

实用模具材料应用手册

SHIYONG MUJU CAILIAO YINGYONG SHOUCE

赵昌盛 编著

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



实用模具材料应用手册

赵昌盛 编著



机械工业出版社

本书根据模具制造业与热处理生产企业的实际情况,以国家合金工具钢标准中的钢材为基础,较全面地介绍了国内传统模具钢、新研制的基体钢、强韧性钢、新型热作模具钢和塑料模具专用钢。重点介绍了模具材料的性能,热加工、热处理工艺以及模具材料的应用,并介绍了一些表面强化技术。本书侧重于实用性,适于广大生产一线的技术人员、工人阅读使用。

图书在版编目(CIP)数据

实用模具材料应用手册/赵昌盛编著. —北京:机械工业出版社, 2005.6

ISBN 7-111-16456-3

I. 实... II. 赵... III. 模具-材料-技术手册 IV. TG76-32

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第031572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:刘彩英

责任编辑:赵晓峰 版式设计:张世琴 责任校对:张媛

封面设计:陈沛 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005年6月第1版第1次印刷

1000mm×1400mm B5·13.125印张·511千字

0 001—4 000册

定价:38.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

世界工业经济和科学技术的发展，带动了模具制造业的发展。目前模具工业已成为现代工业发展的基础，60%~90%的工业产品都需要使用模具进行加工，许多新产品的开发和生产在很大程度上都依赖模具，特别是汽车、电子电气、机械、建材和塑料等行业。模具作为一种高附加值和技术密集型产品，其技术水平的高低已成为衡量一个企业、一个国家制造业水平的重要标志之一。

在模具的设计制造中能否合理地选用模具材料是模具制造成功的关键问题，模具材料是模具制造业的物质基础和技术基础，其中模具钢是传统的模具材料，其品种、规格、质量对模具的性能、使用寿命和模具制造周期起着决定的作用。但是长期以来，许多模具生产企业对模具材料选用不够重视，对模具新材料了解不多，这是我国模具使用寿命普遍较低的重要原因之一。

近几年来，国内出版的一些模具材料书籍，由于编写的角度及侧重点不同，其内容和读者适用面也有所不同。本书的特点是：根据模具制造业及热处理厂家的实际情况，以国家合金工具钢标准中的钢材为基础，较全面地介绍了国内传统模具钢、新研制的基体钢、强韧性钢、新型热作模具钢和塑料模具专用钢。在具体钢号性能介绍中，主要为与工厂实际应用相关的内容，侧重于实用性。

本书重点介绍模具材料的性能、热加工、热处理工艺和应用，适当介绍一些模具钢表面强化技术和模具失效分析。全书共七章，第一章模具材料的应用及发展；第二章模具材料的分类及选用；第三章冷作模具钢性能介绍；第四章热作模具钢性能介绍；第五章塑料模具钢性能介绍；第六章模具表面强化技术；第七章模具失效分析及实例；附录。

在本书附录中除收集了我国最新的模具钢标准，还尽可能地收集最新的我国台湾地区模具钢标准，以及日本、韩国、美国、德国、英国、法国、俄罗斯、瑞典和意大利等国家的模具钢标准并简要介绍了国内市场销售的进口模具钢钢号及性能。

本书编写的原则是“以实用为主”“以方便读者为主”、“以最基层的读者为主”力求浅显易懂，便于广大生产一线的技术人员和工人使用。

在本书编写工作中得到了安徽省宿州市各级政府、原安徽省宿州机械厂、浙江省温州热处理厂和浙江省瑞安市巨丰热处理有限公司的领导、同仁们的

IV

力支持和帮助，在编校过程中虞金安、虞君清、穆振远、胡安、姜敏、居建村、凌浩初、吴杰和任红光等同志给于热情帮助，在此深表感谢。由于编者水平有限，错误和不当之处难免，敬请广大读者批评指正。

赵昌盛 2005 年 3 月

目 录

前言

第一章 模具材料的应用及发展 ... 1

第一节 模具在现代工业中的作用 1

- 一、国内模具制造概况 1
- 二、国内模具制造业存在的问题及展望 2

第二节 国外模具材料的应用及发展 2

- 一、模具材料产量的发展 3
- 二、模具钢钢种的发展 3
- 三、国外模具材料的发展展望 6

第三节 我国模具材料的应用及发展 7

- 一、冷作模具钢的应用及发展 7
- 二、热作模具钢的应用及发展 9
- 三、塑料模具钢 11
- 四、我国模具材料发展展望 13

第二章 模具材料的分类及选用 14

第一节 模具材料概述 14

- 一、模具材料的分类 14
- 二、模具材料的一般性能要求 15
- 三、模具的失效形式及失效分析 19
- 四、影响模具使用寿命的基本因素 20

第二节 模具选材的原则及考虑因素 23

- 一、模具选材的一般原则 23

- 二、模具选材的具体考虑因素 23

第三节 模具材料的选用 25

- 一、冷作模具材料的选用 25
- 二、热作模具材料的选用 27
- 三、塑料模具材料的选用 31

第三章 冷作模具钢 34

第一节 冷作模具钢的性能要求及分类 34

- 一、冷作模具性能要求 34
- 二、冷作模具工艺性能要求 35
- 三、冷作模具材料的分类 36

第二节 冷作模具钢性能介绍 41

- 一、碳素工具钢 41
 - 1. T7、T7A 钢 42
 - 2. T8、T8A 钢 43
 - 3. T9、T9A 钢 44
 - 4. T10、T10A 钢 45
 - 5. T11、T11A 钢 47
 - 6. T12、T12A 钢 48
 - 7. T13、T13A 钢 50

二、高碳低合金钢 51

- 1. 9SiCr 钢 52
- 2. 9Mn2V 钢 53
- 3. 9CrWMn 钢 54
- 4. CrWMn 钢 56
- 5. 6CrWMoV (DS) 钢 58
- 6. GCr15 钢 58
- 7. Cr2 钢 60
- 8. 60Si2Mn 钢 62
- 9. 8Cr2MnWMoVS 钢 63

10.6CrNiMnSiMoV (GD) 钢	64	6.5Cr4Mo2W2VSi 钢	116
11. Cr2Mn2SiWMoV 钢	67	7.5Cr4W5Mo2V (RM2) 钢	118
12. W 钢	68	六、无磁模具钢	119
13.4CrW2Si 钢	69	1. 7Mn15Cr2Al3V2WMo (7Mn15)	
14.5CrW2Si 钢	70	钢	119
15.6CrW2Si 钢	72	2.1Cr18Ni9Ti 钢	121
16. Cr06 钢	73	3. 5Mn15Cr8Ni5Mo3V2 (5Mn15)	
17.8MnSi 钢	74	钢	122
18.7CrSiMnMoV (CH-1) 钢	75	4. 7Mn10Cr8Ni10Mo3V2 (7Mn10)	
19.6CrMnSi2Mo1V 钢	77	钢	123
20.5Cr3Mn1SiMo1V 钢	78	七、硬质合金及钢结硬质合金	124
三、高耐磨冷作模具钢	78	1. YG 类硬质合金	124
1. 7Cr7Mo2V2Si (LD) 钢	79	2. 钢结硬质合金	126
2. 7Cr7Mo3V2Si (LD-2) 钢	81		
3. Cr12 钢	81	第四章 热作模具钢	131
4. Cr12MoV 钢	85	第一节 热作模具钢的性能、	
5. Cr4W2MoV 钢	87	特点及分类	131
6. Cr6WV 钢	89	一、热作模具的使用性能要求	131
7. Cr12V 钢	90	二、热作模具材料的成分特点	132
8. Cr12Mo 钢	92	三、热作模具钢的分类	132
9. Cr5Mo1V 钢	93	第二节 热作模具钢性能	
10. Cr8MoWV3Si (ER5) 钢	94	介绍	136
11. 9Cr6W3Mo2V2 (GM) 钢	96	一、低耐热高韧性热作模具钢	136
12. Cr12Mo1V1 (D2) 钢	97	1. 5CrMnMo 钢	137
四、冷作模具用高速钢	100	2. 5CrNiMo 钢	138
1. W18Cr4V 钢	101	3. 4CrMnSiMoV 钢	141
2. W6Mo5Cr4V2 钢	102	4. 5SiMnMoV 钢	142
3. W9Mo3Cr4V 钢	104	5. 45Cr2NiMoVSi 钢	143
4. W12Mo3Cr4V3N 钢	106	6. 5Cr2NiMoVSi 钢	144
5. 6W6Mo5Cr4V 钢	107	7. 3Cr2MoWVN 钢	146
五、基体钢	108	二、中耐热韧性钢	147
1. 6Cr4W3Mo2VNb (65Nb) 钢	109	1. 4Cr5MoSiV (H11) 钢	147
2. 5Cr4Mo3SiMnVAl (012Al)		2. 4Cr5MoSiV1 (H13) 钢	149
钢	110	3. 4Cr5W2VSi (3H958) 钢	151
3. 6Cr4Mo3Ni2 WV (CG-2)		4. 4Cr3Mo2MnVB (ER8) 钢	153
钢	112	5. 8Cr3 钢	154
4. 65W8Cr4VTi (LM1) 钢	113	6. 3Cr3Mo3W2V (HM1) 钢	155
5. 65Cr5Mo3W2VSiTi (LM2)		7. 3Cr3Mo3VNb (HM3) 钢	157
钢	115		

8.4Cr3Mo3SiV (H10) 钢	158	5.12CrNi2 钢	193
9.4Cr4WMoSiV 钢	160	6.12Cr2Ni4 钢	194
10.3Cr3Mo2WVSi 钢	160	7.20Cr2Ni4 钢	195
11.4Cr9Si2 钢	161	8.2CrNi3MoAlS 钢	196
12.4Cr10Si2Mo 钢	161	9.0Cr4NiMoV (LJ) 钢	196
三、高耐热性钢	162	三、预硬型塑料模具钢	198
1.3Cr2W8V (H21) 钢	162	1.3Cr2Mo (P20) 钢	198
2.4Cr3Mo3W4VNb (GR) 钢	165	2.3Cr2MnNiMo (718) 钢	200
3.4Cr3Mo2MnVNB (Y4) 钢	166	3.40Cr 钢	202
4.4Cr5Mo2MnVSi (Y10) 钢	167	4.42CrMo 钢	203
5.4Cr3Mo2NiVNb (HD) 钢	169	5.5CrNiMnMoVS Ca (5NiSCa)	
6.4Cr3Mo2WVMn (TM) 钢	170	钢	204
7.4SiMnW3Mo2VN 钢	171	6.30CrMnSiNi2A 钢	206
四、特殊用途热作模具钢	171	7.Y55CrNiMnMoVS (SM1) 钢	208
1.奥氏体型热作模具钢	172	8.8Cr2MnWMoVS (8Cr2S) 钢	209
2.析出沉淀硬化型热作		9.38CrMoAl 钢	209
模具钢	173	10.4CrNiMnMoVSCa (4NiSCa)	
3.高速钢型耐热钢	174	钢	210
4.冷热兼用基体钢	175	四、时效硬化型塑料模具钢	211
5.马氏体时效型耐热钢	175	1.06Ni6CrMoVTiAl (06Ni) 钢	212
第五章 塑料模具钢	177	2.1Ni3Mn2CuAlMo (PMS) 钢	214
第一节 塑料模具钢的特点及		3.25CrNi3MoAl 钢	216
分类	178	4.00Ni18Co8Mo5TiAl [18Ni (250)]、	
一、塑料模具的工作条件	178	00Ni18Co9Mo5TiAl [18Ni (300)]、	
二、塑料模具钢的分类	179	00Ni18Co13Mo4TiAl [18Ni (350)]	
三、塑料模具钢的性能要求	182	钢	217
第二节 塑料模具钢性能		5.0Cr16Ni4Cu3Nb (PCR) 钢	218
介绍	182	6.0Cr17Ni4Cu4Nb 钢	219
一、碳素塑料模具钢	183	7.1Cr17Ni7Al 钢	220
1.SM45 钢	183	8.0Cr15Ni7Mo2Al 钢	221
2.SM50 钢	184	9.20CrNi3AlMnMo (SM2) 钢	222
3.SM55 钢	185	10.1Cr14Co13Mo5V (AFC-77)	
二、渗碳型塑料模具钢	187	钢	223
1.20 钢	187	五、耐蚀性塑料模具钢	224
2.20Cr 钢	188	1.2Cr13 钢	225
3.20CrMnTi 钢	189	2.3Cr13 钢	226
4.12CrNi3 钢	191	3.4Cr13 钢	227
		4.9Cr18 钢	229
		5.9Cr18Mo 钢	230

6.1Cr17Ni2 钢	231	二、影响模具失效的基本因素	269
7.3Cr17Mo 钢	233	第三节 模具失效分析实例	275
8. Cr14Mo4V 钢	234	一、热作模具钢 H13 失效分析	275
第六章 模具表面强化技术	236	二、Cr12MoV 钢冷作模具淬火畸 变及预防	276
第一节 概述	236	三、模具渗氮处理存在的问题及 对策	278
第二节 模具表面化学热处理 强化	239	四、高碳钢冷作模具磨削裂纹分 析及预防	282
一、模具零件的渗碳和碳氮共 渗	240	五、模具电火花线切割加工开裂 失效分析	284
二、模具零件的渗氮	244	六、Ti0A 钢冷冲压模具断裂的 原因及预防	287
三、渗硫及硫氮共渗	247	七、Cr12、Cr12MoV 模具钢材料 缺陷及热处理断裂分析	290
四、渗硼处理	247	八、4Cr5MoSiV1 钢压铸模断裂 分析及预防	292
五、渗金属	248	九、冷挤压成形塑料模具渗碳 热处理缺陷及对策	294
第三节 模具表面气相沉积 强化	249	附录	300
一、化学气相沉积 (CVD)	250	附录 A 中国模具钢	300
二、物理气相沉积 (PVD)	252	一、碳素工具钢	300
第四节 高能束表面强化技 术	256	二、合金工具钢和塑料模具用 钢	302
一、激光表面强化	256	三、高速工具钢	317
二、电子束表面强化	258	四、硬质合金	319
三、离子注入合金化	259	附录 B 韩国和中国台湾地区 模具钢	320
第五节 其他表面强化技术	259	一、碳素工具钢	320
一、火焰表面加热淬火	259	二、合金工具钢	321
二、高频感应加热表面淬火	260	附录 C 日本模具钢	325
三、喷丸表面强化	261	一、碳素工具钢	325
四、电火花表面强化技术	262	二、合金工具钢	326
五、电解液表面加热淬火	264	附录 D 美国模具钢	331
第七章 模具失效分析及实例	266		
第一节 模具失效形式	266		
一、冷作模具的失效形式	266		
二、热作模具的失效形式	267		
第二节 模具失效分析及基本 影响因素	268		
一、模具失效分析步骤	268		

一、碳素工具钢	331	一、碳素工具钢	373
二、合金工具钢	333	二、合金工具钢	374
附录 E 德国模具钢	344	附录 I 瑞典模具钢	380
一、碳素工具钢	344	附录 J 意大利和奥地利模具	
二、冷作合金工具钢	344	钢	384
三、热作合金工具钢	354	一、碳素工具钢	384
附录 F 英国模具钢	362	二、冷作合金工具钢	385
一、碳素工具钢	362	三、热作合金工具钢	388
二、合金工具钢	362	四、奥地利模具钢	389
附录 G 法国模具钢	365	附录 K 国内市场销售的进口	
一、碳素工具钢	365	模具钢简介	390
二、冷作合金工具钢	366	附录 L 国内进口模具钢材的	
三、热作合金工具钢	370	钢号、特性及应用	399
附录 H 俄罗斯模具钢	373	参考文献	410

第一章 模具材料的应用及发展

第一节 模具在现代工业中的作用

模具是一种重要的加工工艺装备，是国民经济各工业部门发展的重要基础之一。它在现代工业生产中的重要作用主要表现在以下几个方面：

1) 模具是压力加工或其他成形加工工艺中，使材料（金属或非金属）变形制成产品的一种重要工艺装备，应用广泛。它在锻造、塑料加工、压铸等行业中起着重要的作用。模锻件、冲压件、挤压和拉拔件等，都是使金属材料在模具时发生塑性变形而获得的；压铸零件、粉末冶金零件也是在模具中充填加工成形的；而塑料、陶瓷、玻璃制品等非金属材料的成形加工也多依靠模具。

2) 少无切削加工是机械制造业发展的一个方向，而模具是利用压力加工实现少无切削工艺的关键。模具成形有优质、高产、低消耗和低成本等特点，因此得到了广泛应用。据初步统计：依靠模具加工的产品和零件，家电行业占80%，机电行业占70%以上。轻工、军工、冶金及建材等行业大部分产品的生产都离不开模具。

3) 模具生产影响到产品开发、更新换代和发展速度。由于人们对工业产品的品种、数量、质量要求越来越高，为适应产品更新换代，因此对模具的性能要求更高、精度要求更严、制模速度要求更快、种类要求更多，模具需求量加大、模具的工作条件更苛刻、形状更复杂、工作温度更高、寿命要求更长。这就要求合理选用模具材料，合理实施热处理和表面强化工艺，大力推广应用新材料、新工艺、新技术。

一、国内模具制造概况

1989年国务院颁布《当前产业政策要点的决定》，把模具列为“机械工业技术改造序列的第一位”为振兴模具工业创造了极好的条件。我国的模具生产发展很快，在一定程度上满足了加工业对模具的需求，并逐渐发展成为国民经济的基础工业。我国的模具制造企业超过17000家，大多数属于分散生产的小型企业，从规模和能力上，大致可分为三种类型：

1) 较大型的专业模具厂，如上海星火模具厂、北京模具厂等，有一定的生产规模和技术力量，能够生产不同类型的模具；

2) 大型工业集团附属的模具制造厂或模具制造中心，如大型的汽车和电器制造集团附属的模具厂，能够承担本企业集团的全部或大部分的模具制造任务，

是模具行业的最强有力的生产力量；

3) 近 20 年来迅速发展的大量中小型模具制造厂，占模具企业的 90% 以上，这类企业规模小，往往只有几十个人甚至几个人，有些地区已经发展成模具一条街、模具乡。这类厂一般设备比较简单、生产能力小、技术力量差，但经营方式灵活，制造周期短，可以适应小批量生产。这类厂发展很快，随着市场需要的不断提高，一些企业不断地充实技术力量和工艺装备，逐渐从低档产品向中高档产品发展，是未来模具制造业的重要基础。

二、国内模具制造业存在的问题及展望

当前，我国在模具制造方面与工业发达国家相比，差距还较大，较国外模具制造业落后 20 年，主要表现为以下几个方面：

1) 标准化程度低。国外标准化程度达 80%，标准件品种多、规格全，全部商品化。国内标准化程度不到 20%，缺少精密高效标准件。

2) 模具制造精度低、周期长。国外模具厂从粗加工、精加工、测量到装配都采用成套的精密设备，如 CNC 坐标磨床，数控电火花机床等。国内模具厂设备陈旧不配套，数控机床只占 3%；电火花加工机床占 15%，模具加工新工艺应用较少，使国内模具精度比国外低 1~2 级，制造周期长 1~2 倍。

3) 模具品种少、加工效率低。主要缺少大型、复杂、长寿命模具。国外模具加工向精密化、自动化方向发展，很多工序可以集中在一起完成。

4) 模具寿命短、材料利用率低。国外由于采用了冶炼及热处理方面的新技术，模具寿命大大提高。国内模具钢品种不全，新钢种很少，一般采用常规热处理，一些新钢种的推广应用率也较低，因而模具质量水平不高，模具材料利用率仅为 60%。

5) 技术力量落后，管理水平较差。模具生产技术人员比例只占 7%~8% (国外为 30%)，也低于国内其他行业。生产也缺乏科学管理。

我国模具制造中，长期的科技发展战略是以国内市场为导向，以开发精密、大型、长寿命成套模具为重点，减少进口，促进出口。发展模具基础技术，如数控加工、快速制模、特种加工等；发展高新技术，如 CAD/CAM、加工中心等；发展模具成套加工精密设备。充分重视模具的正确选材，大力推广应用效果明显的模具新材料，并积极引进、开发高性能模具新材料，并大力发展、应用模具的表面强化新技术，不断提高模具的产品质量和使用寿命。

第二节 国外模具材料的应用及发展

世界工业经济和科学技术的发展带动了模具制造业的发展。目前国外工业发达国家，模具制造业发展很快，已经成为一个专门发展的生产行业，逐步实

行标准化、专业化、商品化，模具已经是一种高技术密集型产品。市场竞争的激烈，加快了产品的更新换代，同时也加快了模具材料生产技术的发展。

一、模具材料产量的发展

模具材料主要是模具钢，模具钢的产量近 20 年增长很快，领先于其他钢种。据日本通产省调查统计的资料，日本从 1978 年到 1997 年钢的年产量一直维持在 1 亿 t 左右，而合金工具钢的年产量，却从 1978 年 6.79 万 t 上升到 1997 年的 12.6726 万 t，上升了将近 1 倍。

二、模具钢钢种的发展

目前随着模具制造业的不断发展，对模具钢从冶金质量、数量、性能上要求不断提高，在国外出现高合金、高质、优化、低级材料强化及扩充材料领域等趋向。模具材料由低级向高级发展，发展的趋向是碳素工具钢→低合金工具钢→高合金工具钢，并相继出现了一系列的新型模具材料。模具标准钢号的合金化程度也日趋提高，例如美国 15 种热作模具钢合金元素全部大于 5%；而合金元素大于 10% 的有 10 种，用量占 80%。

目前各国使用量较大的模具钢集中在 10 多种通用型模具钢上，现将 3 类模具钢的发展状况概述如下：

1. 冷作模具材料

国外通用型冷作模具钢的代表钢种有低合金模具钢 O_1 (9CrWMn)、中合金模具钢 A_2 (Cr5Mo1V) 和高碳高铬模具钢 D_3 (Cr12)、 D_2 (Cr12Mo1V1) 等。

为了满足冷作模具的特殊要求，各国都发展了一批新型的模具钢，主要有：

(1) 高韧性、高耐磨性模具钢 比较有代表的钢号有，美国钒合金钢公司早期发表的 VascoDie (8Cr8Mo2VSi) 钢、日本大同特殊钢公司的 DC53 (Cr8Mo2VSi) 钢等，其 C、Cr 含量均低于 Cr12 型模具钢，增加了 Mo、V 合金的含量，钢中形成大量 MC 型高弥散度碳化物，其耐磨性不低于或优于 Cr12Mo1V1 钢，韧性和抗回火软化能力则高于 Cr12 型钢。分别用于冷挤压模具、冷冲模具及高强度螺栓的滚螺纹模具，都取得了良好的使用效果。

(2) 低合金空淬微变形钢 代表性钢号有：美国 ASTM 标准钢号 A4 (Mn2CrMo)、A6 (7Mn2CrMo)，日本大同特殊钢公司的 GOA，日本日立金属公司的 ACD37 钢等。这类钢的特点是合金含量最低（质量分数 $\leq 5\%$ ），淬透性、淬硬性好，淬火变形小，工艺性好，价格低，主要用于制造精密复杂模具。

(3) 火焰淬火模具钢 20 世纪 70 年代，国外开始发展一些适应火焰淬火工艺需要的冷作模具钢。由于采取氧—乙炔喷嘴进行局部加热空冷淬火，难以严格地控制和测定温度，因此要求这类钢淬火温度宽、淬透性好。火焰局部淬火的工艺简便，可以缩短模具制造周期、节约能源、降低制造费用，已经广泛地用于制造剪切、下料、冲压、冷镦等冷作模具，特别是大型镶块模具。

代表性的钢号有：日本爱知制钢公司 SX5 (Cr8MoV) 钢、SX105V (7CrSiMnMoV)，日本山阳特殊公司的 QF3，日本大同特殊钢公司的 GO5，日本日立金属公司的 HMD1、HMD5 等钢，在生产使用中取得了良好的效果。

(4) 粉末冶金冷作模具材料 采用粉末冶金工艺生产的高碳高合金模具材料，由于钢液雾化形成的微细钢粉凝固很快，可以完全避免一般工艺生产的高碳高合金冷作模具钢在浇注后缓慢凝固，产生粗大碳化物和偏析等缺陷。如高碳高铬型冷作模具钢和高速钢采用粉末冶金工艺生产后，碳化物粒度减小到 $1\mu\text{m}$ 左右，可以完全消除一般工艺生产的莱氏体钢中粒度达几十 μm 的大颗粒碳化物和网状碳化物。因此，粉末冶金模具钢磨削性能好、韧性好、等向性好、热处理工艺性能好。

由于粉末冶金模具钢具有较好的特性，近 20 年来在国外发展较快，代表性的钢号有美国的 CPM10V、德国的 320CrVMo13.5 等。这些钢含有大量弥散度高、硬度高的 MC 型碳化物，其耐磨性能介于硬质合金和高合金冷作模具钢之间。由于韧性好，因此制成的模具寿命可以与硬质合金模具相似；由于工艺性能好，因此适于制造形状比较复杂、工作条件苛刻的长寿命模具。其使用寿命可比模具钢模具提高几倍到几十倍。

2. 热作模具材料

热作模具钢要求钢在模具的较高工作温度下具有良好强度、硬度、耐磨性、抗冷热疲劳性能、抗氧化性和抗特殊介质的腐蚀性能，用于制造锻压、压铸、热挤压、热镦锻及高温超塑成形用模具。

国外通用的热作模具钢有 3 种类型：即低合金热作模具钢，如 55NiCrMoV6 和 56NiCrMoV7 等；中合金热作模具钢，如 H13 (4Cr5MoSiV1) 和 H11 (4Cr-5MoSiV)；钨系、钼系热作模具钢，如 H21 (3Cr2W8V)、H10 (4Cr3Mo3SiV) 等。

为了热作模具发展的需要，国外相继开发出一些新型热作模具钢，主要可分为以下几种类型：

(1) 高淬透性特大型锻压模具钢 代表性的钢号有国际标准 ISO 中的 40NiCrMoV7，法国 NF 标准中的 40NCD16 等，适于制造模块截面较大的大型锻压模具，其淬透性能高于通用型锻压模具钢。

(2) 高热强性模具钢 由于热作模具的工作温度不断提高，工作条件苛刻，传统的高热强性模具钢如 H21 (3Cr2W8V) 钢不能适应要求，国外陆续研制开发了不少新型热作模具钢，其代表钢号有以下几种类型：

1) 中合金高热强性热作模具钢。该类钢一般是在 H13 (4Cr5MoSiV1) 的基础上增加 W、Mo、Co、Nb 等元素，提高其高温性能。如美国的 H10A (3Cr3Mo3Co3V) 钢，瑞典的 QR080 (3Cr3Mo2VMn) 钢，该类钢与 3Cr2W8V 钢比较具有更高的高温强度和抗回火软化能力，在生产中使用效果良好。

2) 沉淀硬化型热作模具钢。代表性的钢号有：日本日立金属公司的 YHD3、YHD26、YHD28，日本大同特殊钢公司的 DH76 (2Cr3Ni3V) 等。这类钢的碳含量很低，一般在质量分数 0.2% 左右，而且含有一些沉淀硬化的合金元素如 V、Nb、Ni、Al 等。模具淬火后采用较低温度回火 ($\approx 400^{\circ}\text{C}$)，硬度为 40HRC 左右。由于碳含量低，中温回火后的组织为板条状低碳马氏体，具有良好的韧性、切削性。模具在使用过程中与高温工件接触的工作表面，被工件加热到钢的沉淀硬化温度 ($500 \sim 600^{\circ}\text{C}$)，由于合金碳化物和金属间化合物的析出，模具工作表面的硬度可以上升到 45 ~ 48HRC，型腔表面的耐磨性提高而模具心部仍保持原有的组织和高韧性，从而提高了模具的使用寿命。

3) 低碳高速钢和基体钢。低碳高速钢的代表钢号有美国 ASTM 标准钢号 H42 (6W6Mo5Cr4V2)、H26 (5W18Cr4V)、H25 (3Cr4W15V) 等，该类钢将高速钢的碳含量降至质量分数 0.3% ~ 0.6%，在降低部分热硬性和耐磨性的情况下改善其韧性和抗热疲劳性能。基体钢的代表钢号：如美国钒合金钢公司的 Vasco MA (5Cr4W3Mo2V) 等，其化学成分相当于淬火后的高速钢基体组织成分，所以淬火后过剩碳化物的数量少、细小均匀，使钢的韧性和抗冷热疲劳性能进一步得到改善。低碳高速钢和基体钢的综合性能较好，既可以用于热作模具材料，也可以用于制造高性能的冷作模具。

4) 奥氏体型热作模具钢。特殊钢公司的 5Mn15Ni5Cr8Mo2V2 钢，是为适应工作温度达 $700 \sim 800^{\circ}\text{C}$ 的热作模具的需要，而研发的奥氏体型热作模具钢。这类钢经固溶时效处理后，在 $700 \sim 800^{\circ}\text{C}$ 仍能保持较好的强度，可以用于制造高温工作条件下的模具。

(3) 高温热作模具材料 一些新的热加工技术的发展，如利用被加工材料在高温下的超塑性，进行等温锻造的锻压模具，模具要加热到被加工材料的超塑性温度 ($800 \sim 1050^{\circ}\text{C}$) 对材料进行锻压，因此，必须采用铁基高温合金、镍基高温合金和难熔合金做高温热作模具材料。

美国常用的钼基难熔合金 T2M、T2C、MHC 在 1000°C 以上的高温下仍具有较高的热强性，但必须在真空或保护气氛下使用。

日本日立金属公司近年来研制出一种镍基铸造合金 Nimowal，专门用于镍基高温合金材料等温锻造模具，在 1050°C 下的高温强度可以与钼基难熔合金相近，而且抗氧化性良好，可作为在大气下对高性能镍基高温合金进行等温锻造的模具材料。

3. 塑料制品成型材料

塑料制品的生产发展极为迅速，塑料模具用钢也取得迅速发展，国际上一些工业发达国家塑料模具的产值已经上升到模具行业产值的第 1 位，塑料模具钢也迅速发展成一个专用钢系列。如美国 ASTM 标准中的 P 系列包括 7 个钢号，

其他国家的一些特殊钢生产企业也发展了各自的塑料模具用钢系列，如日本大同特殊钢公司的塑料模具钢系列包括 13 个钢号，日本日立金属公司则列入了 15 个钢号，日本大岗的 NAK 系列也有 4~5 个钢种。

国外新型塑料模具钢的发展趋势主要有以下几个方面：

(1) 易切削、抛光性好的塑料模具钢 美国的 412、422、M-250、M-300；日本的 YAG、HPM38、MASCI；英国的 EAB、SS3、PMS-30；瑞典的 STAVAX-13 等。这类钢的杂质少、组织微细均匀、无纤维方向性，制模后型腔的表面质量高。

(2) 预硬化型塑料模具钢 代表钢号有美国的 P20、P21、4240、445；瑞典的 718 钢；日本的 PDS、NAK55、PSL、IMAX；德国的 MOVITREX-A (2312) 等。该类钢应用较广，以预硬化处理后的钢块供货，硬度达 23~48HRC，加工型腔后不再处理，无变形，可缩短模具制造周期。

(3) 时效硬化型塑料模具钢 一般碳含量较低，钢中加入 Ni、Al、Ti、Cu、Mo 等元素，模具坯料先经固溶后，在低硬度下进行加工，成形后进行时效处理，由于金属间化合物的析出，使模具硬度提高到 40~50HRC，以满足使用要求。由于时效温度低，变形小而且具有规律，适于制造形状复杂、精度高、超镜面以及大型塑料模具。

(4) 整体淬硬型塑料模具钢 国外一般都是借用高耐磨性冷作模具钢和热作模具钢。如美国的 A2 (Cr5Mo1V) 钢，D3 (Cr12) 钢和 D2 (Cr12Mo1V1) 钢等冷作模具钢和 H13 (4Cr5MoSiV1) 钢等热作模具钢。

(5) 耐腐蚀塑料模具钢 有些塑料制品如聚氯乙烯、氟塑料。阻燃塑料等，在加工过程中对模具有腐蚀作用，一般采用马氏体不锈钢和沉淀硬化型不锈钢。代表性的钢号有国际标准 ISO 中的 110CrMo17，瑞典 ASSAB 公司的 STAVAX (4Cr13) 等。

(6) 无磁塑料模具钢 为了适应磁性塑料制品的生产，国外发展了一些无磁塑料模具钢，将奥氏体型模具钢通过时效硬化处理得到要求的硬度强度和低的导磁率。代表性的钢号有日本大同特殊钢公司的 NAK301 和日本日立金属公司的 HPM75 钢等。

三、国外模具材料的发展展望

国外模具制造业正在向通用化、标准化、系列化、高效率、短制造周期发展，CAD 和 CAM 的应用日益普及。为了满足模具制造业发展的需要，模具材料向多品种、精细化、制品化的方向迅速发展。

随着模具工作条件的日益苛刻，对模具的质量，特别是钢的纯净度、等向性的水平提出了更高的要求。为此，国外普遍采用电炉+炉外精炼工艺生产纯净度高的模具钢。对于大截面锻压模块和大型的钢材规定采用真空处理；对于纯净度要求更高的模具钢，大部分采用电渣重熔，以进一步提高钢的纯净度、

致密度、等向性和均匀性，减少偏析。因此，模具钢的质量有了较大提高。

为了加强竞争力量，适应经济全球化的发展趋势，国外模具钢的生产从分散趋向于集中，并有多家公司进行跨国合并。为了更好地竞争，这些公司都建成了完善的、技术先进的模具钢生产线和模具钢科学研究基地，形成了几个世界著名的工模具生产和科研中心，以跟上迅速发展的模具工业。

第三节 我国模具材料的应用及发展

我国的模具生产发展较快，在一定程度上满足了加工业对模具的需要，逐渐发展成为国民经济的基础工业，国家把模具制造列为机电工业发展序列的第二位，这对振兴模具工业创造了较好的条件。

模具制造的首要问题是模具材料，建国以来我国模具钢生产技术发展较快，从无到有，从仿制到自主开发，目前我国模具钢的产量已跃居世界前列。经过几次钢种整顿的标准修订，在 GB/T1299—2000《合金工具钢》标准中包含了 37 个钢种，基本上形成了我国特色的模具钢系列。

近年来，随着模具工业的发展，我国自行开发了一些新型模具材料，同时在模具钢的生产技术、品种质量、工艺装备、科技开发及材料应用等方面都取得了较大的发展。现将 3 类模具钢钢种的发展状况简述如下：

一、冷作模具钢的应用及发展

目前我国常用的冷作模具钢仍是低合金钢（CrWMn）和高碳高铬工具钢（Cr12、Cr12MoV）这些老的钢号。CrWMn 钢有适当的淬透性和耐磨性，但在热加工和热处理过程中仍存在问题。高碳高铬工具钢虽然有较高的硬度和较高的耐磨性，但其碳化物偏析较严重，易导致方向性变形和强韧性降低，如果碳化物偏析过于严重易造成模具热处理后断裂。为了提高这类钢的强韧性，除了在工艺上进行改进外，我国又开发了一些新的冷作模具钢。

1. 低合金冷作模具钢

在中小工厂，简单模具可选择高碳钢如 T8A、T10A 钢等制造，但高碳钢淬透性差、淬火变形大、耐磨性低，强韧性和耐回火性都较差，因此不能制造形状复杂、精度要求高、承载力较大的工模具。

为适应工模具性能需要而发展起来的高碳低合金钢，是在碳素工具钢的基础上，加入适当的合金元素，如 Cr、Ni、Mn、Mo、Ti、W、Si 等，冶炼而成的，常用的模具钢有 CrWMn、9SiCr、9Mn2V、GCr15 等。合金元素的加入提高了钢的淬透性，油冷代替水冷降低了模具的变形和开裂的倾向，马氏体在回火时不易分解，分解后析出的碳化物也不易聚集长大，低温回火后有较高的强韧性和耐磨性，模具使用寿命较碳素工具钢有了较大的提高。但这类钢在热加工后应严