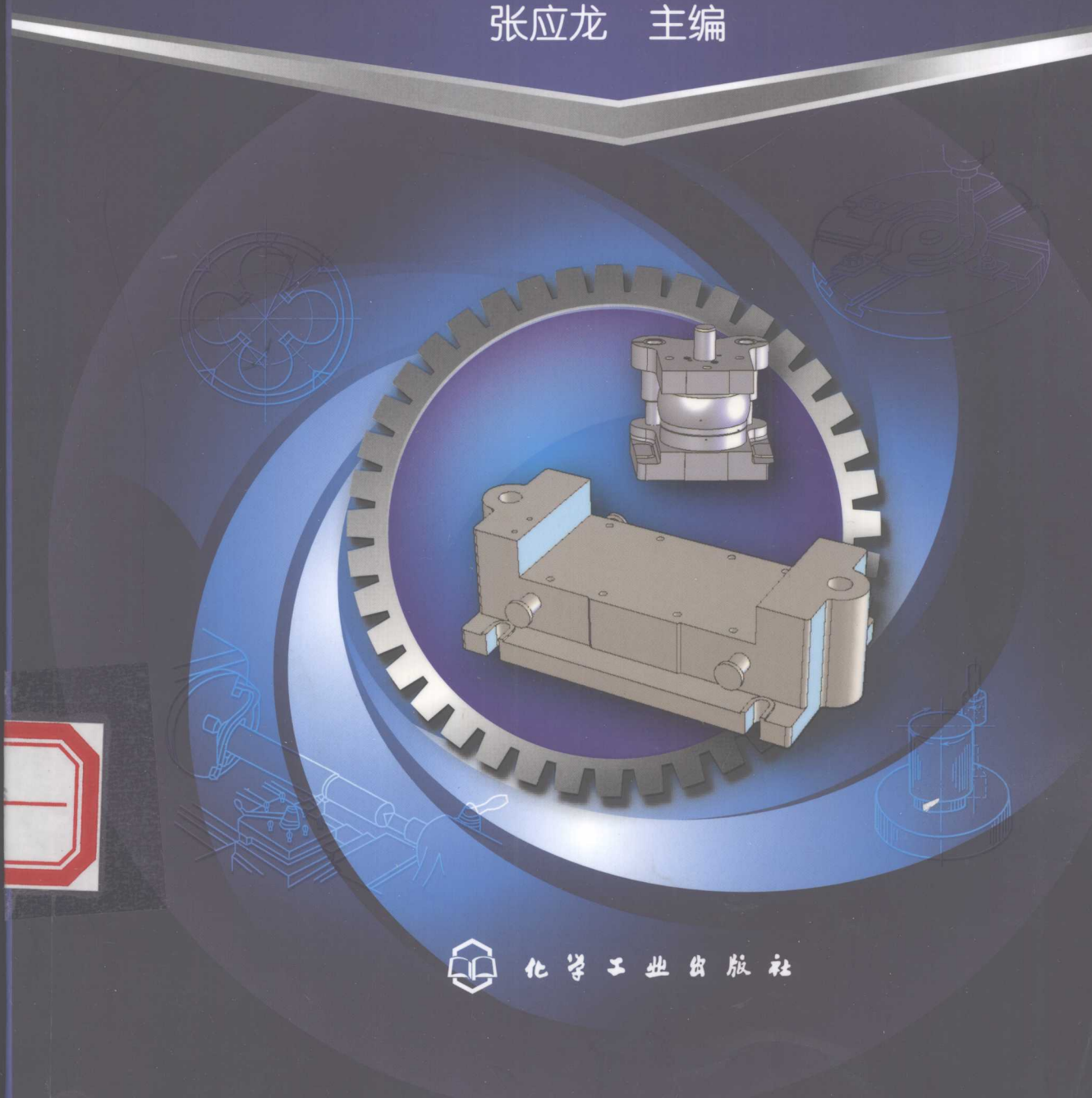


MUJU ZHIZAO JISHU

模具制造技术

张应龙 主编

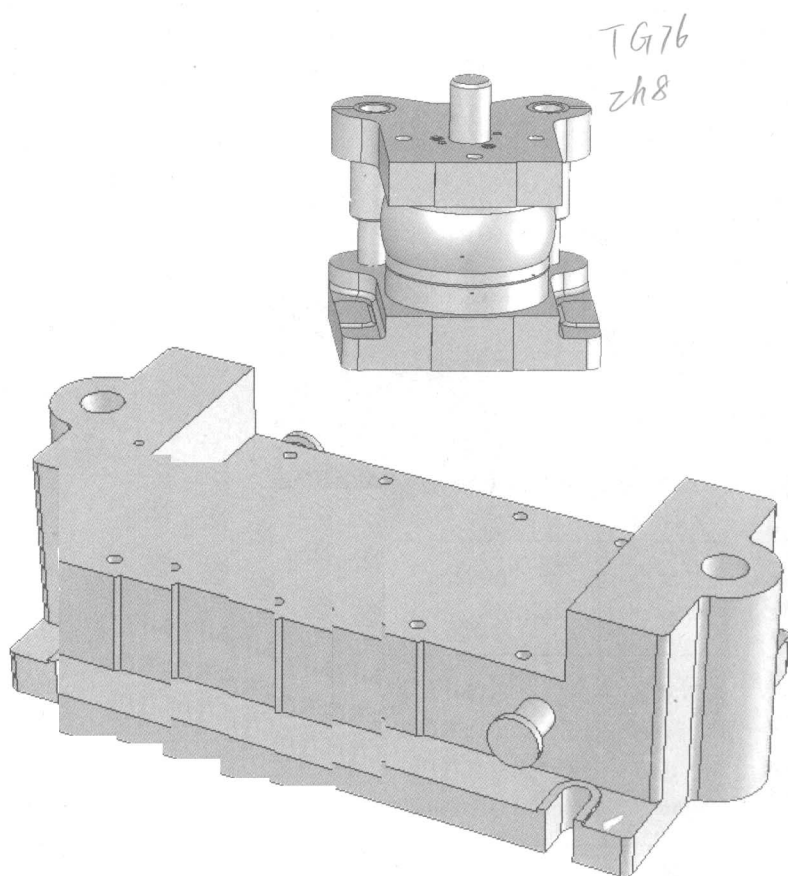


化学工业出版社

MUJU ZHIZAO JISHU

模具制造技术

张应龙 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书以提高我国各类模具制造加工人员的实际水平为出发点,在继承了传统模具制造加工工艺理论、实践水平内容的基础上,对新设备、新工艺等做了大量补充,注意模具制造加工的理论 and 实践相结合,将系统性和实用性相结合,以够用为原则,分别介绍了相关的基础理论,各种常用的模具数控加工设备,模具 CAD/CAM 技术,模具数控线切割和电火花加工,典型模具零件的加工工艺,各种常用模具的装配与调试方法,模具的维护与修复技术,如何运用表面处理技术来提高、延长模具的使用寿命,最新的快速制模技术,并简要介绍了有关模具制造管理方面的知识。

本书可作为高职类院校开设模具制造技术课程的教材,也可作为从事各类模具制造与加工职业的技术工人的培训教材和从事模具制造加工、装配、维修等有关人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

模具制造技术/张应龙主编. —北京:化学工业出版社, 2008. 2

ISBN 978-7-122-02148-9

I. 模… II. 张… III. 模具-制造 IV. TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 020314 号

责任编辑:陈丽 程树珍

文字编辑:陈喆

责任校对:蒋宇

装帧设计:王晓宇

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)

印刷:北京云浩印刷有限责任公司

装订:三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 19¼ 字数 487 千字 2008 年 4 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: 42.80 元

版权所有 违者必究

前言

模具制造技术涉及锻压加工、塑料成型、铸造加工等多种模具,涉及汽车工业、机床工业、航天工业、民用工业等国民经济的各行各业,模具制造加工技术水平的高低,已成为衡量一个国家制造技术水平的标志之一。目前,社会上非常缺少各种既具有较高理论水平、又具有丰富实际经验的模具制造加工方面的高技能人才,对具有高技能的模具制造加工人才的渴求,已成为众多相关企业进一步提升产品质量、扩大产品范围、提高劳动生产率、走向国际市场的一个迫切需求,正是出于上述考虑,我们编写了本书。

本书共分 11 章,从模具制造的基本知识开始,首先较为系统地介绍了作为一名高技能模具制造加工人员所必备的各种基础理论知识,包括常用模具材料及热处理、模具零件的常规机械加工方法、公差与配合、模具钳工基本操作、模具零件检验与量具等方面的基本知识;然后分别介绍了常用的模具数控加工设备,模具 CAD/CAM 技术,模具数控线切割和电火花加工的工艺和编程,典型模具零件的加工工艺,各种常用模具的装配与调试方法,模具的维护与修复技术,如何运用表面处理技术来提高、延长模具的使用寿命;最后介绍了最新的快速成型与快速模具制造技术,并简要介绍了有关模具制造管理方面的知识。

本书第 2 章、第 3 章由汪光远编写,其余各章节由张应龙编写,全书由张应龙统稿。在编写过程中,参阅了有关教材、资料和文献,在此对有关专家、学者和作者表示衷心感谢。

在本书的编写过程中,江苏大学戈晓岚教授、陆一心教授、葛福才高级工程师、马鹏飞高级工程师、储晓猛工程师和杨建新技师给予了精心的指导和热情的帮助,提出了许多宝贵的意见,全书由江苏大学王维新高级工程师担任主审,在此谨向他们表示衷心感谢。

本书可作为高职类院校开设模具制造技术课程的教材,也可作为从事各类模具制造与加工职业的技术工人的培训教材和从事模具制造加工、装配、维修等有关人员的参考用书。

由于编者水平所限,编写时间比较仓促,书中不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2008 年 1 月

目 录

1 模具制造的基本知识

1.1 常用模具材料及热处理	1	1.3.1 互换性	14
1.1.1 概述	1	1.3.2 公差	14
1.1.2 模具材料	1	1.3.3 配合	16
1.1.3 模具热处理	3	1.4 模具钳工基本操作	20
1.2 模具零件的常规机械加工方法	10	1.4.1 划线	20
1.2.1 车削加工	10	1.4.2 钻孔、镗孔与铰孔	22
1.2.2 铣削加工	11	1.4.3 攻螺纹与套螺纹	25
1.2.3 刨削加工	12	1.4.4 样板制作	27
1.2.4 磨削加工	12	1.5 模具零件检验与量具	30
1.2.5 坐标镗床加工	12	1.5.1 模具的质量要求和标准	31
1.2.6 坐标磨床加工	13	1.5.2 模具检验的常用量具	31
1.3 公差与配合	14		

2 常用模具数控加工设备

2.1 数控车床	40	2.3.2 加工中心的工作原理	48
2.1.1 数控车床的基本组成	40	2.4 数控线切割加工机床	49
2.1.2 数控车床的工作原理	41	2.4.1 线切割铣床的基本组成	49
2.1.3 数控车床的结构布局	42	2.4.2 线切割加工原理	49
2.2 数控铣床	44	2.4.3 线切割机床结构	50
2.2.1 数控铣床的基本组成	44	2.5 电火花加工机床	51
2.2.2 数控铣床的工作原理	46	2.5.1 电火花加工机床的结构	51
2.2.3 数控铣床结构	46	2.5.2 电火花成型加工的原理	53
2.3 加工中心	47	2.5.3 电火花加工的特点	54
2.3.1 加工中心的基本组成	47		

3 模具 CAD/CAM 技术

3.1 概述	56	3.2.1 曲线曲面的基本概念	60
3.1.1 CAD/CAM 的概念	56	3.2.2 自由形状表示方法	61
3.1.2 CAD/CAM 系统的主要任务	57	3.3 实体的表示	62
3.1.3 CAD/CAM 技术在模具工业中的应用	58	3.3.1 边界表示法	63
3.1.4 模具 CAD/CAM 的优越性	60	3.3.2 构造实体几何法	64
3.2 曲线曲面的表示	60	3.3.3 扫描法	64
		3.3.4 分解表示法	65
		3.4 特征造型技术	66

3.5 实用三维造型方法	68	3.6.2 CATIA 软件系统	75
3.5.1 数据的来源	68	3.6.3 Pro/E 软件系统	75
3.5.2 几何驱动与尺寸驱动	68	3.6.4 Cimatron 软件系统	76
3.5.3 面向工程应用的造型方法	69	3.6.5 MasterCAM 软件系统	76
3.6 常用 CAD/CAM 软件系统简介	73	3.6.6 CAXA ME 制造工程师	77
3.6.1 UG 软件系统	74	3.7 模具 CAM 编程技术	77

4 数控线切割模具加工

4.1 数控线切割加工概述	85	4.3.2 ISO 标准 G 代码编程	99
4.1.1 电火花线切割加工的特点	85	4.4 CAXA 数控线切割自动编程	102
4.1.2 电火花线切割加工在模具加工 中的应用	85	4.4.1 概述	102
4.2 数控线切割加工工艺	86	4.4.2 CAXA 线切割的操作界面	103
4.2.1 电火花线切割加工工艺的一般 规律	86	4.4.3 轨迹生成	103
4.2.2 电参量对加工工艺指标的 影响	91	4.4.4 轨迹跳步	106
4.2.3 电极丝对线切割工艺性能的 影响	92	4.4.5 后处理生成代码	106
4.2.4 线切割工作液对工艺指标的 影响	94	4.5 数控线切割加工操作	109
4.2.5 线切割加工切割路线的选择	95	4.5.1 电火花线切割加工操作流程与 操作步骤	109
4.3 数控线切割编程	97	4.5.2 加工前的准备	109
4.3.1 3B 格式程序	97	4.5.3 线切割加工操作	113
		4.5.4 加工过程中特殊情况的处理	115
		4.6 锥度线切割加工	116
		4.6.1 单导轮移动	117
		4.6.2 双导轮移动	118

5 电火花加工

5.1 概述	120	5.4.2 电火花成型加工中的操作技巧	140
5.2 电火花加工工艺	120	5.5 多轴数控电火花的 ISO 编程	147
5.2.1 电规准和电参数	120	5.6 模具电火花成型加工实例	149
5.2.2 电火花加工的工艺指标	121	5.6.1 工件准备	149
5.2.3 正确选择加工规准	125	5.6.2 电极制造	149
5.2.4 加工过程中的参数控制	127	5.6.3 加工要点	149
5.3 电火花成型加工方法	129	5.6.4 使用设备	149
5.3.1 电火花型腔加工方法	129	5.6.5 加工规准	149
5.3.2 电火花穿孔加工方法	134	5.6.6 加工效果	150
5.4 电火花加工机床操作	139		
5.4.1 电火花加工操作步骤	139		

6 典型零件的加工工艺

6.1 凸模、型芯类零件的加工	151	6.1.1 概述	151
-----------------------	-----	----------------	-----

6.1.2 型芯零件的加工工艺	154	6.2.2 冲裁凹模	162
6.1.3 非圆形凸模的加工工艺	156	6.2.3 塑料模型孔板、型腔板	165
6.1.4 冲裁凸凹模零件的加工工艺	158	6.2.4 典型凹模的加工实例	166
6.1.5 典型凸模的加工实例	159	6.3 石墨电极加工	172
6.2 型孔、型腔板类零件的加工	161	6.3.1 电极材料及石墨	172
6.2.1 概述	161	6.3.2 石墨电极的加工方法	173

7 模具的装配与调试

7.1 模具装配的组织形式及方法	175	7.3.4 复合模的装配	186
7.1.1 模具装配的组织形式	175	7.3.5 级进模的装配	188
7.1.2 模具的装配方法	176	7.4 塑料模的装配与调试	191
7.2 模具零件的固定方法	178	7.4.1 塑料模的装配顺序	191
7.2.1 机械固定法	178	7.4.2 塑料模具组件的装配	191
7.2.2 物理固定法	181	7.4.3 总装	198
7.2.3 化学固定法	182	7.4.4 试模	199
7.3 冷冲模的装配与调试	183	7.5 压铸模的装配与调试	201
7.3.1 冷冲模装配的技术要求	183	7.5.1 装配过程	201
7.3.2 凸、凹模间隙调整	185	7.5.2 试模	204
7.3.3 冲裁模具的总装及试冲	185		

8 模具的维护与修复

8.1 模具维护与保养项目	206	8.2.1 刷镀	212
8.1.1 模具技术状态的鉴定	206	8.2.2 堆焊	213
8.1.2 模具的保管	207	8.2.3 钳工和机械加工修复技术	216
8.1.3 模具的维护性保养与修理	208	8.3 模具修复方法	218
8.1.4 模具的清洗和润滑	211	8.3.1 冷冲模的修复方法	218
8.2 模具修复手段	212	8.3.2 型腔模的修复	228

9 模具寿命与表面处理技术

9.1 模具寿命的基本概念	229	9.3.4 模具热处理与表面强化对使用	236
9.2 模具失效的机理	229	寿命的影响	237
9.2.1 磨损失效	229	9.3.5 模具制造工艺对使用寿命的	238
9.2.2 断裂失效	232	影响	238
9.2.3 塑性变形失效	233	9.4 模具表面处理技术	238
9.3 影响模具寿命的因素	234	9.4.1 概述	238
9.3.1 模具结构对使用寿命的影响	234	9.4.2 模具表面的化学热处理技术	239
9.3.2 模具工作条件对使用寿命的	236	影响	239
9.3.3 模具材料对使用寿命的影响	236	9.4.3 模具表面的涂镀技术	244
		9.4.4 模具表面的气相沉积技术	247

10 快速成型与快速模具制造技术

10.1 概述	260	10.3.2 用快速原型间接制造模具	272
10.2 快速成型制造工艺	261	10.4 快速成型设备	276
10.2.1 RPM的一般工艺步骤	261	10.4.1 光固化成型设备	276
10.2.2 RPM常用的成型材料	262	10.4.2 叠层实体制造成型设备	278
10.2.3 典型的快速原型工艺和系统	264	10.4.3 选择性激光烧结设备	279
10.3 快速模具制造技术	271	10.4.4 熔融沉积制造设备	280
10.3.1 用快速原型直接制造模具	271		

11 模具制造的管理

11.1 生产管理	282	11.2.4 工艺文件的编写及应用	289
11.1.1 生产计划管理	282	11.3 质量管理	290
11.1.2 生产调度工作	283	11.3.1 技术检验内容	290
11.1.3 生产定额的制定与管理	283	11.3.2 模具生产过程中质量控制方法	290
11.2 技术管理	286	11.3.3 模具的验收技术条件与方法	291
11.2.1 技术管理内容	286	11.3.4 ISO9000 系列标准介绍	292
11.2.2 技术文件的发放及其管理	286		
11.2.3 模具加工工艺规程的编制	286		

参考文献

1 模具制造的基本知识

模具是机械、轻工及国防等各工业部门产品制造的重要工艺装备。汽车、拖拉机、电机、电器及仪表产品 70% 以上的零件，塑料制品的 80%~90%，日用五金及耐用消费品的 60%~70%，都要用模具生产。没有模具，就不可能有现代化工业产品的发展。模具工业被称为是“金属加工的帝王”，是产品之母。各国都非常重视模具的发展。那么，什么是模具呢？

模具是以其特定的形状通过一定的方式使原材料成型，能够生产出具有一定形状和尺寸要求的零件的一种生产工具，也就是通常人们说的模子。比如电视机、电话机的外壳，塑料桶等，是用塑料模具生产出来的；铝锅是由冲压模具冲裁、拉深成型的。那么模具又是怎样制造出来的呢？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加工（如车床、刨床、铣床、磨床、电火花、线切割）和热处理工艺生产出模具上的每个零件，然后组装调试，直到能生产出合格的产品，所以模具工需要掌握很高很全面的知识和技能。

1.1 常用模具材料及热处理

1.1.1 概述

模具材料和热处理技术是影响模具质量、性能和使用寿命的关键因素，60% 模具的早期失效，是由材料和热处理的因素造成的。因此，材料和热处理对发展模具工业是十分重要的。

我国的模具工业，目前已成为独立的工业体系，模具材料热处理技术及生产的发展，也取得了很大的成就。

1.1.2 模具材料

1.1.2.1 模具选材原则

（1）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 当模具的工作温度较高时,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、压交变应力的作用,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,故这类模具应具有较高的耐冷热疲劳性能。

⑥ 耐蚀性 有些模具如塑料模在工作时,由于塑料中存在氯、氟等元素,受热后分解析出 HCl、HF 等强侵蚀性气体,侵蚀模具型腔表面,加大表面粗糙度值,加剧磨损失效。

(2) 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,加工表面粗糙度值低。

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) 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材料,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,所选钢种尽量少而集中,易购买。

1.1.2.2 常用及新型模具材料

为适应模具工业生产发展的需要,我国大力改善冶金质量,发展材料品种,扩大应用电渣重熔、真空脱氧和六面锻造等工艺。与此同时,先后研究了各类模具钢、低熔点合金、钢结硬质合金、高温合金等新型模具材料 70 余种。并经过对重 8—1952、重 8—1955、YB 7—1959 到 GB 1299—1977、GB 1299—1985 的多次修订补充,制定了 GB/T 1299—2000 合金工具钢国家标准,形成了具有中国特色的模具用材体系,模具材料自给率已达到一个新的水平。

合金工具钢 GB/T 1299—2000 标准中的 Cr12、Cr12MoV、CrWMn、9CrSi、5CrMnMo、5CrNiMo、3Cr2W8V、60Si2Mn 等合金模具钢,是在模具生产中应用较多的材料,约占 80%。W6Mo5Cr4V2 用于工作负荷高,要求较高的模具。20、45、38CrMoAlA、T7A、T8A、T10A、T12A 等材料在工作负荷低,要求不高的模具和模架中有较多的应用。

国内研制的工艺性能好、成本较低、寿命高,并经鉴定和不同程度转产的一批新型热模具钢,已在不同的热挤压、热锻模、热冲模、热镦模、压铸模及不锈钢耐热难变形材料精锻成型模上推广应用,寿命可比 5CrMnMo、5CrNiMo 提高 1~3 倍以上,并解决了特殊性能要求的模具材料必须进口的问题。研制的冷模钢、基体钢、钢结硬质合金、粗颗粒硬质合金已分别用于冷挤、冷镦、冷冲、切边模等模具上,寿命可比 Cr12MoV 等提高 1~3 倍以上。

这些新材料中有 3Cr3Mo3W2V(HM1)、3Cr3Mo3VNb(HM3)、5Cr4W5Mo2V(RM2) 等热模钢和基体钢, Cr4W2MoV 冷模钢, 6Cr4W3Mo2VNb(65Nb) 基体钢, 8Cr2MnWMoVS 精密易削钢, 7CrMnSiWMoV 火焰淬火钢, 5Cr2NiMoVSi 热锻模钢, 4Cr13NiMo 玻壳模用钢, 7Mn15Cr2Al3V2WMo 磁模具钢, 4Cr3Mo3W4VTiNb(GR) 热模钢、8Cr7Mo3V2Si(LD) 冷模钢、YG20C 细颗粒硬质合金、10Ni3MnCuAl(PMS)、0Cr16Ni4Cu3Nb(PCR) 镜面和耐蚀塑料模具钢, 5Cr4Mo3SiMnVA1(012Al) 基体钢, 6Cr4Mo3Ni2WV(CG2), ZAS 锌基合金。这些新材料中的 Cr4W2MoV、6Cr4W3Mo2VNb、6W6Mo5Cr4V、5Cr4W5Mo2V、5Cr4Mo3SiMnVA1、4CrMnSiMoV、7Mn15Cr2Al3Cr2WMo、3Cr3Mo3W2V 等被列入 GB/T 1299—2000 国家标准。

新近开发的新模具材料有冷模钢 ERS(Cr8WMoV3Si)、无磁高强度模具钢 A18(18Mn12Cr18NiN)、WCG(8Mn15Cr18)、耐蚀塑料模具钢 PCR(0Cr16Ni4Cu3Nb)、非调质塑模钢 FT(25CrMnVTiSCaRE) 等,向日本五十铃汽车厂出口。65Nb 钢已向东南亚等国家出口。4Cr13NiMo 钢铸造的玻壳模具,寿命达 15 万次,超过日本 3Cr13Mo 钢模 6 万次的寿命水平。

ZAS 锌基合金模在汽车、拖拉机、五金、轻工行业中已有了较多的应用,工艺简单,成本可降低 80%。用于冲裁模的寿命可达 2 万次。

我国 2000 年年耗模具钢估测约 40 余万吨。其中,合金模具钢占 15 万吨左右(进口约 3 万吨),模块占 4 万吨,3Cr2W8V 约 3 万吨以上。硬质合金和钢结硬质合金的年使用量尚不到模具全部用料的 3/100。新钢种的年产量已过 2 万吨以上(含 H13、D2 钢),但应用的广度和数量仍不太多。提高我国选材的水平是今后重要的任务。

1.1.3 模具热处理

热处理在模具的生产制造中有着重要的地位和作用。尽管模具的种类和用途各式各样,但几乎 100% 的模具都要经过热处理。在因选材和热处理工艺不当造成模具失效的原因当中,热处理不当又占相当大的比例。为提高模具的使用寿命,在合理选材的基础上,必须提高热处理技术水平,充分挖掘模具材料的性能潜力。

热处理在模具生产中应用的种类很多,常用的是普通热处理工艺。为有效地延长模具的使用寿命,现在越来越多的企业采用强韧化及表面强化处理工艺。

1.1.3.1 普通热处理工艺

热处理是根据钢在固态下组织转变的规律,通过不同的加热、保温和冷却,以改变其内部组织结构,达到改善钢材性能的一种热加工工艺。热处理一般由加热、保温和冷却三个阶段组成,其工艺曲线如图 1-1 所示。一般按加热和冷却方式的不同可将普通热处理分为退火、正火、淬火、回火 4 种,俗称热处理的 4 把火。

(1) 钢的临界温度

钢之所以能进行热处理,是由于钢在固态下具有相变,在固态下不发生相变的纯金属或某些合金则不能用热处理的

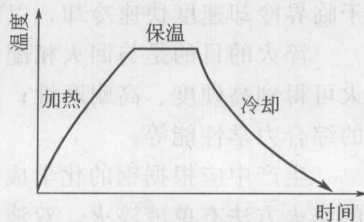


图 1-1 热处理工艺曲线示意图

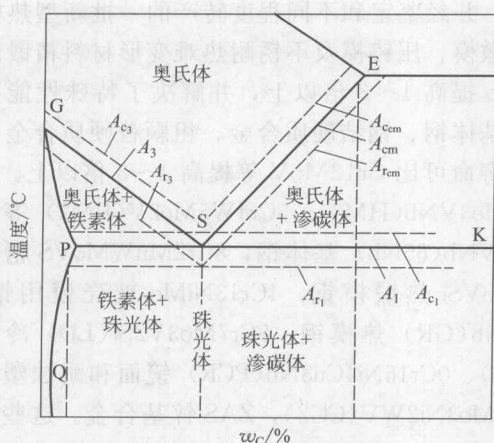


图 1-2 钢在加热和冷却时临界点的位置

度附以符号“c”，如 A_{c1} 、 A_{c3} 、 A_{cm} ，而把冷却时的临界温度附以符号“r”，如 A_{r1} 、 A_{r3} 、 A_{rcm} 。

(2) 退火

退火是将金属或合金加热到适当温度，保持一定时间，然后缓慢冷却至室温，以获得接近于平衡状态组织的热处理工艺。其实质是将钢加热奥氏体化后进行珠光体转变。退火后的组织，对亚共析钢是铁素体+片状珠光体；对共析或过共析钢则是粒状珠光体。总之，退火组织是接近平衡状态的组织。退火的目的有以下几个方面。

- ① 降低钢的硬度，提高钢的塑性，以便于进行切削加工和冷变形加工。
- ② 细化晶粒，消除因铸、锻、焊引起的组织缺陷（如带状组织、魏氏组织等），均匀钢的组织成分，改善钢的性能，为以后的热处理做组织准备。
- ③ 消除钢中的残余应力，防止变形和开裂。

(3) 正火

如图 1-2 所示，正火是将钢加热到 A_{c3} （或 A_{cm} ）以上 $30\sim 50^\circ\text{C}$ ，保温适当时间后，在静止的空气中冷却的热处理工艺。正火冷却速度比退火稍快，过冷度较大，因而组织中的珠光体量增多、片间距变小，反映在力学性能上，正火后的强度、硬度、韧性都高于退火，且塑性基本不降低。

正火的主要目的是调整锻、铸钢件的硬度，细化晶粒，消除网状渗碳体并为淬火作好组织准备。通过正火细化晶粒，钢的韧性可显著改善；对低碳钢正火可提高硬度以改善切削加工性能；对焊接件则可以通过正火改善焊缝及热影响区的组织和性能。

(4) 淬火

如图 1-2 所示，淬火是将钢加热到 A_{c3} 或 A_{c1} 以上某一温度，保持一定时间，然后以大于临界冷却速度快速冷却，以获得马氏体或下贝氏体组织的热处理工艺。

淬火的目的是与回火相配合，赋予工件最终使用性能。例如，高碳工具钢淬火后低温回火可得到高硬度、高耐磨性；中碳结构钢淬火后高温回火可得到强度、塑性、韧性良好配合的综合力学性能等。

生产中应根据钢的化学成分、工件的形状和尺寸，以及技术要求来选择淬火方法。常用的淬火方法有单液淬火、双液淬火、分级淬火和等温淬火等，如图 1-3 所示。在选择淬火方法时，既要考虑满足性能要求，同时要尽量降低淬火应力，以免变形开裂。

方法强化。

由图 1-2 可知，共析钢在加热和冷却过程中经过 PSK 线（ A_1 ）时，发生珠光体与奥氏体之间的相互转变，亚共析钢经过 GS 线（ A_3 ）时，发生铁素体与奥氏体之间的相互转变，过共析钢经过 ES 线（ A_{cm} ）时，发生渗碳体与奥氏体之间的相互转变。 A_1 、 A_3 、 A_{cm} 称为碳素钢加热或冷却过程中组织转变的临界温度。

但是，临界温度 A_1 、 A_3 、 A_{cm} 是平衡临界温度，即在非常缓慢加热或冷却条件下钢发生组织转变的温度。钢在实际进行热处理时，组织转变并不在平衡临界温度发生，大多数都有不同程度的滞后现象。通常把加热时的临界温

① 单液淬火 单液淬火是将奥氏体化后的工件直接放入一种介质中冷却至室温的操作方法。碳钢一般采用水冷淬火, 合金钢则采用油冷淬火, 单液淬火操作简单, 易于实现自动化和机械化, 但由于只采用一种介质进行淬火, 冷却特性不够理想, 淬火质量较差, 工件容易产生硬度不足和变形开裂等缺陷。

② 双液淬火 双液淬火是将工件奥氏体化后, 先将工件浸入一种冷却能力较强的介质中, 当冷却至“鼻尖”温度以下时, 再把工件放入另一种冷却能力较弱的介质中继续冷却的淬火方法。例如先水淬后油冷、先水淬后空冷等。双液淬火的优点是淬火应力小, 减少了变形和开裂的可能性; 缺点是在水中停留的时间不易控制, 对操作技术要求较高。

③ 分级淬火 分级淬火是将加热好的工件放入稍高(或稍低)于 M_s 点的硝盐浴或碱浴中, 停留一段时间, 待工件表面和心部温度基本一致, 在奥氏体开始分解之前, 取出在空气中冷却, 进行马氏体转变的淬火方法。由于组织转变几乎同时进行, 因此减少了内应力, 显著降低了变形和开裂的倾向。但受熔盐冷却能力的限制, 只适用于尺寸较小、形状复杂或截面不均匀的零件。

④ 等温淬火 等温淬火是将奥氏体化的工件淬入温度稍高于 M_s 点的盐浴中, 保温足够时间, 直到过冷奥氏体完全转变为下贝氏体, 然后出炉空冷的淬火方法。等温淬火能大幅度降低工件的淬火应力, 工件变形小, 适用于形状复杂、精度高、并要求具有较高硬度及冲击韧性的小件, 如弹簧、板牙、小齿轮等, 也可用于较大截面的高合金钢零件的淬火。缺点是生产周期长, 生产效率低。

分级淬火与等温淬火有些相似, 但实质不同。分级淬火等温时间短, 随后空冷时发生马氏体转变; 而等温淬火等温时间长(一般在 30min 以上), 进行的是下贝氏体转变。

⑤ 局部淬火 对只要求局部硬化的工件, 可进行局部加热淬火, 以满足工件不同部位的不同力学性能要求, 同时也避免其他部分产生变形和开裂。

⑥ 冷处理 冷处理是将淬火冷到室温的工件继续深冷到 $-70 \sim -80^\circ\text{C}$ 或更低的温度, 使室温下尚未转变的残余奥氏体继续转变为马氏体。这对于 M_f 点在 0°C 以下的高碳钢和合金钢, 能最大限度减少残余奥氏体, 进一步提高硬度和防止工件在使用过程中因残余奥氏体的分解而引起变形。

冷处理一般在专门的冷冻设备内进行, 也可以用干冰(固态 CO_2) 和酒精混合而获得 $-70 \sim -80^\circ\text{C}$ 的低温。只有特殊冷处理才用液化乙烯(-103°C) 或液氮(-192°C) 等方法。

冷处理用于要求精度很高, 必须保证尺寸长期稳定性, 硬而耐磨的精密零件、工具、模具、量具、滚动轴承等。

(5) 回火

钢件淬火后, 为了消除内应力并获得所要求的组织和性能, 将其加热至 A_c_1 点以下某一个温度, 保温一定时间, 然后冷却到室温的热处理工艺称为回火。

回火时, 决定钢的组织和性能的主要因素是加热温度。根据回火温度的不同, 回火可以分为以下 3 类。

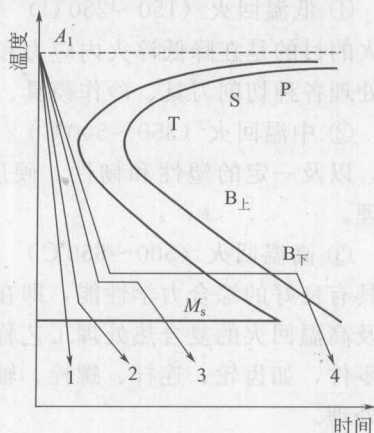


图 1-3 淬火方法示意图

1—单液淬火; 2—双液淬火;
3—分级淬火; 4—等温淬火

① 低温回火 (150~250℃) 回火后组织为回火马氏体, 硬度可达 58~64HRC。低温回火的目的是在降低淬火内应力和脆性的同时保持钢在淬火后的高硬度和高耐磨性。广泛用于处理各种切削刀具、冷作模具、量具、滚动轴承、表面淬火件及渗碳件等。

② 中温回火 (350~500℃) 回火后组织为回火屈氏体, 具有较高的屈服极限和弹性极限, 以及一定的塑性和韧性, 硬度一般为 35~45HRC。主要用于各种弹簧和热作模具的处理。

③ 高温回火 (500~650℃) 回火后组织为回火索氏体, 硬度为 25~35HRC。这种组织具有良好的综合力学性能, 即在保持较高强度的同时, 具有良好的塑性和韧性。通常把淬火及高温回火的复合热处理工艺称为调质处理, 简称“调质”。广泛用于处理各种重要的结构零件, 如齿轮、连杆、螺栓、轴类等, 同时也常用作要求较高的精密零件、量具等的预先热处理。

中碳钢的调质处理与正火相比, 处理后的力学性能不仅强度高, 而且塑性和韧性也较好。这是因为调质得到的回火索氏体中的渗碳体呈颗粒状, 而正火得到的索氏体中的渗碳体呈片状, 颗粒状的渗碳体对阻止断裂过程中裂纹的扩展比片状渗碳体更有利。

回火保温时间视零件大小和装炉量而定, 一般为 1~3h。

1.1.3.2 强韧化工艺的研究应用

(1) 细化碳化物, 改进预处理工艺

北京机电研究所、清华大学、原北京钢厂、广州型腔模具厂等单位研究开发的消除链状碳化物的工艺、预先正火处理工艺、高温双重处理工艺、快速匀细球化退火处理工艺; 原陕西机械学院的以调质代替球化的工艺, 河北机电学院的快速加热、多周期相变强化工艺等已在 HM1、HM3、RM2、3Cr2W8V 及 T8、CrWMn 钢制模具上获得卓有成效的应用。

(2) 快速匀细球化退火

这一工艺可缩短退火周期和节能 25%~50% 以上, 并在突破几十年来一直沿用的传统球化退火理论和工艺上具有重大的意义。

在热模具钢中存在组织不均匀和尺寸敏感性问题, 这与模具的冷却条件和截面大小有关。采用一般的高温加热缓冷退火和等温球化退火工艺是难以消除的, 而且还存在生产周期长 (20h 左右)、氧化烧损大 (脱碳层深 0.8~2.0mm, 金属损耗达 1.5%~5%)、模具强韧性低和使用寿命不高的问题。快速匀细球化退火工艺, 可有效地解决这一问题, 有利于模具寿命的提高, 且有节能、省时的优点, 具有极大的技术经济效益。

快速匀细退火工艺是在远高于传统退火工艺的加热温度下, 进行短时加热均温、速冷, 以获得残留碳化物少、细, 位错密度高和不稳定的相组织, 然后再予以第二次的加热和随炉冷却, 即在突破等温球化的等温温度和调质回火的温度下, 进行短时加热、均温和随后允许在大于常规退火的冷速下冷却到室温进行快速球化的。由于在第一次处理后的组织状态, 在第二次的处理中可加速合金元素的扩散过程和增加碳化物的形核率, 加速碳化物的析出

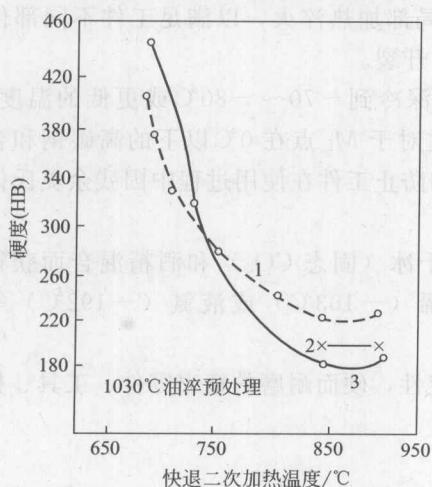


图 1-4 3Cr3Mo3W2VNb 钢快速退火
二次加热温度与硬度的关系
1—3Cr3Mo3W2V; 2—3Cr2W8V;
3—5Cr4W5Mo2V

积聚过程，而又不会形成粗细不均、分布不均的碳化物，并使针状或条状碳化物的生长受到抑制，因而可快速地获得匀细的球化组织。

3Cr3Mo3W2VNb (4Cr3Mo3W2V、HM1) 钢经 1030℃ 油淬预处理后，硬度为 47~49HRC，经 800~850℃ 再加热和炉冷的快退处理后，硬度为 180~200HBS (见图 1-4)。快速匀细球化退火后的碳化物细、小、匀、圆，分布也非常均匀，并可提高淬火硬度及强韧性，如图 1-5~图 1-7 所示。

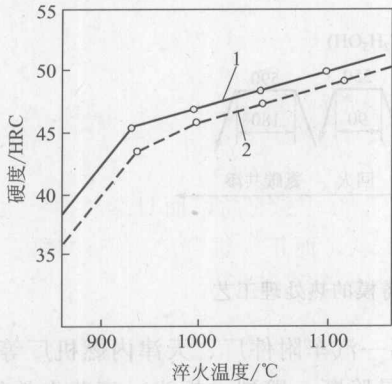


图 1-5 球化工艺对 3Cr3Mo3W2V 钢
淬火硬度的影响
1—快速退火；2—一般等温退火

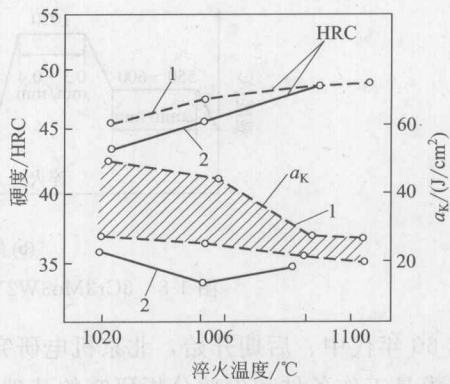


图 1-6 3Cr3Mo3W2V 钢球化工艺对
不同温度淬火后冲击韧性的影响
1—快速匀细退火；2—一般等温退火

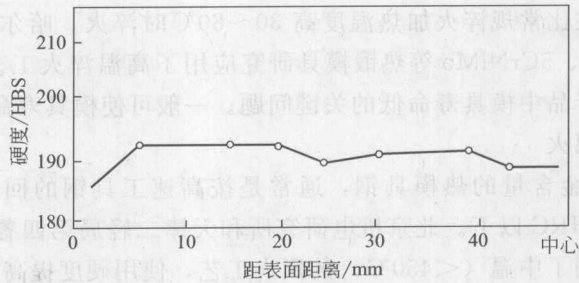


图 1-7 3Cr3Mo3W2V 钢 φ100mm 试料快速球化退火处理后沿截面的
硬度分布 (1020~1040℃ 油冷, 845℃ 快退)

与传统的高温加热缓冷退火和等温球化退火相比时，快速退火具有球化组织均匀，碳化物颗粒匀细，硬度低，易于切削加工，且可缩短退火周期 1/3 以上等优点，此外可节电 20% 左右，减少氧化脱碳 50% 以上。

φ100mm 的 3Cr3Mo3W2V 钢圆料，在快速匀细球化退火后，心部硬度为 167~169HBS，表面硬度为 187HBS。

在 122cm 吊扇上下盖的铝合金压铸模上采用如图 1-8 所示的快速匀细球化退火的预处理工艺，并随后分别进行真空淬火和离子氮碳共渗处理后 [图 1-8(b)]，心部硬度为 42HRC，表面硬度为 1037HV，渗层深为 0.21mm，模具的使用寿命可达 23 万次以上，且模具表面质量良好，脱模容易，未呈现热疲劳和冲蚀现象。

(3) 模具的低温淬火

所谓低温淬火是在比常规的淬火加热温度低 50~100℃ 或更低的温度下淬火。我国从 20

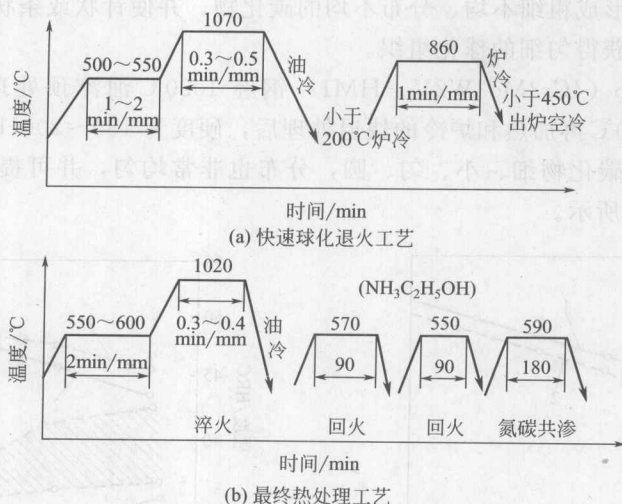


图 1-8 3Cr3Mo3W2V 钢铝合金压铸模的热处理工艺

世纪 60 年代中、后期开始,北京机电研究所、上海第一汽车附件厂、天津内燃机厂等单位,在对模具工作条件和失效分析研究的基础上,先后对易脆断、劈裂、折头、疲劳失效的高碳 W6Mo5Cr4V2、W18Cr4V1、Cr12MoV 钢的冷挤、冷锻模等冷作模上首先应用了低淬工艺,寿命提高了 1~3 倍以上。哈尔滨工业大学用此工艺在冷锻模具上取得出色的成绩。但低淬工艺不适于在易磨损和锻粗的模具上应用。

(4) 模具的高温淬火

所谓高温淬火是在比常规淬火加热温度高 30~80℃ 时淬火。哈尔滨工业大学等单位对 3Cr2W8V、5CrMnMo、5CrNiMo 等热锻模具研究应用了高温淬火工艺,获得了重大成果,解决了一般的和军工产品中模具寿命低的关键问题。一般可使模具寿命提高 0.5~2 倍以上。

(5) 模具的中温回火

3Cr2W8V 等高合金含量的热模具钢,通常是按高速工具钢的回火理论制定回火工艺的。使用硬度限在 52HRC 以下。北京机电研究所和天津二轻局第四餐具厂对不锈钢中温热辊轧用的模具研究应用了中温 (<450℃) 的回火工艺,使用硬度提高为 54~58HRC,将材料由 3Cr2W8V 改为 5Cr4W5Mo2V 钢后,寿命由 3Cr2W8V 钢模的数万次,提高到了 15 万~25 万次,且不产生热疲劳失效现象,技术经济效益达到国外先进水平,并突破了高合金热模具钢的传统回火理论和回火工艺。

(6) 真空热处理

真空热处理具有模具热处理所要求的特点,如无氧化、不脱碳,可保持模具表面的洁净;具有除气、除氧作用,可提高模具塑性、韧性和疲劳强度;加热缓慢,模具温差小,畸变小;可采用油气淬火、气冷淬火、水冷淬火和真空硝盐等温淬火等不同的冷却方式,以适应模具不同冷却条件的需要。

模具真空热处理是发展较快的热处理领域。模具的智能化热处理技术已获得很多的应用。

一般在处理高合金模具钢或高速钢模具时选用高压气淬炉或高流率气淬炉较为理想。气淬压力为 0.5~0.6MPa 的高压气淬炉,对 $\phi 80\sim 110\text{mm}$ 的零件能淬硬。对有回火脆性的模具钢,回火时一定要用快冷。

我国自 20 世纪 70 年代研制成真空油淬炉以来, 目前全国约已拥有 2500 台以上的真空热处理炉, 约有 60% 以上的设备是产品和模具的热处理同时并用的。我国应用真空热处理的模具有冷锻模、焖花模、滚丝模、压铸模及其他精密模具等。天津热处理工艺研究所大量处理的真空热处理模具, 使用寿命提高 1~7 倍。上海标准件工具厂真空热处理的 Cr12MoV 滚丝板, 寿命提高了 3~5 倍。广东型腔模具厂铝合金压铸模的真空热处理, 取得显著成效。

(7) 模具淬火、回火的快速冷却

根据模具淬火回火过程碳化物、有害元素的析出规律和对性能的影响, 北京机电研究所等单位从 20 世纪 70 年代后期开始, 对 HM1、HM3、3Cr2W8V 钢的轴承套圈热锻模、汽车零件热锻模采用了快速淬火工艺, 显著提高了强韧性和模具寿命。水淬优于油淬, 盐水淬优于水淬。快速淬火回火, 除可抑制碳化物和有害元素从晶界析出外, 并可增加获得板状马氏体的数量。但其冷速要严格限制在不开裂和畸变允许的范围内, 并掌握模具提出冷却介质的时间。

1.1.3.3 表面强化工艺技术的应用

从省能源、省资源、充分发挥材料性能潜力, 获得特殊性能和最大技术经济效益出发, 发展和应用表面强化工艺是提高模具使用性能和寿命的极重要的发展方向。我国目前应用较成熟的和发展中的强化工艺, 主要有以下几个方面。

(1) 渗硼

从 20 世纪 70 年代后期开始, 我国兴起了模具的固体、液体、电解和真空离子渗硼及氮硼共渗等研究的高潮。目前已有许多成熟的工艺在标准件行业的冷锻模、冷锻模, 陶瓷行业的陶瓷模和工作负荷较低易受急剧磨损的模具上获得非常有成效的应用。寿命可提高 1~10 倍。在压铸模和某些 5CrNiMo 热锻模上也有一定的应用。

北京理工大学、抚顺电瓷厂、四平东风仪表厂、上海工艺研究所、北京机电研究所、北京标准件五厂等单位在模具的渗硼研究和应用上都取得过成功的经验。

随着渗硼工艺的应用发展, 我国江苏江都县热处理材料厂、浙江义乌耐火涂料厂、江苏省铸造热处理研究所、河南洛阳龙门热处理材料厂、山东安丘热处理材料厂等 20 余个工艺材料厂都专门生产过渗硼剂。此外兰州石油机械厂还研制成洁净盐浴渗硼剂, 对模具渗硼工艺的应用发展起到促进作用。

(2) 气体、离子渗氮, 氮碳共渗工艺

这些表面强化工艺在提高压铸模、热锻模、冷挤模、型材挤压模的硬度、耐磨性、疲劳性能和抗咬合性能上效果显著, 工艺较稳定, 可很好地解决硬度、韧性、热疲劳、耐磨性之间的矛盾。上海交通大学、缝纫五厂、先锋螺钉厂、贵州机械研究所等单位对氮碳共渗模具的应用有较丰富的经验。

(3) 渗金属及多元共渗

随渗硼工艺的应用发展起来的液体渗金属和多元共渗工艺, 已在我国的模具上应用, 寿命可提高几倍至十几倍。大连理工大学、天津大学研究的渗钒, 上海工艺研究所研究的铬钒共渗, 贵州省机械研究所研究的碳、氮、硼、铬共渗及国内其他单位研究的硼钒共渗、渗钨等渗金属工艺, 已在冲模、弯曲模、拔管模、深冲模、切边模、冷锻模、粉末冶金模上获得成功的应用, 效果比渗硼稳定。

(4) PVD、CVD、激光及电子束热处理

这些强化技术在我国模具生产中, 尚在继续研究阶段, 实际应用面不广、不多。但上海工艺研究所、北京科技大学、北京机电研究所等单位的研究工作已证明是极有发展前景的。

在 Cr12、W18Cr4V 钢制的 20 多种冷模具上用 CVD 沉积 TiC, 寿命可提高 2~7 倍;