

模具热处理及其 常见缺陷与对策

MUJU RECHULI JIQI
CHANGJIAN QUEXIAN YU DUICE

金荣植 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

模具热处理及其常见 缺陷与对策

金荣植 编著



机械工业出版社

本书系统地介绍了模具热处理工艺技术和检验方法,对模具热处理生产中经常出现的缺陷及使用中常见的失效形式进行了分析,并提出了预防与改进措施。本书主要内容包括:模具材料概述、模具材料与热处理、模具热处理质量控制与检验、模具热处理常见缺陷分析与对策、模具的失效分析与对策、提高模具使用寿命的途径与方法。本书注重实用性、科学性、先进性和可操作性,用大量的典型实例介绍了提高模具性能与使用寿命的先进热处理工艺方法,具有很高的参考价值。

本书可供热处理工程技术人员和工人阅读使用,也可供从事模具设计和制造的技术人员及相关专业在校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

模具热处理及其常见缺陷与对策/金荣植编著. —北京:机械工业出版社, 2014. 7

ISBN 978 - 7 - 111 - 46915 - 5

I. ①模… II. ①金… III. ①模具 - 热处理 IV. ①TG162. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 116107 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:陈保华 责任编辑:陈保华 王 琰

版式设计:赵颖喆 责任校对:刘秀丽

责任印制:刘 岚

北京京丰印刷厂印刷

2014 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

169mm × 239mm · 21 印张 · 421 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 46915 - 5

定价: 56.00 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

社服务中心:(010) 88361066

销 售 一 部:(010) 68326294

销 售 二 部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

策 划 编 辑:(010) 88379734

网络服务

教 材 网: <http://www.cmpedu.com>

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

前 言

模具是现代化工业大规模生产的重要工艺装备，是批量生产工业产品的有效工具，它在很大程度上决定着产品的质量和效益。因此，模具设计与制造技术水平的高低已成为衡量一个国家装备制造业水平高低的重要标志。

20 世纪 80 年代以来，我国模具工业得到了迅速发展，尤其是在汽车工业、家电工业、建筑业（塑钢窗、门等）和机电工业等领域，近年来都是以每年 15% 左右的增长速度快速发展。2012 年，我国模具销售额已达 1240 亿元，模具产量已跃居世界前列。但从总体上看，我国还只是模具生产大国而不是强国，模具的生产水平与发达国家之间还有 10~15 年的差距，目前产品仍以中低档模具为主，中高档模具的自配率只占 60% 左右，而很多高精密及复杂的模具仍依赖进口。

在模具制造过程中，要使模具获得高的耐磨性、热硬性、强度、韧性和较长的使用寿命，热处理是关键因素之一。因此，在对模具进行热处理时，要根据模具材料及其结构和技术要求等制订合适的热处理工艺并严格遵照执行，以满足组织、力学性能及热处理变形等方面的要求。然而在模具热处理生产过程中，由于诸多因素的影响，常常会出现不同形式的热处理缺陷，其中包括被处理件达不到所要求的性能或状态等质量方面的缺陷，以及变形、裂纹和氧化脱碳等显现在外观上的缺陷。在模具使用过程中，还会出现各种不同形式的失效，主要有模具变形、表面损伤及断裂等。变形及开裂是模具热处理中最容易发生的缺陷，特别是尺寸精密、形状复杂的模具更是如此。由于许多模具（包括模具零件）的热处理是安排在整个模具加工过程的后期，甚至是最后工序，因此其一旦变形超差或开裂，就会导致前功尽弃。据有关方面的调查统计，在模具失效的诸多因素中，由于模具用材和热处理不当而引起的失效约占 70%。另外，由于模具的加工周期长，加工费用高（精密复杂模具或大型模具的制造加工费高达数十万元甚至数百万元），如果出现废品，则会造成巨大的经济损失。

为了减少热处理缺陷造成的损失，首先要在热处理生产过程中认真执行相关的热处理技术标准，结合当前热处理新技术、新工艺、新设备及新材料等，在工艺设计、选材、材料分析与加工、热处理规范的制订与实施、加热与冷却方式、淬火冷却介质的选用、组织与性能的控制、热处理设备的可靠性，以及热处理质量检验等方面予以重视，并对热处理生产过程实施全面质量管理，以提高模具热处理质量，延长其使用寿命，减少废品，降低成本；其次，要对缺陷产生的原因进行分析，并采取相应措施来防止缺陷的发生。

本书对使用中失效模具的服役条件和受力情况、缺陷形貌特征、检验分析、缺

陷原因、工艺改进及防止措施等进行了较为详细的论述，并通过大量典型的实例介绍了提高模具性能与使用寿命的先进热处理工艺方法。

在本书编写过程中，作者参阅并引用了一些热处理方面的专著及论文，在此谨向这些作者表示衷心的感谢！

由于作者水平有限，书中难免会出现一些错误和不足之处，恳请广大专家和读者批评指正。

金荣植

目 录

前言

第 1 章 模具材料概述	1
1.1 模具及模具材料分类	1
1.1.1 冷作模具及其材料	1
1.1.2 热作模具及其材料	2
1.1.3 塑料模具及其材料	3
1.1.4 玻璃模具及其材料	3
1.1.5 其他模具材料	4
1.2 模具材料的性能要求	4
1.2.1 使用性能要求	5
1.2.2 工艺性能要求	6
1.2.3 典型模具的材料性能要求	6
1.3 模具材料的主要力学性能指标	7
1.3.1 模具材料的常规力学性能	7
1.3.2 模具材料的特殊力学性能	9
1.4 模具选材的基本原则及常用模具材料	12
1.4.1 选材的基本原则	12
1.4.2 常用模具材料	12
第 2 章 模具材料与热处理	14
2.1 模具的常规热处理条件	14
2.1.1 模具钢退火的种类	15
2.1.2 模具的完全退火	15
2.1.3 模具的等温退火	16
2.1.4 模具的球化退火	16
2.1.5 模具的去应力退火	17
2.1.6 模具正火的目的及方法	17
2.1.7 模具调质的目的及方法	19
2.1.8 模具淬火的目的及方法	20
2.1.9 模具回火的目的及方法	21
2.1.10 模具加热介质和淬火冷却介质	23
2.2 冷作模具钢与热处理	26
2.2.1 冷作模具的工作条件及要求	27
2.2.2 冷作模具材料的性能要求	27
2.2.3 冷作模具材料的选择与应用	28

2.2.4	冷作模具钢的热处理工艺	34
2.2.5	典型冷作模具热处理实例	47
2.3	热作模具钢与热处理	51
2.3.1	热作模具的工作条件及要求	52
2.3.2	热作模具材料的性能要求	53
2.3.3	热作模具材料的分类和选用	53
2.3.4	热作模具钢的热处理工艺	55
2.3.5	典型热作模具热处理实例	60
2.4	塑料模具钢与热处理	62
2.4.1	塑料模具的分类和工作条件	62
2.4.2	塑料模具材料的性能要求	63
2.4.3	塑料模具材料的选择与应用	64
2.4.4	塑料模具钢的热处理工艺	65
2.4.5	典型塑料模具热处理实例	73
2.5	玻璃模具材料与热处理	74
2.5.1	玻璃模具材料的性能要求	74
2.5.2	玻璃模具材料及其热处理特点	75
2.5.3	典型玻璃模具热处理实例	76
2.6	铸钢、铸铁及硬质合金等模具材料与热处理	77
2.6.1	铸钢模具材料与热处理	77
2.6.2	铸铁模具材料与热处理	80
2.6.3	硬质合金及钢结硬质合金模具材料与热处理	85
2.6.4	典型铸钢、铸铁及硬质合金等模具材料热处理实例	88
第3章	模具热处理质量控制与检验	91
3.1	模具热处理质量的控制方法与手段	91
3.2	对模具用钢的原材料要求	92
3.2.1	对碳素工具钢的原材料要求	93
3.2.2	对合金工具钢的原材料要求	95
3.2.3	对高速工具钢的原材料要求	100
3.3	冷作模具钢热处理质量控制	103
3.3.1	冷作模具钢预备热处理质量控制	103
3.3.2	冷作模具钢最终热处理质量控制	105
3.4	热作模具钢热处理质量控制	107
3.4.1	热作模具钢预备热处理质量控制	108
3.4.2	热作模具钢最终热处理质量控制	110
3.5	塑料模具钢热处理质量控制	113
3.6	高速工具钢热处理质量控制	116
3.6.1	高速工具钢退火质量控制	116
3.6.2	高速工具钢淬火、回火质量控制	117

3.7 模具热处理质量检验内容和方法	119
3.7.1 热作模具热处理质量检验内容和方法	122
3.7.2 冷作模具热处理质量检验内容和方法	125
3.7.3 塑料专用模具钢金相检验	127
3.7.4 高速工具钢模具热处理质量检验内容和方法	128
第4章 模具热处理常见缺陷分析与对策	130
4.1 模具热处理缺陷种类及特点	130
4.2 模具常见缺陷分析与对策	131
4.2.1 硬度不足或不均产生原因与对策	131
4.2.2 软点产生原因与对策	132
4.2.3 氧化和脱碳产生原因与对策	133
4.2.4 过热或过烧产生原因与对策	136
4.2.5 淬火组织粗大产生原因与对策	137
4.2.6 石墨碳产生原因与对策	138
4.2.7 球化组织不良产生原因与对策	139
4.2.8 网状碳化物产生原因与对策	140
4.2.9 其他热处理组织不合格产生原因与对策	140
4.2.10 表面腐蚀产生原因与对策	142
4.2.11 蔡状断口产生原因与对策	143
4.2.12 脆性大产生原因与对策	143
4.2.13 模具热处理后力学性能不合格产生原因与对策	144
4.2.14 模具热处理常见缺陷分析与对策的典型实例	148
4.3 模具热处理变形原因分析及对策	151
4.3.1 模具热处理变形影响因素	152
4.3.2 模具热处理变形原因分析	158
4.3.3 模具热处理变形控制	159
4.3.4 模具热处理变形原因分析与对策的典型实例	174
4.3.5 模具热处理变形的校正	177
4.4 模具热处理开裂原因分析与对策	181
4.4.1 模具热处理开裂影响因素	183
4.4.2 模具热处理开裂原因分析	185
4.4.3 防止模具开裂的措施	186
4.4.4 模具热处理开裂原因分析与对策的典型实例	192
4.5 模具退火和正火缺陷分析与对策	197
4.6 模具普通淬火和回火缺陷分析与对策	199
4.7 模具感应淬火常见缺陷分析与对策	202
4.8 模具火焰淬火常见缺陷分析与对策	204
4.9 模具化学热处理缺陷分析与对策	208
4.9.1 模具渗碳热处理缺陷分析与对策	208

4.9.2	模具碳氮共渗缺陷分析与对策	215
4.9.3	模具渗氮缺陷分析与对策	217
4.9.4	模具氮碳共渗缺陷分析与对策	221
4.9.5	高速工具钢模具热处理缺陷分析与对策	223
第5章	模具的失效分析与对策	226
5.1	模具失效的形式	226
5.2	模具的失效分析	228
5.2.1	模具失效分析方法	228
5.2.2	影响模具失效的因素	229
5.3	失效模具的金相组织检验方法和碳化物提取方法	233
5.3.1	失效模具的金相组织检验法	233
5.3.2	失效模具碳化物的提取法	235
5.4	预防模具早期失效的措施与方法	235
5.4.1	模具的设计与制造	236
5.4.2	模具的热处理	240
5.5	冷作模具的失效分析与对策	241
5.5.1	冷作模具的主要失效形式	241
5.5.2	冷作模具失效分析与对策	242
5.5.3	冷作模具失效分析与对策的典型实例	251
5.6	热作模具的失效分析与对策	254
5.6.1	热作模具的主要失效形式	254
5.6.2	热作模具失效分析与对策	256
5.6.3	热作模具失效分析与对策的典型实例	264
5.7	塑料模具的失效分析与对策	268
5.7.1	塑料模具的主要失效形式	268
5.7.2	塑料模具失效分析与对策	269
5.7.3	塑料模具失效分析与对策的典型实例	270
第6章	提高模具使用寿命的途径与方法	272
6.1	提高模具寿命的途径	272
6.2	高强韧模具材料的应用及效果	277
6.2.1	高强韧模具材料的应用	277
6.2.2	高强韧模具材料的应用效果	281
6.3	模具的强韧化热处理技术要求与方法	282
6.3.1	模具的强韧化热处理技术要求	282
6.3.2	模具钢的强韧化热处理方法	283
6.4	模具的强韧化热处理工艺及实例	290
6.5	模具的表面强化技术及应用实例	291
6.5.1	模具的表面强化技术	292
6.5.2	模具表面强化技术的选择原则	301

6.5.3 模具表面强化技术应用实例	301
6.6 先进的模具表面强化技术及应用实例	308
6.6.1 模具的稀土元素表面强化技术及应用实例	308
6.6.2 模具的气相沉积技术及应用实例	312
6.6.3 模具的高能量密度能源表面强化技术及应用实例	315
6.6.4 模具的热喷涂技术及应用实例	320
参考文献	323

第 1 章 模具材料概述

模具是将金属、塑料、橡胶、玻璃及陶瓷等成形为制件的基础工艺装备。许多制件必须使用模具才能成形。不同的模具具有不同的成形及结构特点。模具的制造与一般的机械制造相比，具有形状比较复杂、精度要求比较高的特点。用于制造模具的材料必须适合各种模具工作条件的性能要求。模具的质量、使用寿命在很大程度上取决于制造模具的材料及热处理工艺。

1.1 模具及模具材料分类

通常根据用途的不同，可将模具分为冷作模具、热作模具、塑料模具及玻璃模具四大类。

模具材料按其类别的不同可分为：冷作模具材料、热作模具材料、塑料模具材料及其他模具材料（如铸铁、铸钢、硬质合金和钢结硬质合金等）。模具材料主要是模具钢。一般根据工作条件的不同，将模具钢分为冷作模具钢、热作模具钢、塑料模具钢和玻璃模具钢四类。图 1-1 所示为模具材料与模具钢的基本分类。

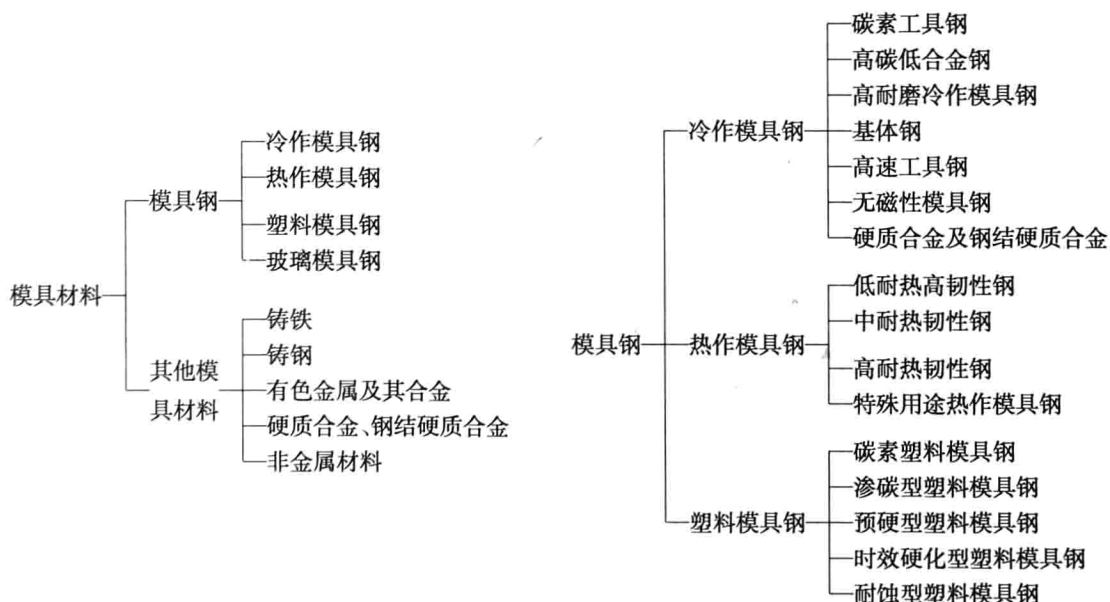


图 1-1 模具材料与模具钢的基本分类

1.1.1 冷作模具及其材料

冷作模具主要有：冲裁模、挤压模、拉深模、冷镦模、弯曲模、成形模、剪切

模、滚丝模和拉丝模等。按照工艺性能、承载能力及成分可将冷作模具钢分为：低淬透性钢、低变形钢、高耐磨微变形钢、高强度耐磨性钢、高韧性钢、抗冲击性钢、无磁性模具钢、冷作模具用硬质合金及钢结硬质合金等。表 1-1 列出了冷作模具材料的分类。

表 1-1 冷作模具材料的分类

类 型	牌 号
低淬透性钢	T7A、T8A、T9A、T10A、T11A、T12A、 MnSi、Cr2、9Cr2、GCr15、CrW5
低变形钢	9Mn2V、CrWMn、9CrWMn、9Mn2、MnCrWV、SiMnMo
高耐磨微变形性钢	Cr12、Cr12MoV、Cr5Mo1V、Cr4W2MoV、 Cr2Mn2SiWMoV、Cr6WV、Cr6W3Mo2.5V2.5
高强度高耐磨性钢	W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2、W12Mo3Cr4V3N
高强韧性钢	6W6Mo5Cr4V、6Cr4W3Mo2VNb、7Cr7Mo2V2Si、 7CrSiMnMoV、6CrNiMnSiMoV、8Cr2MnWMoVS
抗冲击性钢	4CrW2Si、5CrW2Si、6CrW2Si、9SiCr、 60Si2Mn、5CrMnMo、5CrNiMo、5SiMnMoV
无磁性模具钢	7Mn15、5Mn15、12Cr18Ni9、7Mn10
冷作模具用 YG 类硬质合金	YG6、YG8A、YG8C、YG11C、YG15、YG20、YG25、YG30
国产模具用钢结硬质合金	WC 型：TLMW35、TLMW50、GW50、GJW50 TiC 型：GT35、R5、D1、T1

1.1.2 热作模具及其材料

热作模具主要有：锤锻模、机锻模、热挤压模、温挤压模、高速锻模、热切边模和压铸模等。根据合金元素的含量和热处理工艺性能可将热作模具钢分为：高强韧性热作模具钢、高热强性热作模具钢、高耐磨热作模具钢和特殊用途热作模具钢等。表 1-2 列出了常用热作模具钢的分类。

表 1-2 常用热作模具钢的分类

类 型	牌 号
高强韧性热作模具钢	5CrNiMo、5CrMnMo、4CrMnSiMoV、5SiMnMoV、5Cr4Mo、 5CrMnSiMoV、4SiMnMoV、5Cr2MoNiV、3Cr2MoWVN
高热强性热作模具钢	3Cr2W8V、4Cr5MoSiV、4Cr5MoSiV1、4Cr5W2VSi、 5Cr4Mo3SiMnVA1、3Cr3Mo3W2V、5Cr4W5Mo2V、4Cr3Mo3SiV、 4Cr4MoWSiV、4Cr4Mo2WSiV、4Cr5WMoSiV、3Cr3Mo3VNb、 3Cr3Mo3V、5Cr4W2Mo2SiV、5Cr4W3Mo2VNb
高耐磨热作模具钢	8Cr3、7Cr3

(续)

类 型		牌 号
特殊用途 热作模具钢	1) 奥氏体热作模具钢	7Mn15Cr2Al3V2WMo、5Mn15Cr8Ni5Mo3V2、 7Mn10Cr8Ni10Mo3V2、Cr14Ni25Co2V、45Cr14Ni14W2Mo
	2) 高速工具钢	W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2
	3) 马氏体时效钢	18Ni(250)、18Ni(300)、18Ni(350)
	4) 析出硬化型热作模具钢	2Cr3Mo2NiVSi(PH)
	5) 冷热兼用基体钢	5Cr4Mo3SiMnVAI(012Al)、6Cr4Mo3Ni2WV(CG-2)、 5Cr4W5Mo2V(RM2)、6W8Cr4VTi(LM1)、 6Cr5Mo3W2VSiTi(LM2)、5Cr4Mo2W2SiV

1.1.3 塑料模具及其材料

按照塑料制品的不同，可将用于成型的塑料模具分为热固性塑料用压模和热塑性塑料注射模两大类。塑料模具又可以具体分为七类：热塑性塑料注射模、热固性塑料注射模、热固性塑料压缩模、挤塑模、吹塑模、真空吸塑模和其他塑料模具。

塑料模具钢系列包括碳素塑料模具钢、调质型塑料模具钢、渗碳型塑料模具钢、预硬型塑料模具钢、时效硬化型塑料模具钢、耐蚀型塑料模具钢及淬硬型塑料模具钢等。表 1-3 列出了常用塑料模具钢的分类。

表 1-3 常用塑料模具钢的分类

类 型	牌 号
碳素塑料模具钢	SM45、SM50、SM55
调质型塑料模具钢	45、55、40Cr、5CrNiMo、5CrMnMo
渗碳型塑料模具钢	20、20Cr、20CrMnTi、12CrNi3A、12CrNi2A、 12Cr2Ni4、20Cr2Ni4、2CrNi3MoAlS、0Cr4NiMoV(LJ)
预硬型塑料模具钢	3Cr2Mo、3Cr2MnNiMo(718)、40Cr、42CrMo、5CrNiMnMoVSCa、8Cr2MnWMoVS、 5CrMnMo、5CrNiMo、Y55CrNiMnMoV(SM1)、 30CrMnSiNi2A、4Cr3Mo3SiV、4Cr5MoSiV、4Cr5MoSiV1
时效硬化型塑料模具钢	06Ni6CrMoVTiAl、10Ni3MnCuAl、25CrNi3MoAl、18Ni(250)、 18Ni(300)、18Ni(350)、0Cr16Ni4Cu3Nb、05Cr17Ni4Cu4Nb、07Cr15Ni7Mo2Al
耐蚀型塑料模具钢	SM2Cr13、30Cr13、SM4Cr13、95Cr18、102Cr17Mo、14Cr17Ni2、 SM3Cr17Mo、0Cr16Ni4Cu3Nb(PCR)、1Cr14Co13Mo5V(AFC-77)、12Cr18Ni9
淬硬型塑料模具钢	T8A、T10A、T12A、CrWMn、Cr2、9SiCr、MnCrWV、9CrWMn、9Mn2V、7CrMn2WMo、 Cr12、Cr12MoV、Cr12Mo1V1、GCr15、Cr6WV、7CrSiMnMoV、Cr2Mn2SiWMoV

1.1.4 玻璃模具及其材料

玻璃模具材料大多为不锈钢和铸铁等，常见的不锈钢牌号有 12Cr13、20Cr13、

30Cr13、40Cr13、4Cr13Ni、12Cr18Ni9、16Cr25Ni20Si2、14Cr17Ni2 等；铸铁类材料有珠光体球墨铸铁（如 QT800-2 和 QT700-2）、蠕墨铸铁（如 RuT420、RuT380、RuT340、RuT300、RuT260 和稀土蠕墨铸铁）及合金铸铁（如中硅耐热球墨铸铁）等。

1.1.5 其他模具材料

模具材料主要选用钢材，但在实际的模具设计与制造过程中，根据被加工材料的性能、精度和坯料大小，也会考虑选用其他类型的模具材料，如有色金属及合金（如低熔点合金、锌基合金、高温合金、超塑性合金、铜基合金和铝合金等）、硬质合金、钢结硬质合金、陶瓷合金、铸钢、铸铁（如球墨铸铁、灰铸铁和蠕墨铸铁等）和非金属材料等。这些材料具有模具材料的性能，可满足模具力学性能和工作条件的需要。对于有特殊性能要求的批量加工件，从经济性、精密性和简化制造流程等方面综合考虑，选用这些材料来制造模具是可行与必要的。例如，这些材料可用于制造高耐磨，以及高抗压、高精度、高寿命模具（如冲裁、冷镦及挤压模具等），特别是级进模，其凸凹模部分常选用硬质合金或钢结硬质合金材料来制作。常用的硬质合金牌号为：YG6、YG6X、YG6A、YG8、YG15、YG20 和 YG20C 等；常用的钢结硬质合金牌号为：TLMW50、DT、GW50、GW40、GJW50、GT33、GT35、GTN 和 TM6 等。

1.2 模具材料的性能要求

模具材料的性能包括使用性能和工艺性能。对于模具材料的性能要求，一般是根据模具工作条件的复杂性、工作温度的不一致性，同时充分考虑到模具需要承受高压、冲击、振动、摩擦、弯扭及拉伸载荷等的作用提出来的。对模具材料的基本性能要求如下：

（1）良好的硬度和耐磨性 硬度是表征材料强度、韧性、弹性、塑性等一系列不同性能组合的一种综合性能指标。因此，模具材料经过热处理后应具有一定的硬度。

模具在工作时需承受相当大的压力和摩擦力，而模具必须在此情况下能保持其尺寸精度和表面粗糙度不发生变化，所以模具材料应具有良好的耐磨性。

（2）适宜的强度和韧性 模具材料的强度是模具在工作过程中抵抗失效的性能。模具在工作中承受很大载荷，因此模具材料应满足高强度和较好韧性的要求。一直处于高温下工作的模具需承受较大的摩擦、氧化及腐蚀等作用，因此要求模具材料还应具有较高的耐热性、耐蚀性、耐磨性和导热性等。

（3）良好的抗热性和稳定性 考虑到模具在工作时经常受到高温作用，其工作温度也是在不断地变化，因此要求模具材料应具有良好的抗热性，以确保其强度和硬度能够满足工作条件的需要。

(4) 冷热加工性好 对于需要锻轧、铸造及焊接等热加工的模具,要求其具有良好的热加工性;而要求生产高质量表面产品的模具,其还需经常进行切削、抛光和研磨等加工,因此模具材料在常温下应具有良好的加工性能。这也是塑料模具材料的发展趋势。

(5) 热处理性能好 模具要具有热处理变形小、淬火温度范围宽、过热敏感性小、脱碳倾向小等特点,因此要求模具材料应具有足够的淬硬性和淬透性以及良好的组织稳定性。

1.2.1 使用性能要求

模具材料的使用性能主要包括硬度和热硬性、耐磨性、强度和韧性、耐热性、耐蚀性等。此外,根据各种工作条件的不同,模具的使用性能还应包括高温强度、热疲劳及导热性等。对模具的使用性能具体要求如下:

(1) 硬度和热硬性 模具在压力的作用下应能保持其形状和尺寸不会迅速发生变化,故经过热处理后的模具材料应具有一定的硬度,如冷作模具的硬度为 55 ~ 65HRC,热作模具的硬度为 35 ~ 55HRC,塑料模具的硬度为 45 ~ 60HRC,胶木模的硬度为 45 ~ 55HRC,陶土模的硬度为 50 ~ 62HRC,橡胶模的硬度为 28 ~ 35HRC,粉末冶金模的硬度为 60 ~ 62HRC,玻璃模具的硬度为 45 ~ 55HRC。

热硬性是指模具在受热或高温工作条件下保持组织和性能稳定及抗软化的能力,它是热作模具钢的重要性能指标之一。

(2) 耐磨性 模具在工作中需承受相当大的压力和摩擦力,如果使其在使用中保持尺寸及形状不变,持久耐用,则模具材料应具有良好的耐磨性。模具的耐磨性不仅取决于钢的成分、组织和性能,而且与工作温度、载荷(压力)状态和润滑条件等有较大的关系。

(3) 强度和韧性 模具在工作中需承受冲击、振动、扭转和弯曲等复杂应力。承受重载的模具如果强度不够、韧性不足,就会造成模具边缘或局部断裂,以致模具不能再继续使用。钢的晶粒度和钢中碳化物的数量、大小及分布情况以及残留奥氏体量等对钢的强度和韧性有很大的影响。高硬度材料韧性差、表面缺口敏感性大及承载能力差等是模具早期失效的重要原因。实践表明,根据模具的使用条件和性能要求,合理地选择模具钢的化学成分、组织状态及热处理工艺,能够得到强度和韧性的最佳组合。

(4) 耐热性 模具随使用时间的增加,其温度会逐渐升高,因此要求模具材料具有一定的耐热性,尤其是热作模具(耐热性是其主要性能之一)。模具随温度升高而硬度降低的程度受钢中合金元素及其含量的影响。因为 Mo、Cr、Co 等合金元素能够防止模具钢回火软化,所以热作模具常选用含有 Mo、Cr、Co 等元素的钢种来制作。

(5) 耐蚀性 部分塑料模和压铸模在工作时受到被加工材料的腐蚀,会导致

型腔表面磨损,所以这类模具材料应具有耐蚀性。合金化或进行表面处理是提高模具钢耐蚀性的主要方法。

1.2.2 工艺性能要求

在模具(特别是小型精密复杂模具)的总成本中,模具材料费用通常只占总成本的10%~20%,而机械加工、热加工、表面处理、装配和管理等费用则占总成本的80%以上。因此,模具材料的加工工艺性能是影响模具成本、保证模具具有良好的使用性能及提高模具质量和使用寿命的一个重要因素。对模具加工工艺性能的要求如下:

(1) 加工性 材料的加工性是指锻造、轧制、铸造等热加工性能以及切削、磨削、抛光等冷加工性能。对需要很高的表面质量和高的抛光性能的模具,要求模具钢应具有杂质少、组织均匀、无纤维方向等特性。模具钢的加工性能主要与其化学成分、冶金质量和组织状态等有关。

(2) 热处理变形和开裂 对模具最终热处理的要求是,模具的尺寸与形状变化越小越好,同时没有开裂倾向。模具的热处理变形和开裂主要与模具材料成分、原始组织状态、模具结构及热处理工艺等有关。

(3) 淬硬性和淬透性 淬硬性主要取决于钢的碳含量,淬透性主要取决于钢的化学成分和淬火前的组织状态。模具钢对淬硬性和淬透性的要求,因模具的使用条件不同而各有侧重。对于大部分要求高硬度的冷作模具,淬硬性要求较高;对于大部分热作模具和塑料模具,对硬度的要求不太高,往往更多地考虑其淬透性,尤其是一些大截面、深型腔模具。

(4) 脱碳敏感性 模具表面脱碳,将会使模具表面层的性能降低,故要求模具钢的脱碳敏感性越低越好。在相同的加热条件下,钢的脱碳敏感性主要取决于钢的化学成分,特别是碳含量。

(5) 表面抛光性能 对表面质量要求高的模具(如塑料模具型腔),要求模具钢应具有好的抛光性能。通常采用机械、化学和电化学抛光等方式提高模具的表面质量。

1.2.3 典型模具的材料性能要求

典型模具主要包括冲模、塑料模、锻模、压铸模和粉末冶金模等。各种模具的工作条件不同,对制造模具材料的性能要求也不同。典型模具的工作条件及材料性能要求见表1-4。

表 1-4 典型模具的工作条件及材料性能要求

模具种类		工作条件	对模具材料的性能要求
冲模	冲裁模	主要用于各种板料的冲切成形。其刃口在工作过程中受到强烈的摩擦和冲击	具有高的耐磨性、冲击韧性以及耐疲劳断裂性能

(续)

模 具 种 类		工 作 条 件	对模具材料的性能要求
冲模	挤压模	主要用于变形成形。工作时凸模(冲头)承受巨大的压力,凹模则承受巨大的张力;由于金属在型腔中剧烈流动,使凸模(冲头)和凹模工作面受到强烈的摩擦,并使模具表面温度升至200~300℃	具有高的变形抗力、耐磨性及断裂抗力。此外还应具有高的耐回火性
	拉深模	主要用于塑性板料的拉深成形。工作时应力不大,但凹模承受强烈的摩擦	具有高的硬度及耐磨性,以及较低的表面粗糙度值
	弯曲模	主要用于塑性金属材料的弯曲成形。作用于模具的负荷不很大,但工作面承受一定的摩擦	具有高的耐磨性和断裂抗力
塑料模	热固性塑料压模	受力大,工作温度较高(200~250℃),易侵蚀,易磨损,手工操作时还会受到脱模的冲击和碰撞	具有较高的强韧性、耐磨性以及冷热疲劳抗力,有一定的耐蚀性
	热塑性塑料注射模	受热、受压及摩擦不太严重,但部分塑料制品含有氯及氟,在压制时会释放出腐蚀性的气体,侵蚀型腔表面	具有较高的耐蚀性及一定的耐磨性和强韧性
压铸模		型腔的工作温度高,经受反复剧烈的温度变化	具有高的热强性及冷热疲劳抗力
锻模		模具工作温度较高(约300℃)并受到强烈的冲击载荷,坯料在变形过程中与型腔表面摩擦	具有高的强韧性、冷热疲劳抗力,以及高的淬透性,良好的耐回火性
粉末冶金模		金属粉末的硬度一般很高,模具在工作过程中受到强烈的摩擦。此外,金属粉末粒度很小,容易堵塞缝隙,加大摩擦力,造成脱模困难	具有高的硬度和耐磨性以及较低的表面粗糙度值

1.3 模具材料的主要力学性能指标

模具的使用寿命与所采用的模具材料及其力学性能密切相关,因此应根据模具的工作条件和性能要求,合理地选择模具材料并对其进行冷、热加工。

1.3.1 模具材料的常规力学性能

模具材料的性能是由其化学成分和热处理后的组织所决定的。模具材料的性能应该满足模具完成额定工作量的要求。根据模具的工作条件及工作定额来选择模具材料及其热处理工艺,并力求主要性能达到指标,是模具设计者必须考虑的问题。通常对各类模具材料提出的性能要求主要包括硬度、强度、塑性和韧性等。它们是衡量模具材料的基本参数,对模具材料的正确使用有着重要的参考价值。