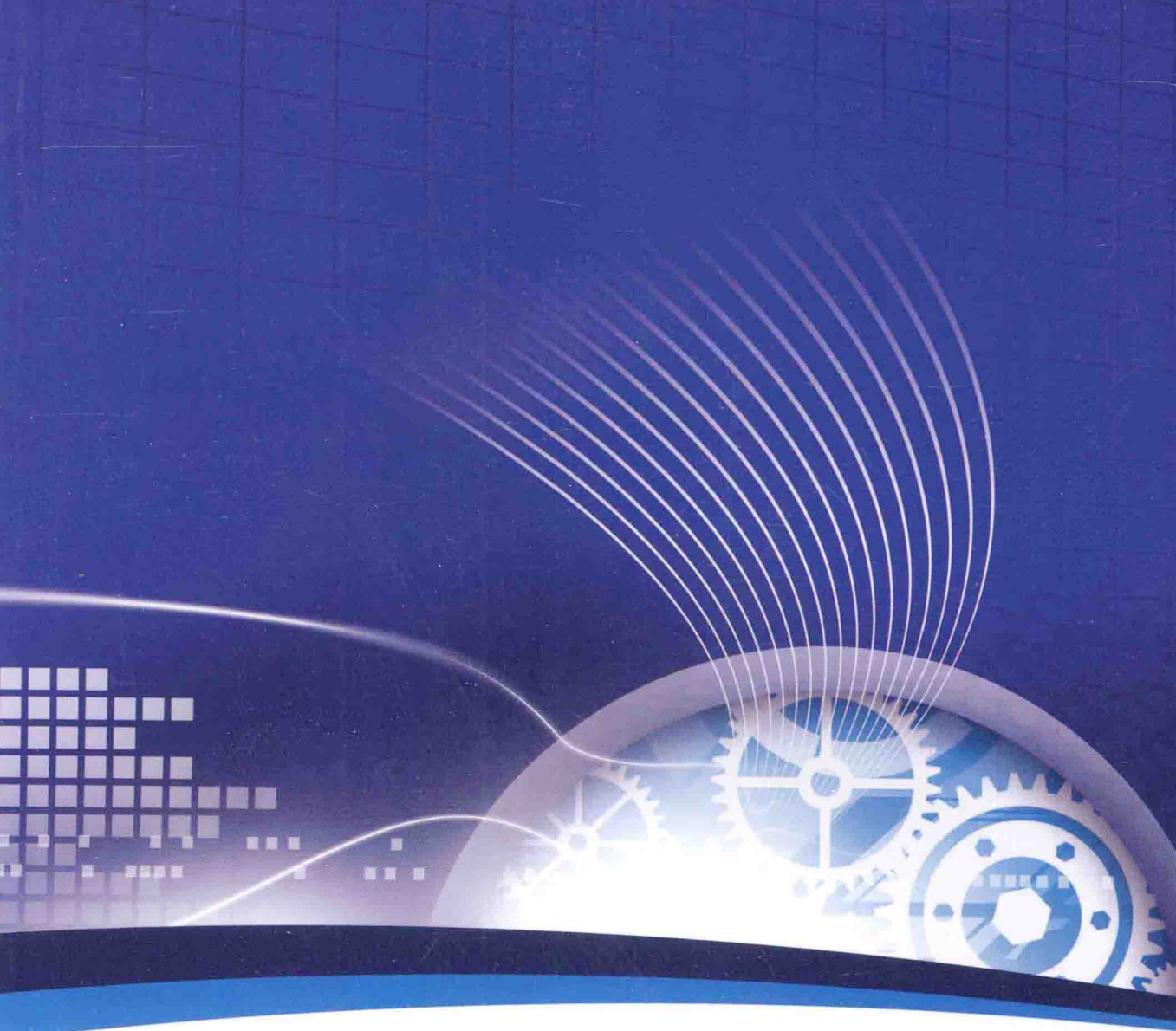




模具材料及表面强化处理

(第2版)

Muju Cailiao ji Biaomian Qianghua Chuli

◎主 编 谭彦显 杨伟峰 徐立华

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

模具材料及表面强化处理

(第2版)

主 编 谭彦显 杨伟峰 徐立华
副主编 侯巧红 夏明娜

内 容 简 介

本书根据教育部模具设计与制造专业教学委员会制定的“模具材料及热处理”课程基本要求编写而成。内容包括:模具钢基础理论知识,主要介绍模具钢的发展、分类及用途;冷作模具钢、热作模具钢、塑料模具钢、工模具钢表面化学热处理等。书中较系统地介绍了各类模具钢的典型牌号、成分、性能和热加工工艺,并通过金相组织、力学性能、检验方法和评定标准来说明各类模具钢的典型牌号的应用。

本书是模具专业的教学用书,也可供从事模具制造的工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

模具材料及表面强化处理/谭彦显,杨伟峰,徐立华主编.—2版.—北京:北京理工大学出版社,2014.6

ISBN 978-7-5640-9320-4

I. ①模… II. ①谭… ②杨… ③徐… III. ①模具-工程材料-教材②模具-金属表面处理-教材 IV. ①TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 121546 号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(总编室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/三河市天利华印刷装订有限公司

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/15.5

字 数/358千字

版 次/2014年6月第2版第1次印刷

责任校对/陈玉梅

定 价/40.00元

责任印制/边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

本书根据教育部高等教育模具设计与制造专业教学委员会制定的“模具材料及热处理”课程基本要求,总结近几年各高等院校的实际教学与课程改革情况,由具有丰富专业教学经验及生产实际经验的双师型教师编写。本书特点如下:

(1) 充分体现了教学为生产服务的目的,实践性强。书中案例较多,且来源于生产,对生产有很强的指导和借鉴作用。

(2) 选材内容明确,即只介绍生产实践中常用的模具材料及热加工方法,对金属材料基础知识不做重复叙述。

(3) 语言简练、表述明确、通俗易懂。书中采用了大量的实物照片、图表代替文字说明问题,便于教学及自学。

本书参考学时 60 课时,各校可根据自己的专业方向选择讲授。本书可作为高等院校模具专业的教学用书,也可供从事模具制造的工程技术人员参考。

本书由谭彦显、杨伟峰、徐立华任主编,侯巧红、夏明娜任副主编。全书由谭彦显统稿。

由于编者水平有限,书中存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

目 录

项目一 模具钢基础理论	1
任务一 概述	1
一、模具钢的重要性	1
二、发展简史	1
三、国外模具钢发展概况	3
任务二 模具钢的分类、性能及主要用途	7
一、分类	7
二、性能要求	10
任务三 模具钢的主要用途	14
一、冷作模具用钢	14
二、热作模具用钢	19
三、塑料模具用钢	22
项目二 碳素工具钢	25
任务一 原材料检验	25
一、退火组织检验	25
二、网状碳化物检验	27
三、脱碳层和石墨碳检验	28
任务二 热处理工艺、组织和性能	29
一、概述	29
二、常规热处理工艺、组织和性能	30
任务三 等温淬火工艺、组织和性能	32
任务四 缺陷组织	32
一、淬火软点	32
二、过热过烧组织	33
三、表面贝氏体和片层状马氏体	33
四、硬度不足	34
五、火焰淬火缺陷	34
六、碳化物网	34
七、冷却不均匀	35
任务五 模具钢的冶炼质量检验	35
一、模具钢的冶炼质量问题	35
二、钢的低倍缺陷举例：白点示例	37

二、模具钢的冶炼质量要求	38
任务六 金相试样的制备与观察	38
一、制样方法	38
二、金相显微镜的构造及使用	41
项目三 低合金工模具钢	49
任务一 GCr15 钢	50
一、原材料检验	50
二、球化组织检验	54
三、热处理工艺、组织和性能	57
四、缺陷组织、异常组织和失效分析实例	64
五、温挤压工艺和组织	69
任务二 CrWMn 钢	70
一、原材料检验	70
二、钢常规热处理工艺、组织和性能	71
三、CrWMn 钢的双细化工艺、组织和性能	73
四、CrWMn 钢等温淬火工艺、组织和性能	74
五、失效分析实例	75
任务三 9SiCr 钢	78
一、9SiCr 钢的热处理工艺、组织和性能	79
二、失效分析实例	81
任务四 9Mn2V 钢	83
一、9Mn2V 钢的热处理工艺、组织和性能	83
二、缺陷组织和失效分析实例	84
项目四 高合金冷作模具钢	86
任务一 概述	86
任务二 改变共晶碳化物分布、粒度、形态的各种工艺方法	87
一、冶炼、浇注工艺对碳化物形态和分布的影响	87
二、Cr12 钢系模具钢的锻造	88
三、锻造余热淬火—双细化工艺	90
四、固溶双细化工艺	92
任务三 原材料检验	93
一、共晶碳化物不均匀度的检查	94
二、网状二次碳化物的检查	95
任务四 常规热处理工艺	96
一、调质预处理	96
二、最终热处理	97
任务五 金相组织检验	98

任务六 力学性能	101
一、硬度	101
二、扭转性能和弯曲性能	101
三、韧性	102
任务七 等温淬火工艺、组织和性能	102
任务八 组织缺陷	104
一、过热过烧组织	104
二、机械加工烧伤	105
三、磨削裂纹	105
四、碳化物不均匀分布	107
五、电加工缺陷	107
项目五 高速钢	110
任务一 原材料检验	111
任务二 热处理工艺、组织和性能	114
一、常规淬火工艺和组织	115
二、回火工艺和组织	117
三、力学性能	119
任务三 高速钢冷作模具热处理工艺、组织和性能	119
任务四 热处理质量检验	121
一、过热过烧组织检验	121
二、回火质量检验	123
任务五 高速钢等温淬火工艺、组织和性能	124
项目六 基体钢	127
任务一 65Nb 钢	129
一、常规热处理工艺、组织和性能	130
二、超细化处理及其组织	133
三、等温淬火工艺、组织和性能	133
任务二 012Al 钢	134
一、热加工工艺和组织	135
二、力学性能	136
三、缺陷组织	138
任务三 CG-2 钢	138
一、热加工工艺和组织	139
二、力学性能	140
项目七 新型模具钢	142
任务一 LD 钢	142
任务二 GM 钢	144

一、热加工工艺和组织	145
二、力学性能	147
项目八 钢结硬质合金	149
任务一 概述	149
任务二 原材料检验	150
一、样品制备	150
二、孔隙度检验	151
三、污垢度检验	151
四、氧化铁杂质检验	151
五、石墨检验	152
任务三 热处理工艺和金相组织	152
一、球化退火	152
二、最终热处理工艺	153
三、钢结硬质合金的金相组织	155
四、钢结硬质合金的力学性能	156
项目九 高韧性热作模具钢	159
任务一 5CrMnMo 钢和 5CrNiMo 钢	159
一、常规热处理工艺、组织和性能	160
二、等温淬火工艺、组织和性能	162
三、缺陷组织	163
任务二 H11 钢	164
项目十 高热强钢	167
任务一 3Cr2W8V 钢	167
一、概述	167
二、原材料检验	169
三、热处理工艺和组织	174
四、力学性能	179
五、缺陷实例和失效分析	182
任务二 Y 系列热作模具钢	183
一、Y10 钢热加工工艺、组织和性能	184
二、Y4 钢热加工工艺、组织和性能	187
项目十一 强韧兼备的热作模具钢	191
任务一 H13 钢	191
一、原材料检验	192
二、热处理工艺和组织	195
三、力学性能	197
四、H13 钢与 3Cr2W8V 钢的性能对比	199

五、缺陷组织实例	201
任务二 HM3 钢	203
一、热加工工艺和组织	203
二、力学性能	205
任务三 ER8 钢	207
一、概述	207
二、热处理工艺和组织	208
三、力学性能	210
项目十二 塑料模具用钢	211
任务一 预硬型塑料模具钢	212
任务二 易切削预硬型塑料模具钢	213
一、加硫预硬型塑料模具钢	214
二、二元易切削预硬型塑料模具钢	217
任务三 时效硬化型塑料模具钢	221
一、PMS 钢	221
二、SM2 钢	223
项目十三 工模具钢的表面强化处理	225
任务一 工模具钢渗碳和碳氮共渗	225
一、渗碳和碳氮共渗工艺	225
二、渗碳和碳氮共渗层组织和性能	227
任务二 工模具钢渗氮及氮碳共渗	231
一、渗氮及氮碳共渗工艺	232
二、渗氮及氮碳共渗层的性能	234
参考文献	236

项目一 模具钢基础理论

任务一 概 述

一、模具钢的重要性

随着工业技术的迅速发展,国内外的制造工业广泛地采用无切削、少切削加工工艺,如用精密冲压、精密锻造、压力铸造、冷挤压、热挤压及等温超塑成形等新工艺,代替传统的切削加工工艺。模具已成为其主要的成形工具,家用电器行业约 80% 的零部件、机电行业约 70% 的零部件均采用模具成形,塑料、橡胶、陶瓷、建材、耐火材料制品大部分也依靠模具成形。例如,一种中型载重汽车的改型,需要模具 4 000 多套,重达 2 000 多吨;生产一种型号的照相机,需要模具 500 多套。在不少行业中,模具费用已经占产品成本的 15%~30%。因此,工业产品质量的改善、生产率的提高、成本的降低、产品更新换代的速度,在很大程度上取决于模具的制造精度和质量、制造周期、生产成本、使用寿命等因素。所以国外有人宣称“模具是工业发展的基石”“模具是促进社会繁荣的动力”,这充分说明工业发达国家对模具生产的重视,因此其模具工业发展迅速,并成为一种新兴的行业。20 世纪 80 年代以来,日本、美国、德国等工业发达国家,模具工业的产值都超过了机床工业的产值。1976—1985 年的 10 年内,日本机械制造业的产值增加 2 倍,而模具工业的产值增加 3 倍,到 1991 年,其模具工业的产值达到 18 330 亿日元。模具钢是模具工业最重要的技术和物质基础,近年来,随着模具工业的迅速发展,模具钢发展也极为迅速。世界各国都把模具钢产量统计到合金工具钢中,其产量约占合金工具钢产量的 70%~80%。目前,工业发达国家的合金工具钢产量约占该国钢总产量的 0.1%,而日本,在 1978—1990 年,钢的年产量一直在 1 亿吨左右,而合金工具钢热轧钢材的年产量却从 6.79 万吨上升到 13.22 万吨,增长了将近 1 倍。我国主要特殊钢厂在 1986—1997 年的 11 年间,合金模具钢的产量每年的平均增长速率为 12%,由 4.88 万吨上升到 11.3 万吨,其发展速度与国外一致。

二、发展简史

模具是从锤、斧、凿等手工工具逐步发展而来的。人类从铁器时代开始,就采用钢铁材料制造手工工具。人们在埃及大金字塔中发现了约 5 000 年前可能是由陨铁制成的铁制工具残片。早在公元前 900 年,希腊诗人荷马(Homer)写的长诗《奥德赛(Odyssey)》中,就有关于钢铁工具淬火的记载。公元前 350 年,印度人制成了乌兹钢(Wootz Steel),它是先将铁矿固态还原制成海绵铁,然后与木炭混合、密封、加热,通过渗碳而制成的。但是,早期的工具钢属于简单普通碳素钢。自从蒸汽机问世后,工业产品由手工制造变成机器制造,切削加工的速度提高,成形负荷增大,对手工工具材料的质量、使用性能、工艺性能的要求越来越高,碳素工具钢已无法满足要求,为此,1868 年穆施特(Robert Mushet)提出一种合金工具钢,其化学

成分为 2% C、2% Mn、7% W，可以空淬，被称为穆施特钢(Mushet Steel)。几年之后，这种钢在英国舍菲尔德(Sheffield)的工厂投入生产，主要用于制造刀具，由于它比当时用的碳素工具钢耐磨性好，使用寿命长，所以成为当时应用广泛的合金工具钢。

19 世纪 90 年代，通过研究，将上述锰含量达 2% 的穆施特钢中的锰用铬代替，变成铬钨钢。1893 年布鲁斯林(H. A. Brustlein)向米德沃(Midvale)公司提出的两个铬钨工具钢样品的化学成分，如表 1-1 所示。

表 1-1 铬钨工具钢样品的化学成分

百分含量/% 试样号	化学成分	C	Mn	Cr	W
1		1.49	0.34	1.51	4.76
2		1.66	0.64	2.40	6.59

1895 年泰勒(F. W. Taylor)首先发现上述合金工具钢提高淬火温度可以得到红硬性，使工具能在较高的切削速度下使用，提出了“高速钢”的概念。1903 年泰勒又和怀特(M. White)等推荐一种含 0.7% C、14% W 的合金工具钢，1904—1906 年在上述钢中添加 0.3% V。1910 年又将 W_v 提高到 0.7%，成为当代 W18Cr4V 型高速钢的雏形。

在此期间低合金工具钢也取得了很多成就，1895 年卡本特(Carpenter)钢公司生产成分为 1.00% C、2.50% Cr 的工具钢。1897—1898 年生产了含 1.18% C、0.94% Cr、0.78% W 的低合金工具钢。

20 世纪 20 年代发展了一系列的合金模具钢，主要有：

- (1) 高碳高铬型冷作模具钢。
- (2) 1% C、5% Cr 并加入钼的中合金空淬冷作模具钢。
- (3) 适用于制造压铸模具的热作模具钢。
- (4) 研究了铬钨型高耐热性热作模具钢。
- (5) 开始进行易切削模具钢的研究，到 30~40 年代发展成石墨化模具钢和各种易切削模具钢。

为了进一步改善低合金冷作模具钢的淬透性，减少淬火变形，从 20 世纪 40~80 年代，各国陆续发展了一批低合金微变形冷作模具钢。从 70 年代以来，为了简化热处理工艺、节省能源，发展了一批火焰淬火模具钢；为了进一步改善冷作模具钢的综合性能，国外发展了一批 W_{Cr} 为 8% 左右，再加入 Mo、V 等合金元素的高韧性、高耐磨性冷作模具钢。

为了适应热作模具钢发展需要，在 20 世纪 20~30 年代发展的含钨量高的铬钨系热作模具钢的基础上发展了钼系、钨钼系及铬系热作模具钢，低碳高速钢和基体钢型的热作模具钢。

20 世纪 50 年代以后，随着石化工业的迅速发展，塑料迅速成为一种重要的工业材料，为了满足塑料制品成形模具的需要，各国迅速发展了一批不同类型的专用塑料模具钢，目前在不少先进工业国家已经形成专用的钢种系列，如渗碳型、预硬型、整体淬硬型、耐蚀型、时效硬化型等塑料模具用钢。

我国是世界文明古国之一，钢铁生产技术始于公元前 5 世纪的春秋战国时期，到西汉逐渐兴盛起来。至东汉时期，我国已创造了白口铸铁柔化处理技术，即高韧性可锻铸铁的生产技术。我国生铁冶炼技术的发明要比欧洲早 1 900 年，而可锻铸铁生产技术更是比欧洲早 2 300 年。

我国在春秋晚期已经发明了块炼渗碳钢技术,如长沙杨家山出土的春秋晚期的钢剑,就是 W_C 为0.50%的中碳钢。其生产工艺是先将铁矿石固态还原成海绵铁,然后进行渗碳,再经反复折叠锻打,最后锻打成具有多层结构的钢制工具。

在钢的热处理技术上,我国早在战国后期已广泛采用淬火工艺,如河北易县燕下都44号墓出土的钢剑和钢戟,都经过淬火处理,呈现针状马氏体显微组织。

我国采用钢铁制造模具也是很早的。在战国时期,就率先使用生铁制造铸造用的模具(铁范),用来浇铸铸铁的斧、凿、镰等工具。在河北兴隆县和河南新郑县,先后出土了大量战国时代的铁范。通过铸铁模具的使用,不仅可以改善铸造铁器的质量,而且由于模具可以多次使用,能够显著地提高生产效率,降低生产成本,对社会生产力的发展起到较大的推动作用。

我国冷作模具发展也比较早,明代出版的《天工开物》一书中就记载有将钢尺锥成线眼,将钢条抽过线眼冷拔成钢丝,然后将钢丝剪断制成针的工艺过程。说明当时已经采用钢制的冷拉模具生产针用钢丝。

17世纪以来,通过产业革命,欧洲的钢铁生产技术得到迅速发展。而我国从19世纪以来长期受封建主义、官僚资本主义和帝国主义的统治,沦为半封建半殖民地社会,生产技术停滞不前,到1949年新中国成立前年产钢仅15.8万吨。基本上不能生产模具钢,模具用钢几乎全部依靠进口。

新中国成立后,我国模具钢的生产技术取得了迅速发展,在1997年,仅冶金系统几个主要特殊钢厂的合金模具钢产量已达11万吨,居于世界前列,国产模具钢基本上能满足国内模具行业的需要,而且还有部分出口。

自新中国成立60年来,我国通过引进和自己研制开发,逐渐形成了我国的模具钢钢种系列。1952年引进苏联国家标准,制定了我国重工业部部颁合金工具钢标准;1959年,根据我国资源情况,制定了冶金工业部部颁合金工具钢标准YB 7—1959。到1977年,在整顿原来的钢种系列的基础上,吸收我国历年来科研开发工作的经验,制定了我国第一个合金工具钢国家标准GB 1299—1977。1985年对该标准进行修订,颁发了GB/T 1299—1985,1999年进行再次修订,颁发了GB/T 1299—2000,从而建立了具有我国特色的、接近世界先进水平的,包括冷作模具钢、热作模具钢、塑料模具钢和无磁模具钢的模具钢种系列,以适应使用部门和生产部门的需要。

三、国外模具钢发展概况

随着工业生产技术的发展和新材料的不断出现,模具的工作条件日益苛刻,对模具钢的性能、质量、品种等方面也不断地提出更高更新的要求,为此,世界各国近年来都积极地开发了具有各种特性、适应不同要求的新型模具钢,并在品种、质量、生产工艺和生产装备上开展了大量的工作,取得了迅速的进步,下面分述如下:

1. 塑料模具钢高速发展并系列化

由于石化工业的发展,各种性能优越的塑料材料不断涌现,尤其是20世纪70年代以后工程塑料品种的大量开发,塑料已经成为一种重要的工业材料,广泛用于国民经济的各部门。从航天器到舰艇,从建筑材料到农业生产,从家用电器到儿童玩具都离不开塑料制品,而塑料制品大部分采用模具成形,为此,不少工业发达国家塑料模具的产值已经居模具产值的第一位,

塑料模具钢也迅速发展并成为一个专用钢种系列。美国现行的 ASTM A681 标准中,塑料模具钢为 P 系列,包括 7 个钢号;日本大同特殊钢株式会社有 13 个塑料模具钢号。

塑料模具钢根据其性能和使用条件可分为:

- (1) 小尺寸模具用中碳调质钢。
- (2) 大中型模具用预硬型中碳低合金模具钢。
- (3) 为改进切削性能的含硫、铅预硬化易切削模具钢。
- (4) 时效钢和马氏体时效钢用于制造复杂、精密、高镜面模具,模具在固溶态加工,时效后使用,该钢具有高强度、高韧性、高硬度、热处理变形小等特点。
- (5) 高淬透性的冷作或热作模具钢用以制造整体淬火的高硬度模具或成形复合强化塑料的模具。
- (6) 渗碳型塑料模具钢(低碳合金钢)。
- (7) 耐蚀塑料模具钢(含不锈钢),耐聚氯、聚氟乙烯腐蚀。
- (8) 镜面抛光模具钢(超高纯度钢),制造镜片、镜头等塑料制品。

2. 研制出先进的冷、热作模具钢

1) 冷作模具钢

目前世界上通用的冷作模具钢可分三类:低合金冷作模具钢,以美国 ASTM A681 标准中的 O1(9CrWMn)为代表;中合金冷作模具钢,以 A2(Cr5Mo1V)钢为代表;高合金冷作模具钢,以 D2(Cr12Mo1V)钢为代表。除此之外,处于开发研制阶段的还包括如下几种新型冷作模具钢:

(1) 高韧性、高耐磨性冷作模具钢。有些冷作模具如冷镦模具、厚板冲剪模具对模具材料既要求有良好的耐磨性,又要求较高的韧性,通用型冷作模具钢不能满足需要。为此,美国、日本等在 20 世纪 70—80 年代开发出一批高韧性、高耐磨性冷作模具钢,如美国的 Vasco Die(8Cr8Mo2V2Si)、Vasco Wear(8Cr8Mo2VWSi),日本的 QCM-8(8Cr8Mo2SiV)、DC53(Cr8Mo2SiV)、TCD(Cr8V2MoTi)等。该类钢碳化物细小、弥散,抗弯强度、断裂韧性、耐磨性、可切削性、可磨削性、抗回火稳定性高,热处理变形小,将来有可能发展成为一种通用型冷作模具钢。

(2) 火焰淬火冷作模具钢。为简化工艺、缩短模具制造周期,发展了一些适应火焰淬火要求的专用钢号,如日本的 SX105(7CrMnSiMoV)、SX35(Cr8MoV)等,其特点是淬火温度范围宽,淬透性较高,以适应火焰局部加热空冷淬火的要求,广泛用于汽车制造业。

(3) 粉末冶金冷作模具钢。用粉末冶金方法生产,在制粉过程中,由于钢水雾化后迅速凝固,形成非常细小、弥散的碳化物,可显著改善钢的韧性和可磨削性。粉末冶金方法可生产常规工艺难以生产的超高碳、高合金(尤其是高钒含量)、高耐磨性的模具钢和钢基碳化钛,如德国的 X320(CrVMo135),碳含量超过 3%,含钒量超过 5%,细小、弥散分布的碳化物面积达 50%,制造特种陶瓷模具的寿命高于硬质合金模具。

2) 热作模具钢

热作模具钢主要用于制造金属材料热成形的模具材料,用量最大的为三类通用型热作模具钢:低合金热作模具钢,代表性钢号为 5CrMnMo 和 5CrNiMo;中合金热作模具钢,代表性钢号为 H13(4Cr5MoSiV1)、H11(4Cr5MoSiV)、H10(4Cr3Mo3SiV);高合金热作模具钢,应用

最广的钢号为 H21(相当于 3Cr2W8V)。为适应一些热作模具的特殊要求,研制了一些新型高性能热作模具钢,主要有以下几种:

(1) 基体钢。基体钢的化学成分相当于淬火后的高速钢基体组织的成分,所以淬火后残留的共晶碳化物数量很少,回火后碳化物细小、弥散分布,钢的强韧性和热疲劳性能好。

(2) 低碳高速钢。低碳高速钢是通过将高速钢的 W_c 降至 0.3%~0.6% 得到,这样可以减少其共晶碳化物的数量,既保持较高的红硬性,又改善钢的韧性和热疲劳性能。

(3) 高温热作模具钢。对于以马氏体为基体的热作模具钢,当工作温度超过 700℃ 时,其高温强度急剧下降,使模具磨损、变形而早期失效。为此,近 20 年来,国内外相继开发了以奥氏体为基体组织的 CrMn 系和 CrMnNi 系热作模具钢,加入钒、钨、钼等合金元素,通过时效硬化提高钢的强度、硬度和耐磨性,以适应工作温度为 700℃~800℃ 热作模具的要求。但是这类钢的导热性差、线(膨)胀系数大、热疲劳性差,不宜制作激冷激热条件下工作的高温模具,如日本的 5Mn15Cr10V2、5Mn15Ni5Cr8Mo2V2 等。

(4) 高温耐蚀模具钢。为了改善模具在高温下抗液态金属及其他介质的冲蚀和抗高温氧化能力,针对压铸模具和压制玻璃制品的模具,发展了高温耐蚀模具钢,如日本三菱制钢公司开发的用于制造玻璃成形模具的 3Cr13MoV 钢。

(5) 高淬透性热作模具钢。为适应特大型锻模模块用钢的需要,在 5CrNiMo 钢的基础上增加 Ni、Cr、Mo 等合金元素的含量,改善钢的淬透性、热强性和韧性,如 ISO 4975—1980E 标准中的 40NiCrMoV4,法国 NF-35-590 标准中的 40NCDA16(40Ni4Cr2Mo)等。

(6) 中合金高强韧性热作模具钢。这类钢能够比较合理地使用合金元素,降低了产品的生产成本,因此近几年发展较快,如在 H13 钢的基础上降低钨含量,提高钒含量,发展以 MC 型碳化物为主要强化相的钢种,代表性的钢号如瑞典的 QRO80、QRO90M。

3. 模具钢品种规格多样化,产品精料化、制品化

为了提高模具制造业的生产效率和材料利用率,缩短模具制造周期,配合模具工业的标准化、系列化、设计和制造过程中 CAD/CAM 技术的应用,模具钢的品种规格迅速向多样化、精料化、制品化发展。

(1) 品种规格多样化。相当部分的模具,如塑料模具、冷冲模、下料模、剪切模、压铸模等大部分是由几块扁平形部件组装而成的,所以国外合金工具钢钢材产量中扁钢和厚板占较大的份额。如日本,1990 年以来,合金工具钢热轧钢的扁钢和板带产量占总产量的 40% 以上。美国 ASTM A681—1984 合金工具钢标准中对锻造扁钢、热轧扁钢、热轧板材、冷拉扁钢的技术条件都分别做了详细的规定。

(2) 精料化。国外模具钢已日趋精料化,由钢厂直接提供不同要求的、经过机械加工的、高尺寸精度、无脱碳层的精料。国外有些主要的模具钢生产厂的模具钢精料的比例已占 60% 左右,如美国,ASTM A681—1984 合金工具钢标准中对合金工具钢精料分别就粗车棒材,冷拉棒材,无心磨削棒材,冷拉方钢、扁钢,精密磨削的方钢、扁钢等品种的技术条件做了详细的规定。1984 年已专门颁布经过机械加工的合金工具钢扁钢及方钢的专用标准 ASTM A685—1984。

(3) 制品化。由冶金厂供应经过淬回火和精加工的模板、模块等制品,模具厂可以直接采购标准模块,只对模具的型腔或刃部进行精加工后即可与标准模架配套组装后交货。由于模具成形后不需要再进行最终热处理就可以直接使用,所以既保证模具的使用性能,又可以避免

由于热处理而引起的模具变形、氧化、脱碳、开裂等质量问题。该类制品适宜制造形状复杂、大型、精密、长寿命的塑料模具,深受模具制造行业的欢迎。

4. 模具材料性能高级化

近 20 年,为提高模具的质量,延长使用寿命,工业发达国家把提高模具材料的质量和性能放在重要的位置。在此,重点介绍以下三方面:

(1) 高纯净度模具钢。钢的纯净度提高到一定水平,不但可以改进钢的原有性能,而且可以赋予钢新的性能,日本大同特殊钢公司把 SKD61 钢中 W_s 、 W_p 从 0.03% 降到 0.01% 以下,冲击韧性提高一倍以上。日立金属公司把 SKD61 钢中 W_p 从 0.03% 降低到 0.001%,钢的冲击韧性从 40 J/cm^2 提高到 130 J/cm^2 。德国蒂森把 2344EFS 钢中 W_p 降低到 0.003% 以下,且细化晶粒,钢的抗疲劳性能明显提高。提高模具钢的纯净度,将降低钢中夹杂物的含量,从而有效地提高钢的抛光性能和表面粗糙度,这对塑料模具钢尤为重要。因此,日本山阳特殊钢公司规定高纯度模具钢中的 $[O] \leq 10 \times 10^{-6}$ 、 $[S] \leq 50 \times 10^{-6}$ 。

(2) 等向性模具钢。模具大部分是多向受力,因此提高模具钢的等向性,改善钢的横向韧性和塑性,使其与纵向性能接近,就可以大幅度提高模具的使用寿命。近 20 年来,国外不少特殊钢厂都采用不同的工艺措施致力于开发高等向性模具钢,并且各自命名了一些商业品牌,如奥地利百乐钢厂首先命名的 ISODISC;日本日立金属公司安来工厂命名的 ISOTROPY;日本高周波钢业公司命名的 Microfined 等。这种高等向性模具钢横向的韧性和塑性值,可以相当于纵向性能的 80%~95%。

(3) 生产高性能模具钢必须采用新工艺、新技术和新装备。生产低合金模具钢时采用精炼、大断面无缺陷连铸、高刚度连轧机及高精度轧制、可控气氛热处理炉,不同类型的精整和精加工以及无损探伤技术。生产高合金模具钢或性能要求很高的模具钢还需要采用精料、双真空冶炼、电渣重熔、钢锭高温均匀化处理、大压下量多向锻造、多向轧制、大型水压机开坯、精锻机组合锻造以及真空退火等来进一步提高钢的纯度、细化组织和提高钢的等向性能。

5. 我国模具钢生产技术现状及展望

新中国成立以来,我国模具钢生产发展较快,从无到有,从仿制到自行开发,在短短的 60 年内,我国模具钢产量已跃居世界前列。绝大部分国外的标准钢号和科研试制中的模具钢号,我国基本上均开展生产和研制工作。通过几次钢种的整顿和标准修订,已经初步形成比较完整的具有中国特色的模具钢系列,在模具钢的生产技术、品种质量、科技开发以及应用工作等方面都取得了较多的新成就。当然,由于发展时间较晚,我国与工业发达国家相比,在某些方面还存在一些问题和差距。

1) 钢种系列与产品结构

从我国 1999 年制定的国家标准 GB/T 1299—2000 来看,钢种系列比较完整,既包括了国内外通用的性能较好的模具钢,也纳入了一些国内研制的、在生产应用中取得良好使用效果的新钢种,基本上可以满足模具制造业的需要。但是在钢种系列,产品的结构 and 应用方面还存在一些问题,主要有:

(1) 钢种系列有待进一步完善,如用量很大的塑料模具钢,在 GB/T 1299—2000 中只纳入了 3Cr2Mo(相当于美国钢号 P20)和 3Cr2NiMnMo(相当于瑞典 ASSAB718)两个钢号,显

然不能满足各种不同类型的塑料模具的要求。此外,陶瓷、玻璃、耐火砖等非金属制品成形模具也有待于发展先进的模具钢。

(2) 钢种产品结构的选择不合理,如塑料模具产量很大,但目前 90%左右的塑料模具均采用碳素结构钢制造,模具的使用寿命短、质量差,因此压制的塑料制品质量不高。冷作模具钢的钢号系列比较完整,但目前占产量 70%左右的是 Cr12、Cr12MoV、CrWMn 三个钢号。世界上用量较大、综合性能较好的 A2(Cr5Mo1V)钢,虽然已纳入国家标准,但产量很少,高耐磨的 D2(Cr12Mo1V1)钢,用量也不高。热作模具钢的产品结构要好一些,通过 10 余年的大力推广,世界上应用最广、综合性能较好的中合金铬钼系热作模具钢 4Cr5MoSiV1(H13)的产量已居国产模具钢的首位。

2) 钢材品种

在我国模具钢生产中,有相当一部分中大型锻造模块已经采用快锻水压机多向锻造,用大型带锯锯切成形,冶炼采用炉外精炼和真空脱气工艺,产品质量可以与国外进口模块相媲美。大型棒材也已部分采用精锻机或大型轧机生产,尺寸精度较好。但是钢材的品种单一,90%左右是黑皮圆棒材,精料和制品的比例很低。国内中小型模块,都是由模具制造厂将圆钢锯切改锻成扁钢或模块,由于采用自由锻锤改锻,加工余量大,材料利用率低,严重地影响了模具的制造周期。

3) 生产工艺和装备

为了提高模具钢的质量,从 20 世纪 70 年代以来,国内陆续推广了炉外精炼、电渣重熔、快锻、精锻、可控气氛热处理等新技术,采用新技术生产的模具钢产品质量与国外实物质量水平相当。在一些钢厂相应地建成了一批先进的工艺装备,特别是“八五”期间建成和在建的模具钢扁钢和厚板生产线,投产以后对改善我国模具钢的品种、规格起到了比较大的作用。但由于发展历史短,很多方面处于初创阶段,还需要一定的时间进行配套、掌握、适应和完善。特别是后道工序和质量检验手段落后,缺乏深度加工设备和在线质量检测设备,在不少工厂中仍然采用 20 世纪 50 年代水平的工艺装备进行生产。所以总体而言,我国模具钢在生产效率,产品的内在质量,特别是尺寸精度和表面质量方面,与国外产品比较尚存在一定的差距。

4) 专业化生产

我国模具钢分散在 10 多个特殊钢厂生产,生产分散,先进的生产设备不配套,影响国产模具钢质量的提高和产品的开发。为此,应建设几个具有世界先进水平的模具钢专业生产厂。完善模具钢精料产品生产线,提供冷拉材、剥皮材、磨削和抛光钢材以及经机加工并淬火、回火的模块和模板等制品。通过技术改革,提高普通钢厂模具钢特厚板产品质量;采用精料,真空冶金、电渣重熔、多向锻造、多向轧制、真空热处理等生产工艺生产高级模具钢,从而增加品种、提高质量、降低成本,使我国模具钢产品迅速达到世界先进水平。

任务二 模具钢的分类、性能及主要用途

一、分类

由于各种模具的工作条件差别很大,所以从化学成分来看,模具钢的范围很广,有从一般的碳素结构钢、碳素工具钢、合金工具钢、合金结构钢、高速工具钢,到满足特殊模具要求的奥氏体无磁模具钢、耐蚀模具钢、马氏体时效钢、高温合金、难熔合金、硬质合金及一些采用粉末

冶金工艺生产的专用高合金模具材料等。

1. 冷作模具钢

冷作模具钢主要用于制造在室温条件下进行压制成形的模具,如冷冲压模具、冷拉伸模具、冷锻模具、冷挤压模具、压印模具、辊压模具等。冷作模具品种多、应用范围广,其产值占模具总产值的 30%~40%。可采用的钢号很多,一般采用高碳过共析钢和莱氏体钢,如碳素工具钢、低合金油淬冷作模具钢、空淬冷作模具钢、高碳高铬型冷作模具钢、高速钢、低碳高速钢和基体钢,及用粉末冶金工艺生产的高合金模具材料等。常用钢号及化学成分见表 1-2 所列。

表 1-2 常用冷作模具钢化学成分及含量 W(质量分数) %

W 化学成分		C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	其他
钢号									
油淬冷作模具钢	9Mn2V	0.85~0.95	≤0.40	1.7~2.00	—	—	—	0.10~0.25	—
	CrWMn	0.9~1.05	≤0.40	0.8~1.10	0.90~1.20	1.2~1.60	—	—	—
	9CrWMn	0.85~0.95	≤0.40	0.9~1.20	0.50~0.8	0.5~0.8	—	—	—
	9SiCr	0.85~0.95	1.2~1.6	0.3~0.6	0.95~1.25	—	—	—	—
	Cr2	0.95~1.1	≤0.40	≤0.40	1.30~1.7	—	—	—	—
空淬冷作模具钢	Cr5Mo1V	0.95~1.05	≤0.50	≤1.00	4.75~5.50	—	0.9~1.4	0.15~0.50	—
	Cr6WV	1.00~1.15	≤0.40	≤0.40	5.5~7.00	—	—	0.5~0.7	—
	Cr4W2MoV	1.12~1.25	0.4~0.7	≤0.40	3.50~4.00	1.90~2.60	0.8~1.2	0.80~1.10	—
	8Cr2MnWMoVS	0.75~0.85	≤0.40	1.30~1.70	2.30~2.60	0.7~1.00	0.5~0.8	0.10~0.25	$W_S=0.1$
高碳高铬冷作模具钢	Cr12	2.00~2.30	≤0.40	≤0.40	11.5~13.0	—	—	—	—
	Cr12MoV	1.45~1.7	≤0.40	≤0.40	11.00~12.50	—	—	—	—
	Cr12Mo1V1	1.40~1.60	≤0.60	≤0.60	11.0~13.0	—	0.70~1.20	≤1.10	$W_{Co} \leq 1.00$
基体钢和低碳高速钢	6W6Mo5Cr4V	0.55~0.65	≤0.40	≤0.60	3.70~4.30	6.00~7.00	4.50~5.50	0.70~1.10	—
	6CrW3Mo2VNb	0.60~0.70	≤0.40	≤0.40	3.80~4.40	2.50~3.50	1.80~2.50	0.80~1.20	$W_{Nb}=0.20 \sim 0.35$
	7W7Cr4MoV	0.60~0.70	≤0.40	≤0.40	4.50~5.00	6.50~7.50	0.20~0.5	0.40~0.70	—
高韧性高耐磨性冷作模具钢	7Cr7Mo2V2Si	0.70~0.80	0.70~1.20	≤0.40	6.50~7.50	—	2.00~3.00	1.70~2.20	—
火焰淬火冷作模具钢	7CrSiMnMoV	0.65~0.75	0.85~1.15	0.65~1.05	0.90~1.20	0.30~0.50	—	0.15~0.30	—