

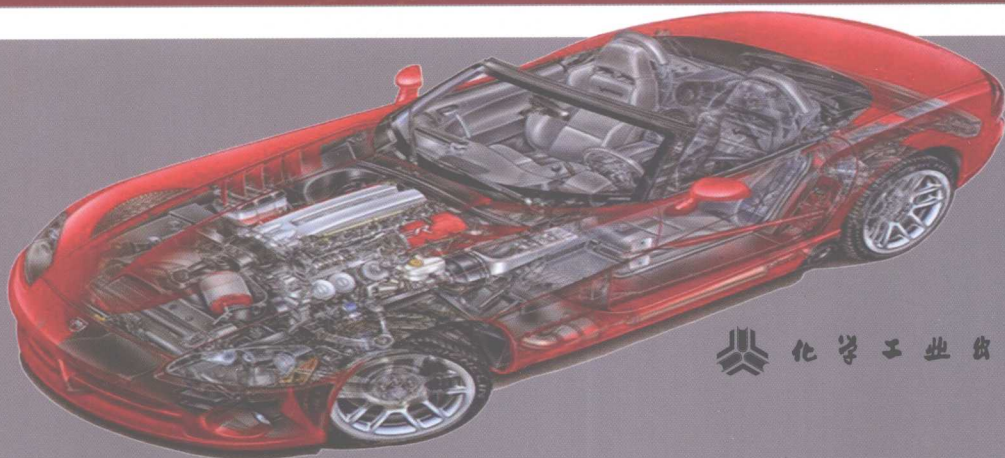
工程材料系列教材



模具材料 及表面强化技术

何柏林 主编

徐先锋 赵龙志 副主编



化学工业出版社

工程材料系列教材

模具材料 及表面强化技术

何柏林 主编

徐先锋 赵龙志 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书作为高等工科院校模具设计与制造类专业的专业课教材,与传统的相关教材相比,采用案例教学的方法,理论与实践相结合,全书注重模具材料的分类及热处理,模具材料失效分析以及材料的表面强化技术的原理及应用。做到由浅入深,易学易懂,突出模具材料的表面强化技术,兼顾原理与应用。

本书可供高等学校材料成型及控制工程专业(模具方向)的学生使用,也可供模具设计与制造专业以及材料热处理专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

模具材料及表面强化技术/何柏林主编. —北京:化学工业出版社, 2009. 6

(工程材料系列教材)

ISBN 978-7-122-05176-9

I. 模… II. 何… III. ①模具-材料-高等学校-教材②模具-金属表面处理-高等学校-教材 IV. TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 045139 号

责任编辑:唐旭华 叶晶磊

装帧设计:杨 北

责任校对:蒋 宇

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 装:北京市彩桥印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张15¼ 字数381千字 2009年6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:27.00 元

版权所有 违者必究

《模具材料及表面强化技术》编写人员

主 编 何柏林

副 主 编 徐先锋 赵龙志

编写人员 (以姓氏笔画为序)

丁阳喜 于影霞 李树桢 何柏林

陈朝霞 赵龙志 徐先锋 熊光耀

黎秋萍

前言

在模具设计与制造过程中,能否合理地选用模具材料是模具制造成功的关键问题之一,模具材料是模具制造业的物质基础和技术基础,模具制造企业和模具从业人员越来越重视各种模具材料的性能、质量及其选择和使用问题。正确和先进的模具热处理可以充分发挥模具材料的潜在能力,可以延长模具零件的使用寿命。随着科学技术的进步,模具热处理和模具表面强化技术有了飞速发展。本书是根据高等学校模具设计与制造专业的教学计划、模具材料及表面强化课程的教学大纲要求、国内外模具材料热处理及表面强化的现状及发展趋势和国内模具企业的迫切需求编写的一本专业教材。

本书注重对模具材料基本知识和基本原理的阐述,力求由浅入深,易学易懂,突出案例教学、模具失效分析方法和模具材料的表面强化技术,兼顾原理与应用。内容精炼,体系完整。在内容上力求有一定的深度和广度,反映近年来国内外模具材料、热处理和模具表面强化技术较成熟的科技成就,力图建立理论联系实际,适应模具行业科技与现代化发展需要的课程新体系,使学生能够对国内外模具材料热处理及表面强化技术领域的科技发展全貌有基本的了解。着重于模具不同工况条件下的选材、热处理新工艺、表面强化新技术新工艺,培养学生初步的合理选择模具材料、热处理工艺、表面强化方法的能力,综合运用知识对失效模具进行原因分析和解决实际问题的能力。

为确保教材质量,在编写过程中,注重发挥团队精神,协同作战精神,发挥每一位参编人员的强项。书中还配有一定量的习题,供学生熟习所讲内容,温故知新。

本书由何柏林主编,徐先锋和赵龙志副主编,南昌航空大学鲁世强教授主审。参加本书编写工作的还有:丁阳喜,李树桢,熊光耀,黎秋萍于影霞,陈朝霞等同志。

在编写的过程中,缪燕平、李德英为本书绘制了部分图片和照片,孙佳校对了部分书稿,在此一并表示感谢。

由于作者的实践经验和编写水平有限,书中难免存在不当之处,敬请专家学者和广大读者批评指正。

编者

2009年2月

目 录

第一篇 模具材料及热处理	1
1 绪论	1
1.1 模具在工业生产中的重要地位	1
1.1.1 模具在工业生产中的地位	1
1.1.2 模具在工业生产中的作用	2
1.2 模具生产的发展趋势	2
1.2.1 发展精密、高效、长寿命模具	2
1.2.2 发展高效、精密、数控自动化加工设备	3
1.2.3 模具制造的基本要求和特点	3
1.2.4 发展各种简易模具技术	4
1.3 模具材料的现状及发展趋势	4
1.4 模具选材、热处理及表面强化技术	6
1.4.1 模具选材及热处理	6
1.4.2 模具表面强化技术	6
1.5 本课程的性质和要求	6
2 模具的失效分析	8
2.1 失效分析	8
2.1.1 失效	8
2.1.2 失效分析	9
2.2 模具的服役条件与模具失效分析	9
2.2.1 模具的服役条件	9
2.2.2 模具失效分析	10
2.3 模具失效形式及失效机理	10
2.4 磨损失效	10
2.4.1 摩擦及磨损的概念	10
2.4.2 粘着磨损	11
2.4.3 磨粒磨损	12
2.4.4 腐蚀磨损	13
2.4.5 接触疲劳磨损	14
2.5 断裂失效	15
2.5.1 断裂分类	15
2.5.2 断口的宏观特征	16
2.5.3 韧性断裂的微观机制	19
2.5.4 脆性解理断裂的微观机制	19

2.5.5	准解理断裂	21
2.5.6	疲劳断裂的微观形貌	21
2.6	金属的断裂韧性	22
2.6.1	裂纹尖端应力场强度因子 K_I 及断裂韧性 K_{Ic}	22
2.6.2	脆性判据	23
2.6.3	影响断裂韧性的因素	23
2.7	变形失效	24
2.7.1	塑性变形失效	24
2.7.2	弹性变形失效	25
2.8	模具失效分析的重要性和基本内容	25
2.8.1	模具失效分析的重要性	25
2.8.2	模具失效分析的基本内容	25
2.9	影响模具失效的因素	27
2.9.1	模具结构	27
2.9.2	模具的机加工质量	28
2.9.3	模具材料	28
2.9.4	热处理	28
2.9.5	模具的服役条件	28
2.9.6	模具维护与管理	30
2.10	模具失效分析实例	30
	案例 1 Cr12 钢冷冲模早期失效原因分析	30
	案例 2 5CrMnMo 锻模使用中的失效分析与防止措施	32
	思考题	34
3	冷作模具材料及热处理	35
3.1	冷作模具材料的分类及选用	35
3.1.1	冷作模具材料的分类	35
3.1.2	冷作模具材料的性能要求	37
3.1.3	冷作模具材料的选用	39
3.2	冷作模具材料的热处理	44
3.2.1	高碳非合金冷作模具钢的热处理	44
3.2.2	高碳低合金冷作模具钢的热处理	45
3.2.3	高耐磨冷作模具钢的热处理	46
3.2.4	冷作模具用高速钢的热处理	48
3.2.5	特殊用途冷作模具钢的热处理	49
3.3	新型冷作模具钢热处理案例	49
	案例 1 GD 钢 (7CrNiSiMnMoV)	49
	案例 2 65Nb 钢 (65Cr4W3Mo2VNb)	53
	思考题	56
4	热作模具材料及热处理	57
4.1	热作模具材料的分类及选用	57

4.1.1	热作模具材料的分类	57
4.1.2	热作模具材料的特点及性能要求	59
4.1.3	热作模具钢的选用	60
4.2	热作模具材料的热处理	65
4.2.1	低耐热高韧性热作模具钢的热处理	65
4.2.2	中耐热韧性热作模具钢的热处理	66
4.2.3	高耐热性热作模具钢的热处理	67
4.2.4	奥氏体耐热模具钢的热处理	69
4.2.5	马氏体时效模具钢的热处理	70
4.3	新型热作模具钢热处理案例	72
案例 1	5Cr2 钢 (5Cr2NiMoVSi)	72
案例 2	H13 钢 (4Cr5MoSiV1)	73
案例 3	3Cr2W8V 钢制热挤压模具的热处理	75
案例 4	5CrNiMo 钢热锻模热处理工艺的改进	77
	思考题	78
5	塑料模具材料及热处理	80
5.1	塑料模具材料的分类及选用	80
5.1.1	塑料模具材料的分类	80
5.1.2	塑料模具材料的性能要求	82
5.1.3	塑料模具材料的选用	83
5.2	塑料模具钢的热处理	86
5.2.1	非合金型塑料模具钢的热处理	86
5.2.2	渗碳型塑料模具钢的热处理	87
5.2.3	预硬型塑料模具钢的热处理	88
5.2.4	时效硬化型塑料模具钢的热处理	88
5.2.5	耐腐蚀塑料模具钢的热处理	89
5.2.6	整体淬硬型塑料模具钢的热处理	90
5.3	新型塑料模具钢及其热处理案例	90
案例 1	25CrNi3MoAl 钢	90
案例 2	8Cr2S 钢 (8Cr2MnWMoVS)	92
	思考题	95
6	其他模具材料	96
6.1	铸铁模具材料	96
6.1.1	铸铁模具材料概况	96
6.1.2	铸铁模具材料的应用	96
6.2	硬质合金和钢结硬质合金模具材料	98
6.2.1	硬质合金模具材料	98
6.2.2	钢结硬质合金模具材料	102
6.3	有色金属及合金模具材料	104
6.3.1	锌基合金模具材料	104

6.3.2 低熔点合金模具材料	106
思考题	111
第二篇 模具表面强化技术	112
7 金属构件的表层残余应力	114
7.1 残余应力的基本概念	114
7.1.1 残余应力的性质及平衡条件	114
7.1.2 残余应力的分类	114
7.1.3 残余应力的极限	114
7.2 残余应力的形成	114
7.2.1 不均匀塑性变形引起的残余应力	114
7.2.2 温度差异引起的残余应力	114
7.2.3 焊接形成的残余应力	116
7.2.4 金属的相变应力	116
7.3 残余应力对金属构件性能的影响	117
7.3.1 残余应力对疲劳强度的影响	117
7.3.2 残余应力对静载强度的影响	117
7.3.3 残余应力对加工精度的影响	117
7.3.4 残余应力对刚度的影响	118
7.3.5 残余应力对应力腐蚀的影响	118
7.4 残余应力的测量	119
7.4.1 应力释放法	119
7.4.2 物理方法	120
思考题	121
8 金属表面形变强化	122
8.1 金属表面形变强化的机理及主要方法	122
8.1.1 表面形变强化原理	122
8.1.2 表面形变强化的主要方法	122
8.2 喷丸强化	123
8.2.1 喷丸强化用的设备	123
8.2.2 喷丸材料	123
8.3 喷丸强化工艺参数对材料疲劳强度的影响	124
8.3.1 喷丸表层的残余应力	124
8.3.2 喷丸表面质量及影响因素	125
8.4 表面形变强化在模具表面强化工艺中的应用	125
思考题	125
9 表面淬火	126
9.1 感应加热表面淬火	126
9.1.1 感应加热基本原理	126
9.1.2 感应加热表面淬火工艺	127
9.1.3 超高频感应加热表面淬火	127

9.1.4	双频感应加热淬火和超音频感应加热淬火	128
9.1.5	冷却方式和冷却介质的选择	129
9.1.6	感应加热淬火件的质量检验	129
9.2	火焰加热表面淬火	130
9.2.1	火焰特性	130
9.2.2	火焰加热表面淬火方法	130
9.2.3	工艺参数选择	130
9.2.4	火焰淬火的质量检验	130
9.2.5	火焰淬火的安全技术要求	131
9.3	其他表面淬火方法简介	131
9.3.1	电解液淬火	131
9.3.2	接触电阻加热淬火	132
9.3.3	浴炉加热表面淬火	132
9.4	表面淬火方法在模具表面强化工艺中的应用	132
	思考题	133
10	热扩渗技术	134
10.1	热扩渗技术的基本原理与分类	134
10.1.1	热扩渗技术的基本原理	134
10.1.2	渗层形成机理	135
10.1.3	热扩渗速度的影响因素	135
10.1.4	扩渗层的组织特征	135
10.1.5	热扩渗工艺的分类	136
10.2	渗碳	137
10.2.1	渗碳的目的及意义	137
10.2.2	渗碳方法	137
10.2.3	渗碳工艺	138
10.2.4	渗碳后的热处理	138
10.2.5	渗碳热处理后的组织与性能	139
10.2.6	渗碳在模具表面强化工艺中的应用	139
10.3	渗氮	141
10.3.1	渗氮的目的及意义	141
10.3.2	渗氮方法	141
10.3.3	渗氮工艺	142
10.3.4	渗氮工件的预处理	143
10.3.5	渗氮后的组织与性能	143
10.3.6	渗氮在模具表面强化工艺中的应用	143
10.4	碳氮共渗	145
10.4.1	碳氮共渗的特点及分类	145
10.4.2	碳氮共渗方法	145
10.4.3	碳氮共渗在模具表面强化工艺中的应用	146

10.5 渗硼	147
10.5.1 渗硼的特点及分类	147
10.5.2 渗硼方法	147
10.5.3 渗硼层的组织	149
10.5.4 渗硼在模具表面强化工艺中的应用	149
10.6 渗金属	149
10.6.1 渗金属的特点及分类	149
10.6.2 气体渗金属方法	150
10.6.3 液体渗金属方法	150
10.6.4 固体渗金属方法	151
10.6.5 渗金属法在模具表面强化工艺中的应用	153
思考题	154
11 等离子体扩渗技术	155
11.1 离子渗氮	155
11.1.1 离子渗氮的主要特点	155
11.1.2 离子氮化原理	155
11.1.3 离子渗氮设备	155
11.1.4 离子渗氮工艺	156
11.2 离子渗碳、离子碳氮共渗	156
11.2.1 离子渗碳原理及优点	156
11.2.2 离子碳氮共渗、离子氮碳共渗	157
11.3 等离子体扩渗技术在模具表面强化工艺中的应用	157
案例 离子氮化-PECVD TiN 膜复合处理提高切边模具寿命研究	157
思考题	157
12 激光表面处理技术	158
12.1 激光表面处理设备	158
12.1.1 激光的产生	158
12.1.2 激光器	159
12.1.3 激光处理用的外围设备	160
12.2 激光表面改性工艺	161
12.2.1 激光表面相变硬化	161
12.2.2 激光表面熔覆与合金化	163
12.2.3 激光表面非晶化与熔凝	168
12.2.4 激光冲击硬化	170
12.3 复合表面改性技术	171
12.3.1 黑色金属复合表面改性技术	171
12.3.2 有色金属复合表面改性处理	171
思考题	172
13 电子束表面处理技术	173
13.1 电子束表面处理原理与设备	173

13.1.1	电子束表面处理原理	173
13.1.2	电子束表面处理设备	173
13.2	电子束表面处理工艺	174
13.2.1	电子束表面处理工艺的特点	174
13.2.2	电子束表面相变强化	174
13.2.3	电子束表面熔凝	175
13.2.4	电子束表面合金化	175
13.2.5	电子束表面非晶化	176
13.3	电子束表面改性技术在模具表面强化工艺中的应用	176
案例 1	Cr12Mo1V1(D2) 模具钢电子束表面改性研究	176
案例 2	几种典型电子束表面改性处理实例与效果	178
思考题		178
14	电镀与化学镀	179
14.1	电镀	179
14.1.1	电镀基本知识	179
14.1.2	常用金属及合金电镀	181
14.1.3	电镀技术在模具表面强化工艺中的应用	183
14.2	电刷镀	185
14.2.1	电刷镀基本原理	186
14.2.2	常用金属电刷镀	190
14.2.3	电刷镀技术在模具表面强化工艺中的应用	191
14.3	化学镀	193
14.3.1	化学镀的基本原理	193
14.3.2	常用金属化学镀	193
14.3.3	化学镀技术在模具表面强化工艺中的应用	195
思考题		196
15	气相沉积技术	197
15.1	化学气相沉积 (CVD)	197
15.1.1	化学气相沉积设备	197
15.1.2	沉积过程	197
15.1.3	工艺要求	198
15.1.4	化学气相沉积在模具表面强化工艺中的应用	198
15.2	物理气相沉积 (PVD)	199
15.2.1	物理气相沉积的分类	199
15.2.2	真空蒸发镀膜	200
15.2.3	阴极溅射	202
15.2.4	离子镀	203
15.2.5	物理气相沉积在模具表面强化工艺中的应用	204
思考题		206
16	堆焊技术	207

16.1	概述	207
16.1.1	稀释率	207
16.1.2	熔合比	207
16.1.3	熔合区的成分、组织与性能	207
16.1.4	热循环的影响	208
16.1.5	热应力	208
16.1.6	堆焊工艺的主要应用	208
16.2	堆焊合金的种类及选择	208
16.2.1	铁基堆焊合金	209
16.2.2	镍基堆焊合金	211
16.2.3	钴基堆焊合金	211
16.2.4	堆焊合金的选取原则	212
16.3	堆焊方法的分类及选择	212
16.3.1	堆焊方法的分类及特点	212
16.3.2	堆焊方法的选择	214
16.4	堆焊技术在模具表面强化工艺中的应用	216
案例 1	电渣堆焊锤锻模	216
案例 2	大型镶块式修边模具的堆焊	218
思考题		219
17	热喷涂与热喷焊	220
17.1	热喷涂概述	220
17.1.1	热喷涂的基本原理	220
17.1.2	热喷涂涂层的结合机理	220
17.1.3	热喷涂技术的特点	221
17.2	热喷涂方法分类及一般工艺流程	221
17.2.1	热喷涂方法分类及特点	221
17.2.2	热喷涂的一般工艺流程	223
17.3	热喷涂材料的性能要求及分类	224
17.3.1	热喷涂材料的性能要求	224
17.3.2	热喷涂材料的分类	225
17.3.3	热喷涂材料的选取原则	226
17.4	热喷焊工艺及特点	227
17.4.1	热喷焊工艺的一般特点	227
17.4.2	热喷焊工艺的一般工艺流程	228
17.4.3	热喷焊工艺在模具表面强化中的应用	228
思考题		229
18	离子注入与电火花表面强化	230
18.1	离子注入	230
18.1.1	离子注入原理	230
18.1.2	离子注入特征	230

18.1.3 离子注入提高表面性能的机理·····	231
18.2 离子注入在提高模具使用寿命方面的应用·····	232
案例1 铝型材热挤压模具的离子注入·····	232
案例2 注塑模具的离子注入·····	232
案例3 一些常用工模具的离子注入改性效果·····	233
18.3 电火花表面强化技术·····	233
18.3.1 电火花表面强化原理·····	233
18.3.2 电火花表面强化过程·····	233
18.3.3 电火花表面强化特点及强化层特征·····	234
18.4 电火花表面强化技术在模具表面强化工艺中的应用·····	235
案例1 煤车弹簧三角盖落料冲裁模电火花表面强化·····	235
案例2 用电火花强化工艺修复锻模磨损表面·····	236
思考题·····	237
参考文献·····	238

第一篇 模具材料及热处理

1 绪 论

1.1 模具在工业生产中的重要地位

1.1.1 模具在工业生产中的地位

模具是工业生产的主要工艺装备,模具工业是基础工业。

采用模具生产零部件,具有生产效率高、质量好、成本低、节省能源和节省原材料等一系列优点,因而被广泛应用在工业生产的各个领域,已成为当今工业生产的重要手段和工艺发展方向。现代工业产品的发展和技术水平的提高,在很大程度上取决于模具工业的发展水平。因此,模具工业的发展和技术水平的提高对国民经济和社会的发展,将会起到越来越大的作用。模具工业的薄弱和技术水平的落后将严重制约工业产品造型的变化和新产品的开发。

1989年3月,国务院颁布的《关于当前产业政策要点的决定》中,把模具列为机械工业技术改造序列的第一位,生产和基本建设序列的第二位。国家对模具产业的发展极为重视,并采取了多种措施给予大力扶持。自1997年以来,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》;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;1999年把有关模具技术和产品列入国家计委和科学技术部发布的《当前国家优先发展的高新技术产业化重点领域指南(目录)》。这些都充分体现了国务院和国家有关部门对发展模具工业的重视和支持,同时也说明了模具工业在国民经济中的占据着重要地位。

早在20世纪80年代初,一些先进的工业国家模具工业的产值已经超过了机床制造工业的产值,目前世界上模具工业的年产值为600亿~650亿美元。我国在国家产业政策的支持下,模具工业的产值从1997年开始也超过机床工业的产值,1998年达到220亿元。1996~2002年间,中国模具制造业的产值年平均增长14%左右,2003年增长为25%左右,其中广东、江苏、浙江、山东等模具发达地区的增长在25%以上。2003年我国模具产值为450亿元人民币以上,约折合50多亿美元,仅次于日本、美国,跃居世界第三。近年来,我国的模具生产技术有了很大的提高,生产的模具有些已接近或达到国际水平。

目前我国模具仍供不应求,不少大型、精密、复杂、长寿命模具仍靠进口解决,我国已成为世界上进口模具最多的国家。据不完全统计,2002年我国模具进口金额共12.72亿美元,比上年增长14.4%,其中塑料橡胶模具进口金额6.93亿美元,占总进口量的54.5%。2003年就进口了近13.7亿美元的模具,这还未包括随设备和生产线作为附件带进来的模具。2007年我国模具进口总量约为20.04亿美元,其中塑料橡胶模具进口量占总量的51.86%。这表明我国模具行业发展的潜力仍然巨大。

1.1.2 模具在工业生产中的作用

模具在工业生产中的作用是非常突出的。模具工业早已引起世界各国的高度重视,成为基础工业的重要组成部分。目前随着工业技术的迅速发展,产品要在国际市场上具有强有力的竞争力,除了应具备先进的技术水平、稳定的使用性能、结构新颖、更新换代快等特点外,还必须想方设法降低产品的生产成本,提高生产效率和产品质量,提高材料利用率。很多工业产品质量的改善、生产效率的提高、产品成本的降低、产品更新换代的速度的加快,在很大程度上取决于模具的制造精度、质量、制造周期、生产成本和使用寿命等因素。正是基于模具成型所具有的高产品质量、高生产效率和低成本等优点,模具在工业生产中的作用越来越大,模具工业被誉为工业发展的基石,金属加工业的帝王。据统计,飞机、坦克、汽车、拖拉机、电机电器、仪器仪表等产品的60%以上的零部件,自行车、洗衣机、电冰箱、电风扇、照相机等产品的85%以上的零件,都要经模具加工,尤其是标准紧固件、轴承、枪炮弹壳体、日用五金、餐具、塑料、玻璃制品等均需要通过模具生产,故模具应用范围相当广泛。一般情况下,模具的费用占轻工、电子、汽车等行业产品成本的30%,例如,某制冷设备厂,对冰箱压缩机冲压线的总投资为600万元,其中模具费用为190万元。模具投资为生产线总投资的31.6%。汽车工业的产量从40万辆增加到100万辆,模具投资数亿元,一种中型载重汽车改型,即需要模具4000多套,重达2000多吨。生产一种型号的照相机,需要模具500多套。据估算,企业每投资1元购买模具,可获得45元的经济效益。

1.2 模具生产的发展趋势

1.2.1 发展精密、高效、长寿命模具

对于精密或超精密零件,不同时期有不同概念。例如尺寸公差,国外在20世纪60年代把0.01mm公差的制件称为精密零件,20世纪70年代该数据为0.001mm,20世纪80年代该数据为0.0001mm。现在一些精密零件制造公差要求更小。一些大型棱镜的形状误差 $<\pm 1\mu\text{m}$,表面粗糙度为 $0.01\mu\text{m}$ 。激光盘记录面的粗糙度要达到镜面加工的水平 $0.01\sim 0.02\mu\text{m}$ 。这就要求模具的表面粗糙度达到 $0.01\mu\text{m}$ 以下。

精密注塑模使用刚度大的模架,增厚模板,加支撑柱或锥形定位元件以防止模具受压后产生变形。有些情况下,要求这些元件能承受100MPa内压的刚度。成型收缩率的计算应根据不同的部位而有所变化。在需要增高模具温度的材料中,要把模具的热膨胀加算进去。要严格控制模具温度,型腔和型芯的温度要能分别控制,进出口的水温波动范围应维持在 $0.5\sim 1^\circ\text{C}$ 以内。热流道模具需通过充分试验,制造精度要求特别高时,应先制造试制模,进行试成型,根据产品数据再设计生产模。产品数据测定应从成型条件稳定后,连续成型100件以上开始,取测定点波动的中间值进行设计。顶出装置是影响制品变形和尺寸精度的重要因素,精密注塑模要选择最佳顶出点,以使各处脱模均匀,难脱模处用锥管或方销。流道、型腔、型芯应选择耐磨易抛光的材料。高精度模具在结构上多数采用拼嵌或全拼结构,这对模具零部件加工精度、互换性的要求均大为提高。精密模具的应力消除是非常重要的环节,有的模具厂采用回火,甚至多次回火的措施,有的开发了低频低幅振动工艺来消除应力。

精密冲模最有代表的是各种拼嵌结构的多工位级进模,尤其是电子集成块引线框架级进模,其工件料薄,凸凹模间隙非常小。对于这类模具应该采用高刚度导向、定位、卸料以及防振机构,选择高耐磨、耐黏附的模具材料,高精度送料机构。

高效模具主要是提高成型机床一次行程生产的制品数量。为此,大量采用多工位级进模

和多排多工位级进模。例如，电子产品生产中的级进模高达 20 至 30 个工位甚至 50 个工位。微调电位器簧片模具为多达 10 排的多工位级进模。此外，近年来还发展了具有多种功能的模具，不仅能完成各种冲压，而且还可以完成叠装、记数、铆接等功能，从模具生产出来的是成批组件。

长寿命模具对于高效率生产是非常必要的。例如，中速冲床的行程次数为 300~400 次/分钟，每班要生产 14 万~20 万件冲压件，只有用高耐磨硬质合金冲模才能适应。

1.2.2 发展高效、精密、数控自动化加工设备

现代模具加工技术发展的主要特点是：从过去劳动密集，依赖钳工技巧，发展到主要依靠各种高效自动化机床加工，70%~80%的零件是靠加工保证精度，直接装配的。从一般的车铣刨磨机床加工，发展到采用各种数控机床和加工中心进行模具零件的加工。从一般的机加工方法，发展到采用机电结合的数控电火花成型、数控电火花线切割以及各种特殊加工技术相结合。例如，电铸成型、精密铸造成型、粉末冶金成型、激光加工等。

1.2.3 模具制造的基本要求和特点

1.2.3.1 模具制造的基本要求

模具的制造除了要正确进行模具设计，采用合理的模具结构外，还需以先进的模具制造技术作保证，制造模具时，不论采用哪一种方法都应满足如下基本要求。

(1) 制造精度高

为了生产合格的产品和发挥模具的效能，所设计、制造的模具必须具有较高的精度，模具精度主要由制品精度和模具结构的要求来决定的。为了保证制品精度，模具的工作部分精度通常要比制品精度高 2~4 级；模具结构对上、下模之间的配合有较高的要求，为此组成模具的部件都必须有足够高的制造精度，否则将不可能生产出合格的制品，甚至会使模具损坏。

(2) 使用寿命长

模具是比较昂贵的工艺装备，目前模具制造费约占产品成本的 10%~30%，其使用寿命长短将直接影响产品的成本高低。因此，除了小批量生产和新产品试制等特殊情况下，一般都要求模具具有较长的寿命，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模技术和生产管理水平的高低。为了满足生产的需要，提高产品的竞争力，必须在保证质量的前提下尽量缩短模具制造的周期。

(4) 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等有关。模具设计人员必须根据制品要求合理设计和制定其加工工艺。

1.2.3.2 模具制造的特点

模具制造属于机械制造的范畴，但是模具制造的要求高，难度大，同一般的机械制造相比，有许多特点。

(1) 制造质量要求高

模具制造不仅要求加工精度高，而且还要求加工表面质量好。一般说来，模具工作部分的制造公差都应控制在 $\pm 0.01\text{mm}$ 以内，有的甚至要求控制在微米级范围内；模具加工后的表面不仅不允许有任何缺陷，而且工作部分的表面粗糙度 R_a 都要求小于 $0.8\mu\text{m}$ 。

(2) 形状复杂