	压注(传递)成型	154	7.8.2	其他形式的侧向分型与抽芯机构	208
6.6.4	挤出成型	154	7.9	注射模温度调节系统设计	209
6.7	塑料的分类	155	7.9.1	加热装置设计	209
6.8	常用塑料	155	7.9.2	冷却装置设计	210
6.8.1	热塑性塑料	155	7.10	注射模设计程序及实例	211
6.8.2	热固性塑料	159	7.10.1	注射模设计程序	211
6.9	塑料制件设计	160	7.10.2	注射模设计实例	212
6.9.1	塑件的结构设计	160	思考题	218	
6.9.2	塑件的尺寸精度和表面质量	165	第8章	其他塑料成型模具设计	219
思考题	166	8.1	热固性塑料成型模具设计	219	
第7章	注射成型模具设计	168	8.1.1	压缩模的组成	219
7.1	注射模的分类及典型结构	168	8.1.2	压缩模的分类	220
7.1.1	注射模的结构组成	168	8.1.3	压缩模的设计	221
7.1.2	注射模的分类及典型结构	169	8.1.4	压注模的设计	224
7.1.3	型腔总体布局	172	8.2	挤出模设计	225
7.1.4	模具分型面的选择	173	8.2.1	挤出模概述	225
7.2	注射模与注射机的关系	175	8.2.2	管材挤出模设计	227
7.2.1	注射机的基本技术参数	175	8.3	中空吹塑模设计	230
7.2.2	注射机基本参数的校核	177	思考题	232	
7.3	浇注系统设计	180	第9章	典型模具零件的制造工艺	233
7.3.1	浇注系统的组成及设计原则	180	9.1	模架的制造工艺	233
7.3.2	主流道设计	181	9.1.1	冷冲模模架	233
7.3.3	分流道设计	183	9.1.2	注射模模架	238
7.3.4	浇口设计	184	9.2	凸模类零件的制造工艺	242
7.3.5	冷料穴	186	9.2.1	加工特点	242
7.3.6	排气槽	187	9.2.2	圆形凸模的加工工艺	242
7.3.7	热流道注射模简介	187	9.2.3	非圆形凸模的加工工艺	243
7.4	成型零件设计	188	9.3	凹模型孔的制造工艺	248
7.5	模具的标准化	193	9.3.1	加工特点	248
7.6	导向机构设计	194	9.3.2	圆形型孔凹模的加工	248
7.6.1	导柱与导套	194	9.3.3	非圆形型孔凹模的加工	251
7.6.2	导向机构的设计原则	196	9.4	型腔的制造工艺	260
7.7	推出机构设计	196			

9.4.1 回转曲面型腔的车削	261	10.4.1 无导向单工序模装配	279
9.4.2 非回转曲面型腔的铣削	263	10.4.2 筒形拉深模装配	281
9.4.3 电加工	268	附录 A 常用热塑性塑料注射成型的	
思考题	271	工艺参数	285
第 10 章 模具装配与调试	272	附录 B 斜导柱倾角、脱模力与最大	
10.1 概述	272	弯曲力的关系	286
10.1.1 装配精度	272	附录 C 斜导柱倾角、高度 H_w 、最大弯	
10.1.2 装配方法	273	曲力和斜导柱直径的关系	287
10.1.3 装配工艺过程	274	附录 D 塑件尺寸公差	289
10.2 模具的装配	275	附录 E 常用塑料模塑件尺寸公差	
10.2.1 冲裁模装配的主要技术要求	275	等级的选用	291
10.2.2 凸、凹模间隙的控制方法	275	附录 F 塑料件表面粗糙度标准	
10.2.3 模具零件的固定方法	277	(GB/T 14234—1993)	292
10.3 冲压模具的调试	279	参考文献	293
10.4 冲压模具的装配实例	279		

第1章

绪 论

1.1 模具及模具制造技术概念

模具是用来成型物品的工具，这种工具由各种零件构成，不同的模具由不同的零件构成。它主要通过所成型材料物理状态的改变来实现物品外形的加工。

模具是能生产出具有一定形状和尺寸要求的零件的一种生产工具，也就是通常人们所说的模子。例如，电视机、电话机的外壳，塑料桶等商品，是把塑料加热软体注进模具冷却成型生产出来的；蒸饭锅也是由金属平板用模具压成这样的形状的。如图 1-1 所示为多工位精密级进模。

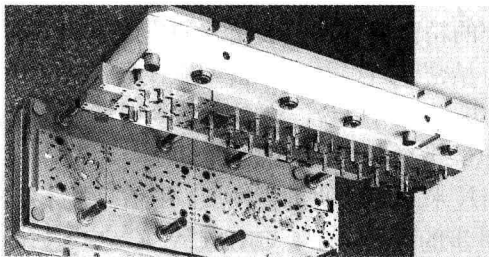


图 1-1 多工位精密级进模

那么模具又是怎样做出来的呢？首先它由模具设计人员根据产品（零件）的使用要求，把模具结构设计出来，绘出图纸，再由技术工人按图纸要求通过各种机械的加工（如车床、刨床、铣床、磨床、电火花、线切割）做好模具上的每个零件，然后组装调试，直到能生产出合格的产品。

模具制造就是指在相应的制造装备和制造工艺的条件下，直接对模具零件用材料进行加工，以改变其形状、尺寸、相对位置和性质，使之成为符合要求的零件，再将这些零件经配合、定位、连接并固定装配成为模具的过程。这一过程是按照各种专业工艺、工艺过程管理以及工艺顺序进行加工和装配来实现的。

模具制造技术就是运用各类生产工艺装备和加工技术，生产出各种特定形状和加工作用的模具，并使其应用于实际生产中的系列工程应用技术。它包括：产品零件的分析技术，模具的设计、制造技术，模具的质量检测技术，模具的装配、调试技术，以及模具的使用、维护技术等。

1.2 模具在工业生产中的作用

模具是工业生产的基础工艺装备,在电子、汽车、电动机、电器、仪器、仪表、家电和通信等产品中,60%~80%的零部件都要依靠模具成型。螺钉、螺母、垫圈等标准件,没有模具就无法大量生产。并且,推广工程塑料、粉末冶金、橡胶、合金压铸、玻璃成型等工艺也全部需要用模具来完成批量生产。因此,模具是发展和实现材料成型不可缺少的工具,也是工业生产中应用极为广泛的重要工艺装备。模具生产能够提高效率,易于大批量、标准化生产,少切削、无切削的生产,降低产品成本。用模具生产制件所表现出来的高精度、高复杂程度、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、上百倍。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。在工业生产中,产品的更新换代少不了模具。如果模具供应不及时,很可能造成停产;如果模具精度不高,产品质量就得不到保证;模具结构及生产工业落后,产品质量难以提高。随着近代工业的发展和产品更新换代周期的加快,模具的需求量日益增长,对模具设计与制造水平不断提出更高的要求。

模具工业在我国国民经济中的重要地位和作用表现在以下几点:

第一,模具工业是高新技术产业的一个组成部分。例如,属于高新技术领域的集成电路的设计与制造,不能没有做引线框架的精密级进冲模和精密的集成电路塑封模;计算机的机壳、接插件和许多元器件的制造,也必须有精密塑料模具和精密冲压模具;数字化电子产品(包括通信产品)的发展,没有精密模具也不行。因此,可以说,许多高精度模具本身就是高新技术产业的一部分。有些生产高精度模具的企业,已经被命名为高新技术企业。

第二,模具工业又是高新技术产业化的重要领域,用信息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,使模具的设计制造技术发生了重大变革。

第三,模具工业是装备工业的一个组成部分。根据《国家中长期人才发展规划纲要(2010—2020年)》的具体要求,模具设计与制造新技术被列为国家紧缺人才培养计划。我国目前正在成为国际的制造中心,成为制造业大国,而模具是各种产品大批量生产的基础装备,没有模具就不能实现批量生产,提高产品质量,降低成本。一个国家从制造大国走向制造强国,模具在其中扮演着十分重要的角色。

第四,国民经济的五大支柱产业——机械、电子、汽车、石化、建筑,都要求模具工业的发展与之相适应。机械、电子、汽车工业需要大量的模具,特别是轿车大型覆盖件模具、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。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成型。

1.3 模具的种类

模具分类方法很多,过去常使用的有:按模具结构形式分类,如单工序模、复式冲模等;按使

用对象分类，如汽车覆盖件模具、电动机模具等；按加工材料性质分类，如金属制品用模具、非金属制品用模具等；按模具制造材料分类，如硬质合金模具等；按工艺性质分类，如拉深模、粉末冶金模、锻模等。这些分类方法中，有些不能全面地反映各种模具的结构和成型加工工艺的特点，以及它们的使用功能。为此，采用以使用模具进行成型加工的工艺性质和使用对象为主的综合分类方法，将模具分为十大类，如表 1-1 所示，又可根据模具结构、材料、使用功能及制模方法等将其分为若干小类或品种。

表 1-1 模具的种类

序 号	模 具 类 型	模 具 品 种	工艺性质及使用对象
1	冲压模具（冲模）	冲裁模（无、少废料冲裁、整修，光洁冲裁，深孔冲裁精冲模等）、弯曲模具、拉深模具、单工序模具（冲裁、弯曲、拉深、成形等）、复合冲模、级进冲模；汽车覆盖件冲模、组合冲模、电动机硅钢片冲模	板材冲压成形
2	塑料成型模具	塑料注射（塑）模具、塑料压塑模具、塑料挤出模具、塑料吹塑模具、塑料吸塑模具、高发泡聚苯乙烯成型模具等	塑料制品成型工艺（热固性和热塑性塑料）
3	压铸模	热室压铸机用压铸模，立式冷室压铸机用压铸模，卧式冷室压铸机用压铸模，全立式压铸机用压铸模，有色金属（锌、铝、铜、镁合金）压铸模，黑色金属压铸模	有色金属与黑色金属压力铸造成形工艺
4	锻造成形模具	模锻和大型压力机用锻模，螺旋压力机用锻模，平锻机锻模，辊锻模等；各种紧固件冷镦模，挤压模具，拉丝模具，液态锻造用模具等	金属零件成形，采用锻压、挤压
5	铸造用金属模具	各种金属零件铸造时采用的金属模型	金属浇铸成形工艺
6	粉末冶金模具	压制模具：单向压模、双向压模、浮动阴模双向压模、引下式压模、摩擦芯杆压模、组合模冲压模、组合阴模压模、组合芯杆压模、旋转压模等； 精整模具：径向精整模、全精整模； 复制模具：复压模、热复压模、旋转压模； 锻造模具：闭式锻模、开式锻模	粉末制品压坯的压制成形工艺
7	玻璃制品模具	吹-吹法成型瓶罐模具，压-吹法成型瓶罐模具，玻璃器皿用模具等	玻璃制品成型工艺
8	橡胶成型模具	橡胶制品的压胶模、挤胶模、注射模。橡胶轮胎模，O 形密封圈橡胶模等	橡胶压制成型工艺
9	陶瓷模具	各种陶瓷器皿等制品用的成型金属模具	陶瓷制品成型工艺
10	经济模具（简易模具）	低熔点合金成形模具，薄板冲模，叠层冲模，硅橡胶模，环氧树脂模，陶瓷型精铸模，叠层型腔塑料模，快速电铸成形模等	适用多品种小批量工业产品用模具，有很高的经济价值

1.4 模具材料的选择

模具选材是整个模具制作过程中非常重要的一个环节。模具选材需要满足三个原则：模具满足耐磨性、强韧性等工作需求，模具满足工艺要求，同时模具应满足经济适用性要求。

1. 模具满足工作条件要求

1) 耐磨性

坯料在模具型腔中塑性变形时,沿型腔表面既流动又滑动,使型腔表面与坯料间产生剧烈的摩擦,从而导致模具因磨损而失效。所以材料的耐磨性是模具最基本、最重要的性能之一。

硬度是影响耐磨性的主要因素。一般情况下,模具零件的硬度越高,磨损量越小,耐磨性也越好。另外,耐磨性还与材料中碳化物的种类、数量、形态、大小及分布有关。

2) 强韧性

模具的工作条件大多十分恶劣,有些常承受较大的冲击负荷,从而导致脆性断裂。为防止模具零件在工作时突然脆断,模具要具有较高的强度和韧性。模具的韧性主要取决于材料的含碳量、晶粒度及组织状态。

3) 疲劳断裂性能

模具工作过程中,在循环应力的长期作用下,往往导致疲劳断裂。其形式有小能量多次冲击疲劳断裂、拉伸疲劳断裂、接触疲劳断裂及弯曲疲劳断裂。模具的疲劳断裂性能主要取决于其强度、韧性、硬度,以及材料中夹杂物的含量。

4) 高温性能

当模具工作温度较高时,会使硬度和强度下降,导致模具早期磨损或产生塑性变形而失效。因此模具材料应具有较高的抗回火稳定性,以保证模具在工作温度下具有较高的硬度和强度。

5) 耐冷热疲劳性能

有些模具在工作过程中处于反复加热和冷却的状态,使型腔表面受拉、压力变应力的作用,引起表面龟裂和剥落,增大摩擦力,阻碍塑性变形,降低了尺寸精度,从而导致模具失效。冷热疲劳是热作模具失效的主要形式之一,这类模具应具有较高的耐冷热疲劳性能。

6) 耐蚀性

有些模具如塑料模具在工作时,由于塑料中存在氯、氟等元素,受热后解析出 HCl 、 HF 等强侵蚀性气体,侵蚀模具型腔表面,加大其表面粗糙度,加剧磨损失效。

2. 模具满足工艺性能要求

模具的制造一般都要经过锻造、切削加工、热处理等几道工序。为保证模具的制造质量,降低生产成本,其材料应具有良好的可锻性、切削加工性、淬硬性、淬透性及可磨削性;还应具有小的氧化、脱碳敏感性和淬火变形开裂倾向。

1) 可锻性

具有较低的热锻变形抗力,塑性好,锻造温度范围宽,锻裂冷裂及析出网状碳化物倾向低。

2) 退火工艺性

球化退火温度范围宽,退火硬度低且波动范围小,球化率高。

3) 切削加工性

切削用量大,刀具损耗低,加工表面粗糙度低。

4) 氧化、脱碳敏感性

高温加热时抗氧化性能好,脱碳速度慢,对加热介质不敏感,产生麻点倾向小。

5) 淬硬性

淬火后具有均匀而高的表面硬度。

6) 淬透性

淬火后能获得较深的淬硬层,采用缓和的淬火介质就能淬硬。

7) 淬火变形开裂倾向

常规淬火体积变化小,形状翘曲、畸变轻微,异常变形倾向低。常规淬火开裂敏感性低,对淬火温度及工件形状不敏感。

8) 可磨削性

砂轮相对损耗小,无烧伤极限磨削用量大,对砂轮质量及冷却条件不敏感,不易发生磨伤及磨削裂纹。

3. 模具满足经济性要求

在给模具选材时,必须考虑经济性这一原则,尽可能地降低制造成本。因此,在满足使用性能的前提下,首先选用价格较低的,能用碳钢就不用合金钢,能用国产材料就不用进口材料。

另外,在选材时还应考虑市场的生产和供应情况,所选钢种应尽量少而集中,易购买。

1.5 工业生产对模具的基本要求

模具是一种高精度、高效率的工艺设备,是生产制件的专用工具,模具的精度直接影响制件的质量。对于模具的基本要求是使模具在足够的寿命期内,能够稳定地生产出质量合格的制件。因此,对模具的基本要求是:精度高、质量好、寿命长、成本低、结构简单、安全可靠。

1. 模具精度

模具精度主要是指模具成型零件的工作尺寸及精度和成型表面的表面质量。模具精度可分为模具本身的精度和发挥模具效能所需的精度。例如,凸模、凹模、凸凹模等零件的尺寸精度、形状精度和位置精度属于模具零件本身的精度,各零件装配后,面与面或面与线之间的平行度、垂直度、定位及导向配合等精度,都是为了发挥模具效能所需的精度。但通常所讲的模具精度主要是指模具工作零件或成型零件的精度及相互位置精度。

模具精度越高,则成型的制件精度也越高。但过高的模具精度会受到加工技术手段的制约。故模具精度的确定一般要与所成型的制件精度相协调,同时,还要考虑现有模具的生产条件。

2. 模具寿命

模具的寿命是指模具能够生产合格制品的耐用程度,是模具因为磨损或其他形式失效终至不可修复而报废之前所成型制件的总数。

模具在报废之前所完成的工作循环次数或所产生制件的数量称为模具的总寿命。除此以外,还应考虑模具在两次修理之间的寿命,如冲裁模和刃磨寿命。在设计和制造模具时,用户都会提出关于模具寿命的要求,这种要求称为模具的期望寿命。确定模具的期望寿命应综合考虑技术上的可能性和经济上的合理性。一般而言,制件生产量较小时,模具寿命只需满足制件生产量的要求就足够了。此时,在保证模具寿命的前提下,应尽量降低模具成本。当制件为大批量生产时,即使需要很高的模具成本,也应尽可能提高模具的使用寿命和使用效率。

3. 模具结构

在工业生产中,模具的用途广泛,种类繁多,模具的结构也多种多样。模具结构对模具受力状态的影响很大,合理的模具结构能使模具工作时受力均匀,应力集中小,也不易偏载,更能提高模具寿命。模具结构设计时,在保证产品质量的前提下,应考虑零件制造工艺,降低加工难度,

合理选择模具材料,减少模具成本,尽量使模具结构简单,工人操作方便,确保人身安全,防止设备事故。

4. 模具制造周期

模具制造一般都是单件生产,其生产周期较长。模具生产周期($T_{\text{生产}}$)大致可按下式表达。

$$T_{\text{生产}} = T_{\text{准备(开始)}} + T_{\text{设计}} + T_{\text{准备生产}} + T_{\text{零件制造}} + T_{\text{装配}} + T_{\text{验收}} + T_{\text{终结}}$$

为了控制好模具制造周期,按时完成生产任务,在模具生产过程中应做好以下几项工作:

- ① 模具设计时,须采用标准零部件,并力求采用标准坯料。
- ② 采用高效生产工艺和装备,力求最大限度地缩短模具和零件的制造工艺过程。
- ③ 制定严格的时间控制规则,保证计划进度。

1.6 模具设计与制造的发展趋势

1. 模具设计技术的发展趋势

模具设计长期以来依靠人的经验和机械制图来完成。自从20世纪80年代中国发展模具计算机辅助设计(CAD)技术以来,这项技术已获得认可,并且得到快速的发展。90年代开始发展的模具计算机辅助工程分析(CAE)技术,现在也为许多企业应用,它对缩短模具制造周期及提高模具质量有显著的作用。近年来模具CAD/CAM技术的硬件与软件价格已降低到中小企业普遍可以接受的程度,为其进一步普及创造了良好的条件;基于网络的CAD/CAM/CAE一体化系统结构初见端倪,它将解决传统混合型CAD/CAM系统无法满足实际生产过程分工协作要求的问题;CAD/CAM软件的智能化程度将逐步提高;塑料制件及模具的3D设计与成型过程的3D分析将在我国模具工业中发挥越来越重要的作用。就大多数模具制造企业而言,今后的发展方向应以提高数控化和计算机化水平为主,积极采用高新技术,逐步走向CAD/CAE/CAM信息技术一体化。模具无纸化制造将逐渐替代传统的设计和加工。

除了模具CAD/CAE技术之外,模具工艺设计也非常重要。计算机辅助工艺设计(CAPP)技术已开始在中国模具企业中应用。由于大部分模具都是单件生产,其工艺规程有别于批量生产的产品,因此应用CAPP技术难度较大,也难以有适合各类模具和不同模具企业的CAPP软件。为了较好地应用CAPP技术,模具企业必须做好开发和研究工作。虽然CAPP技术应用和推广的难度比CAD和CAE为高,但也必须重视这一发展方向。

基于知识的工程(KBE)技术是面向现代设计决策自动化的重要工具,已成为促进工程设计智能化的重要途径,近年来受到重视,将对模具的智能、优化设计产生重要的影响。

2. 模具加工技术的发展趋势

不同类型的模具有不同的加工方法,同类模具也可以用不同加工技术去完成。模具加工的工作主要集中在模具型面加工、表面加工和装配,加工方法主要有精密铸造、金属切削加工、电火花加工、电化学加工、激光及其他高能波束加工,以及集两种以上加工方法为一体的复合加工等。数控和计算机技术的不断发展,使它们在许多模具加工方法中得到广泛的应用。在工业产品品种多样化及个性化日益明显,产品更新换代加快,市场竞争越来越激烈的情况下,用户要求模具制造交货期短、精度高、质量好、价格低,带动模具加工技术向以下几方面发展。

1) 高速铣削技术

近年来中国模具制造业一些骨干重点企业,先后引进高速铣床和高速加工中心,它们已在模具加工中发挥了很好的作用。当前国外高速加工机床主轴的最高转速已超过 100 000r/min,快速进给速度可达 120m/min,加速度可达 1~2g,换刀时间可提高到 1~2s。这样可大幅度提高加工效率,并可获得 $Ra \leq 1\mu\text{m}$ 的加工表面粗糙度,可切削 HRC 60 以上的高硬度材料,给电火花成形加工带来挑战。随主轴转速的提高,机床结构及其所配置的系统及关键部件和零配件、刀具等都必须配合,令机床造价大为提高。中国进口的高速加工机床主轴最高转速在短期内仍将以 10 000~20 000r/min 为主,少数会达到 40 000r/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。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,在中国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 6 轴铣床的诞生,以及开放式数控系统的应用更为高速加工增添了光彩。

2) 电火花加工技术

电火花加工(EDM)虽然已受到高速铣削的严峻挑战,但是 EDM 技术的一些固有特性和独特的优点,是高速铣削所不能完全替代的,如模具的复杂型面、深窄小型腔、尖角、窄缝、沟槽、深坑等处的加工。虽然高速铣削也能满足上述部分加工要求,但成本比 EDM 高得多。较之铣削加工,EDM 更易实现自动化。复杂、精密小型腔及微细型腔和去除刀痕,完成尖角、窄缝、沟槽、深坑加工及花纹加工等,将是今后 EDM 应用的重点。

3) 快速原型制造(RPM)和快速制模(RT)技术

模具未来竞争因素是如何快速地制造出用户所需的模具。RPM 技术可直接或间接用于 RT。金属模具快速制造技术的目标,是直接制造可用于工业化生产的高精度耐久金属硬模。间接法制模的关键技术是开发短流程工艺、减少精度损失、低成本的层积和表面光整技术的集成。RPM 技术与 RT 技术的结合,将是传统快速制模技术(如中低熔点合金铸造、喷涂、电铸、精铸、层、橡胶浇固等)进一步发展的方向。RPM 技术与陶瓷型精密铸造相结合,为模具型腔精铸成形提供了新途径。应用 RPM/RT 技术,从模具的概念设计到制造完成,仅为传统加工方法所需时间的 1/3 和成本的 1/4 左右,具有广阔的发展前景。要进一步提高 RT 技术的竞争力,需要开发数据和加工数据生成更容易、高精度、尺寸及材料限制小的直接快速制造金属模具的方法。

4) 超精密加工、微细加工和复合加工技术

随着模具向精密化和大型化方向发展,超精密加工、微细加工和集电、化学、超声波、激光等技术于一体的复合加工将得到发展。目前超精密加工已稳定地达到亚微米级,纳米精度的超精密加工技术也被应用到生产。电加工、电化学加工、束流加工等多种加工技术,已成为微细加工技术的重要组成部分,国外更有用波长仅 0.5nm 的辐射波制造出的纳米级塑料模具。在一台机床上使激光铣削和高速铣削相结合,已使模具加工技术得到新发展。

5) 先进表面处理技术

模具热处理和表面处理,是能否充分发挥模具材料性能的关键。真空热处理、深冷处理、包括 PVD 和 CVD 技术的气相沉积(TiN、TiC 等)、离子渗入、等离子喷涂及 TRD 表面处理技术、类钻石薄膜覆盖技术、高耐磨高精度处理技术、不沾粘表面处理等技术已在模具制造中应用,并呈现良好的发展前景。模具表面激光热处理、焊接、强化和修复等技术及其他模具表面强化和修复技术,也将受到进一步重视。

6) 模具研磨抛光

模具的研磨抛光目前仍以手工为主,效率低,劳动强度大,质量不稳定。中国已引进了可实现

三维曲面模具自动研抛的数控研磨机,自行研究的仿人智能自动抛光技术已有一定成果,但目前的应用很少,预计会得到发展。今后应继续注意发展特种研磨与抛光技术,如挤压珩磨、激光珩磨和研抛、电火花抛光、电化学抛光、超声波抛光以及复合抛光技术与工艺装备。

7) 模具自动加工系统

随着各种新技术的迅速发展,国外已出现模具自动加工系统。模具自动加工系统应有以下特征:多台机床合理组合;配有随行定位夹具或定位盘;有完整的夹具和刀具数控库;有完整的数控柔性同步系统,以及有质量监测控制系统。也有人称同时完成粗加工和精加工的机床为模具加工系统。这些今后都会得到发展。

第2章

冲裁及冲裁模设计

冲裁是利用安装在压力机上的模具使材料产生分离的冲压工序。

冲裁通常包括落料、冲孔、切边、切口、剖切、切断等多种工序。

冲裁可以直接制成零件，也可为弯曲、拉伸、成形、冷挤压等工序准备毛坯。因此，冲裁的各工序在冲压生产中得到了广泛应用。

2.1 冲裁变形过程分析及其断面特征

2.1.1 冲裁变形过程分析

冲裁时，板料在凸、凹模中间，由于压力机滑块的作用，凸模逐渐靠近凹模，使板料分离。分离过程是在瞬时完成的。冲裁变形过程如图 2-1 所示。

1) 弹性变形阶段

在凸模压力作用下，板料产生弹性压缩、弯曲变形等，并略微挤入凹模孔口，板料与凸、凹模接触处形成很小的圆角。凸模继续下压，板料的内应力达到弹性极限，此时凸模下的板略有弯曲，凹模上板料则向上翘。材料越硬，冲裁间隙越大，弯曲和上翘越严重，如图 2-1 (a)，(b) 所示。

2) 塑性变形阶段

在弹性变形阶段末期，凸模继续压入板料，材料内部的应力逐渐增加到材料的屈服极限时，板料进入塑性变形阶段，此时由于凸、凹模之间存在间隙，材料同时伴有弯曲和拉伸变形。随着变形程度的不断增大，凸模压入板料的深度增加，变形区内材料加工硬化也逐渐加剧，冲裁力相应增大，刃口处产生应力集中，直至凸模和凹模刃口处出现剪裂纹，如图 2-1 (c) 所示。冲裁力达到最大值时塑性变形阶段即告终止。

由于凸模和凹模挤入金属板料产生塑性变形，因而分离后的断面是光亮的。塑性变形阶段剪裂纹的产生时间与材质、冲裁间隙有关。

当冲裁间隙较小，材料塑性较高时，剪切裂纹的出现较迟。这是因为冲裁间隙小，变形区对拉应力的出现有抑制作用。相反，冲裁间隙较大，板料塑性较低，剪切裂纹的出现就会提前，光亮带也就变窄。

3) 断裂阶段

冲裁过程中，凸模压入金属板料进入塑性变形阶段后，应力达到剪切强度极限时，出现剪裂纹，而且剪裂纹不断向金属板料内部扩展。当凸模和凹模刃口处上、下剪裂纹重合时，则板料被

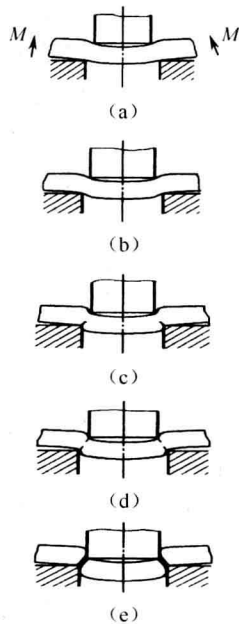


图 2-1 冲裁变形过程