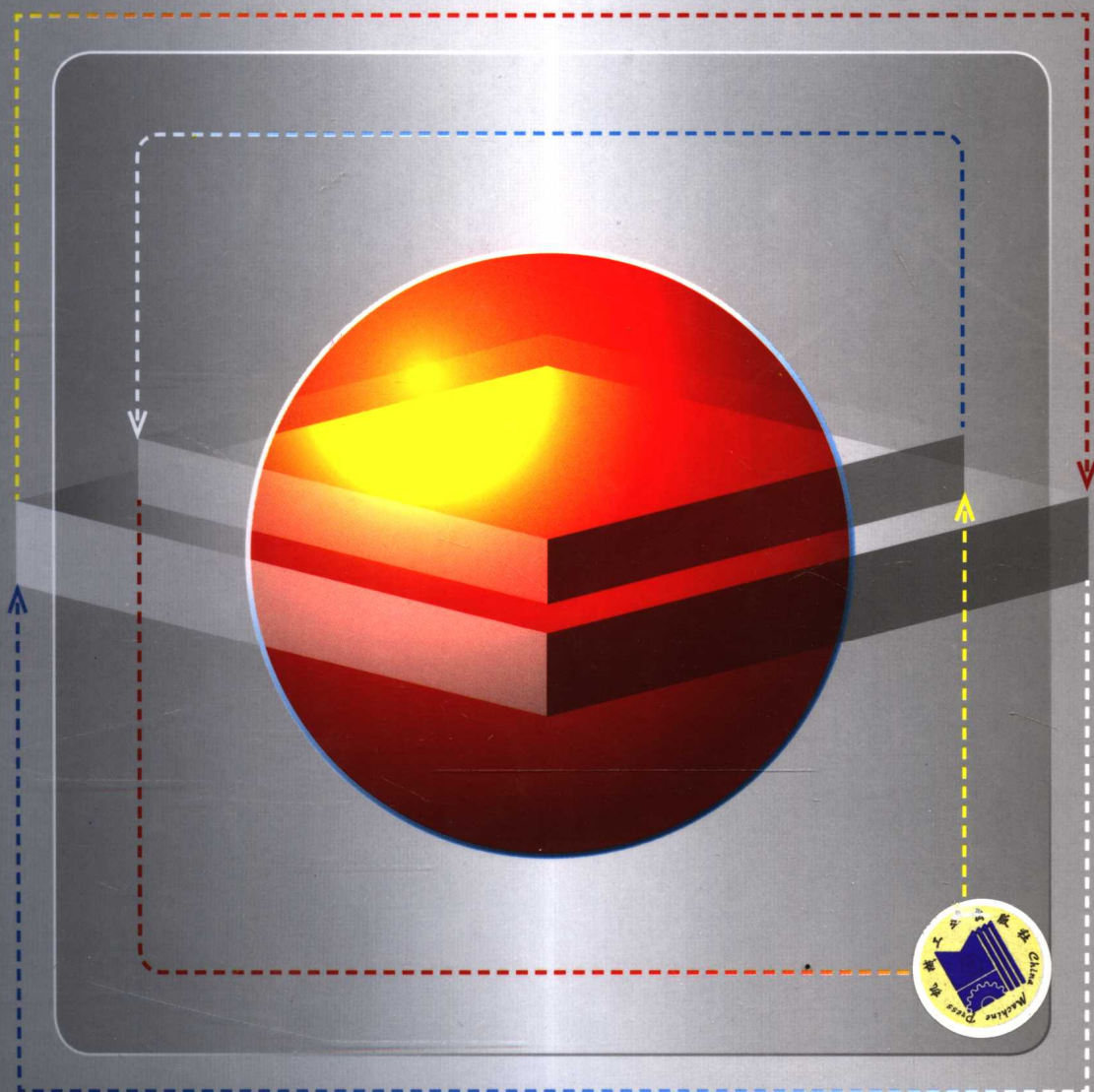


模具材料及 热处理手册

赵昌盛 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

模具材料及热处理手册

赵昌盛 编著



机械工业出版社

本书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、新型热作模具钢和塑料模具专用钢及模具材料的选用;在热处理部分介绍了热处理基本原理、基本工艺、化学热处理及模具表面强化技术,并介绍了模具钢和典型模具零件的热处理工艺,以及模具零件热处理失效分析。

本书侧重于实用性,适于从事模具制造企业和热处理生产一线的技术人员和工人阅读使用,对于科研、设计和教学单位的工程技术人员和师生也有重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

模具材料及热处理手册/赵昌盛编著. —北京:机械工业出版社, 2008.5

ISBN 978-7-111-23527-9

I. 模… II. 赵… III. ①模具—材料—技术手册②模具—热处理—技术手册 IV. TG162.4-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第022134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:白刚 版式设计:冉晓华

责任校对:李秋荣 封面设计:姚毅 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷(北京蓝海印刷有限公司装订)

2008年4月第1版第1次印刷

169mm×239mm·20印张·3插页·778千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-23527-9

定价:68.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 68351729

封面无防伪标均为盗版

前 言

在国家推动经济体制改革、市场经济和国际接轨的形势下，我国模具制造企业和热处理企业像雨后春笋般地涌现。模具制造、热处理技术和使用水平的高低是衡量一个国家工业水平的标志，它在基础工业中占有重要地位。

在模具设计和制造中，能否合理地选用模具材料是模具制造的关键问题。模具材料是模具制造业的物质基础和技术基础，其品种、规格、质量对模具的性能、使用寿命起着决定性的作用。因此模具制造企业和科技人员愈来愈重视各种模具材料的性能、质量及其选择和应用。

正确和先进的热处理技术，可以充分发挥模具材料的潜力，可以延长模具的使用寿命，保证模具和机械设备的高精度。随着科学技术的飞速发展，热处理技术也有了飞速发展，如真空热处理、离子热处理、激光热处理、电子束热处理、气相沉积强化、强韧化热处理、流态化热处理、可控气氛热处理、预硬化热处理、各种复合热处理等，大大提高了模具的质量和模具的使用寿命。

近几年来，国内出版了一些模具材料及热处理方面的书籍，由于编写的角度和侧重点不同，其内容和读者适用面也有所不同。本书的特点是：根据模具制造业和热处理行业的需要，把模具材料和热处理技术两方面结合起来，较全面地介绍国内传统的和新研制的模具钢的性能及其热处理工艺，供在生产一线从事模具设计者和热处理工作者参考。

本书重点介绍模具材料的性能、模具材料的选择、模具钢的热处理、模具的热处理及模具热处理基础及先进模具热处理技术，并适当介绍模具失效分析。此外对附录内中国模具钢牌号全部增加新的统一数字代号，对黑色金属硬度及强度换算值也采用最新标准。

参加本书编写工作的有安徽宿州职业技术学院的孙桂良和刘艳明、安徽省科苑集团的冯立文、安徽煤田地质局的闵令平、温州热处理厂的居建春、温州职业技术学院的晁拥军，以及许光汉、黄贞英、任萌玉、赵伟、马健博、吴杰等同志。另外凌浩初、赵铮、赵汉昌、徐厚训、顾明初、陈尔客、刘志强、刘美杭、吕国梁、陈新花、张玲先、林志健、施家山等同志对于本书的编写给予了热情帮助。本书承蒙浙江大学校友、乐清强力机械配件有限公司总工程师孔康祥高级工程师审阅。对他们的帮助，在此表示衷心的感谢。

由于作者长期在生产一线工作，限于水平和掌握的技术资料，书中难免有不足和错漏之处，敬请广大读者批评指正。

作 者

目 录

前言

第一章 绪论 1

第一节 模具制造概况 1

一、概述 1

二、我国模具制造的现状 2

三、我国模具制造技术的发展 5

四、模具制造展望 7

第二节 国外模具材料发展概况 7

一、模具材料产量的发展 7

二、模具钢种的发展 8

三、模具材料品种、规格的发展 12

四、国外模具材料的发展展望 12

五、我国市场上销售的进口模具 钢简介 12

第三节 我国模具材料发展概况 24

一、冷作模具钢的发展状况 25

二、热作模具钢发展状况 27

三、塑料模具钢的发展状况 29

四、我国模具钢发展展望 31

五、我国研制或市场销售的新型模 具钢简介 31

第四节 我国模具热处理及表面强化 技术的应用及发展 40

一、模具钢的强韧化热处理技术 41

二、真空热处理技术 43

三、深冷热处理技术 43

四、模具钢的表面强化技术 43

五、模具钢的预硬化技术 46

第二章 模具材料的选择 47

第一节 模具及模具材料的分类 47

一、模具的分类 47

二、模具材料的分类 48

第二节 模具材料的性能要求 64

一、模具材料的基本性能要求 64

二、各类钢种的性能要求 71

第三节 模具材料的选择 77

一、模具选材的原则及考虑因素 77

二、冷作模具材料的选择 79

三、热作模具材料的选择 92

四、塑料模具材料的选择 100

第三章 模具零件热处理及表面 强化技术 105

第一节 模具热处理基础 105

一、钢在加热时的转变 105

二、钢在冷却时的转变 111

三、钢在回火时的转变 115

第二节 模具钢的热处理基本 工艺 116

一、模具钢的退火 116

二、模具钢的正火 120

三、模具钢的淬火 121

四、模具钢的回火 136

五、火焰淬火 138

六、模具钢的冷处理 140

第三节 模具真空热处理 141

第四节 模具表面化学热处理 146

一、模具零件的渗碳和碳氮共 渗 147

二、模具零件的氮化 151

三、模具渗钒 155

四、模具铬钒共渗热处理 157

五、盐浴渗铌 158

六、模具渗硼 158

七、模具硼氮复合渗 161

八、模具渗铬 163

第五节 模具表面强化技术 165

一、涂、镀、焊表面强化技术	165	理	371
二、模具表面气相沉积强化	167	二、高强韧性热作模具钢的热	
三、高能束表面强化技术	175	处理	374
四、其他表面强化技术	178	三、高热强热作模具钢的热处	
第四章 冷作模具用钢及热处		理	377
理	184	第三节 热作模具的热处理	381
第一节 冷作模具用钢的性能		一、热锻模具的热处理	381
和应用	184	二、热挤压模具的热处理	385
一、碳素工具钢	184	三、热冲裁模具的热处理	387
二、高碳低合金钢	198	四、压铸模具的热处理	389
三、高耐磨冷作模具钢	232	第六章 塑料模具用钢及其热	
四、冷作模具用高速钢	260	处理	398
五、基体钢	271	第一节 塑料模具钢的性能与应	
第二节 冷作模具钢热处理	285	用	398
一、碳素工具钢的热处理	286	一、碳素塑料模具钢	399
二、低合金冷作模具钢的热处		二、渗碳型塑料模具钢	404
理	289	三、预硬型塑料模具钢	421
三、高合金冷作模具钢的热处		四、易切削预硬型塑料模具钢	434
理	295	五、时效硬化型塑料模具钢	441
四、冷作模具用高速工具钢的热		六、耐蚀性塑料模具钢	457
处理	300	七、无磁模具钢	472
五、基体钢的热处理	302	八、耐磨性塑料模具钢	478
六、钢结硬质合金的热处理	306	九、非调质预硬型塑料模具钢的性	
第三节 冷作模具热处理	311	能与应用	479
一、冷作模具基本热处理工艺	311	第二节 塑料模具钢的热处理	486
二、主要冷作模具的热处理特		一、碳素塑料模具钢的热处理	487
点	312	二、渗碳型塑料模具钢的热处	
三、主要冷作模具的热处理	314	理	488
第五章 热作模具用钢及热处		三、预硬型塑料模具钢的热处	
理	320	理	492
第一节 热作模具用钢的性能及其		四、易切削预硬型塑料模具钢的	
应用	320	热处理	494
一、低耐热高韧性热作模具钢	320	五、时效硬化型塑料模具钢的热	
二、中耐热韧性钢	334	处理	495
三、高耐热性钢	355	六、耐蚀性塑料模具钢的热处	
四、特殊用途热作模具钢	366	理	498
第二节 热作模具钢的热处理	371	七、高耐磨性塑料模具钢的热	
一、高韧性热作模具钢的热处		处理	500

八、无磁模具钢的热处理	500	一、硬质合金及其应用	531
第三节 塑料模具的热处理	501	二、钢结硬质合金及其热处理	536
一、渗碳钢塑料模具的热处理	502	第五节 其他材料模具的热 处理	544
二、碳素钢塑料模具的热处理	503	第八章 模具零件失效分析及 实例	547
三、耐磨性模具钢塑料模具的 热处理	504	第一节 模具零件的失效形式	547
四、预硬型塑料模具钢模具的 热处理	505	一、冷作模具的失效形式	548
五、易切削塑料模具钢模具的 热处理	506	二、热作模具的失效形式	549
六、时效硬化型塑料模具钢模 具的热处理	507	第二节 模具失效分析	550
七、耐蚀型塑料模具钢模具的 热处理	508	第三节 模具失效分析实例	552
八、无磁模具钢塑料模具的热 处理	509	一、热作模具钢 H13 失效分析 ...	552
第七章 其他模具材料介绍及热 处理	510	二、Cr12MoV 钢冷作模具淬火畸 变及预防	553
第一节 铸铁模具材料及热处理	510	三、模具渗氮处理存在的问题及 对策	556
一、灰铸铁材料的性能、应用及 热处理	510	四、高碳钢冷作模具磨削裂纹分析 及预防	559
二、球墨铸铁材料的性能、应用 及热处理	511	五、模具电火花线切割加工开裂失 效分析	562
三、蠕墨铸铁材料的介绍	513	六、T10A 钢冷冲压模具断裂的原 因及预防	564
四、合金铸铁材料及热处理	514	七、Cr12、Cr12MoV 模具钢材料缺 陷及热处理断裂分析	567
第二节 铸钢及热处理	518	八、4Cr5MoSiV1 钢压铸模断裂分 析及预防	569
一、一般铸钢材料及热处理	518	九、冷挤压成形塑料模具渗碳热处 理缺陷及对策	572
二、几种新型铸造用钢及热处 理	520	十、精密复杂模具热处理变形及 预防	577
第三节 非铁金属及合金模具材料及 热处理	524	十一、模具热处理缺陷及预防	580
一、低熔点合金模具材料	525	附录	586
二、锌基合金模具材料及热处 理	526	附录 A 中国模具钢	586
三、其他非铁金属合金模具材料及 热处理	528	一、碳素工具钢	586
第四节 硬质合金和钢结硬质合 金	530	二、合金工具钢和塑料模具用 钢	588
		三、高速工具钢	599
		四、硬质合金	601

附录 B 国内进口模具钢材的钢号、特性及应用	604	附录 D 碳钢及合金钢硬度与强度换算值	623
附录 C 部分模具用钢的淬透性曲线	616	参考文献	630

第一章 绪 论

第一节 模具制造概况

一、概述

在现代机械制造业中,模具工业已成为国民经济中一个非常重要的行业,它已成为衡量一个国家产品制造水平高低的一个重要标志。模具技术集合了机械、电子、化学、光学、材料、计算机、精密监测和信息网络等诸多学科,是一个综合性多学科的系统工程。许多新产品的开发和生产在很大程度上依赖于模具制造技术,模具在很大程度上决定着产品的质量、效益和新产品的开发能力,随着我国加入 WTO,我国模具工业的发展将面临新的机遇和挑战。

模具在现代工业中的重要作用主要决定在以下几个方面:

1) 模具是压力加工和其他成形加工工艺中,使材料(金属和非金属)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、挤压件和拉拔件等,都是使金属材料在模具里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。

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一个国家制造业水平的重要标志之一,世界上许多国家,特别是一些发达国家都十分重视模具技术的开发,大力发展模具工业,积极采用先进技术和设备,提高模具制造水平,取得较大的经济效益。目前,全世界模具年产值约为 650 亿美元。美、日等工业发达国家模具工业产值已超过机床工业,其中美国模具行业

有 12000 多个企业,从业人员 17 万多人,早在 20 世纪 80 年代,模具行业总产值已达 65 亿美元;日本模具工业是从 1957 年发展起来的,当年模具总产值仅有 106 亿日元,到 1998 年总产值已超过 4.88 万亿日元,在短短的 40 余年,增加了 460 多倍,这也是日本经济能飞速发展,并在国际市场上占有一定优势的重要原因之一。

近几年,我国模具工业以每年 15% 左右的增长速度发展,模具制造企业已超过 20000 多家,2003 年我国模具总产值超过 450 亿元人民币。

二、我国模具制造现状

模具工业的发展、模具制造水平的高低反映一个国家工业发展的水平,我国政府非常支持模具工业的发展,早在 1989 年国务院就颁布了《当前产业政策要点的决定》,把模具工业列为“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虽然超过 20000 家,但大多数属于分散生产的小型企业,从规模和能力上,大致分为三种类型:

1) 较大型的专业模具厂,如上海星火模具厂、北京模具厂、广东东莞、深圳、浙江黄岩模具厂等,他们都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) 大型企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,是模具行业最强有力的生产力量。

3) 近 20 年来迅速发展起来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为模具一条街、模具乡。这类厂一般设备简单、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。

模具作为一种高新技术密集型产品,模具工业大量采用先进的技术和装备,因此模具工业发展的关键是模具技术的进步,模具技术又涉及到多学科交叉。因此研究和发展模具技术,提高模具技术水平,对于促进国民经济的发展有着特别的意义。下面简要介绍我国模具制造技术的现状。

1. 模具 CAD/CAE/CAM 技术的现状

现代化的模具制造加工业,应以使用模具 CAD/CAE/CAM 技术来实现优质、高效、低成本的产品生产为目标,以适应用户对产品个性化的追求。模具 CAD/

CAE/CAM 技术是改造传统模具生产方式的关键技术, 它使技术人员能借助于计算机对产品、模具结构、成形工艺、数控加工等进行设计和优化。在我国有许多模具企业都开始使用 CAD/CAE/CAM 技术, 以生产家用电器的企业为代表, 陆续引进了相当数量的 CAD/CAM 系统, 实现了 CAD/CAM 的集成, 并采用 CAE 技术对成型(形)过程进行计算机模拟等, 数控加工的使用率也越来越高, 取得了一定的经济效益, 促进和推动了我国 CAD/CAE/CAM 技术的发展。但是, 在我国, 许多模具企业大都只是在设计、制造方面分散使用 CAD、CAE、CAM 单项技术来实现生产, 这种“自动化孤岛”的方法使整个生产过程资源共享率低、信息不流畅, 导致研制产品周期长、更新换代慢, 难以在国际竞争中生存和发展。国外推广 CAD/CAE/CAM 技术成功的经验表明: 企业取得显著效益, 很多是从集成应用中得到的, 而不是单项应用的结果。从 CAD/CAE/CAM 一体化的角度来说, 其发展趋势是集成化、三维化、智能化和网络化, 其中心思想是让用户在统一的环境中实现 CAD/CAE/CAM 协同作业, 以便充分发挥各单元的优势和功效。

近年来, 我国自己开发的有上海交通大学的冲裁模 CAD/CAM 系统; 北京北航海尔软件有限公司的 CAXA 系列软件; 吉林金网络模具工程研究中心的冲压 CAD/CAE/CAM 系统等, 为进一步普及模具 CAD/CAM 技术创造了良好条件。目前我国计算机辅助技术的软件开发尚处于较低水平, 需要知识和经验的积累。

2. 冲模制造技术

冲压模具占模具总量的 40% 以上。汽车覆盖件模具主要为汽车配套, 也包括为农用车、工程机械和农机配套的覆盖件模具, 它在冲压模具中很具代表性; 模具大都是大中型, 结构复杂, 技术要求高。尤其是为轿车配套的覆盖件模具, 质量和精度要求更高, 设计和制造难度大, 它可以代表冲压模具的水平。我国已能生产部分轿车覆盖件模具, 在设计制造方法、手段上已基本达到了国际水平, 模具结构功能方面也接近国际水平, 在轿车模具国产化进程中前进了一大步。但在制造质量、精度、制造周期和成本方面, 与国外相比还存在一定的差距, 而且满足率只有一半左右。中高档轿车覆盖件模具主要依靠进口, 每年花费几亿美元。汽车覆盖件模具水平不高, 能力不足, 生产周期长已成了汽车发展的瓶颈, 极影响车型开发。

标志着冲模技术先进水平的多工位级进模和多功能模具, 是我国重点发展的精密模具品种, 其精度要求和寿命要求极高, 主要为电子信息产业、汽车、仪器仪表、电机电器等配套。这两种模具, 国内已有相当基础, 并引进了国外技术设备, 个别企业生产的产品已达到世界水平。但总的来说, 在制造精度、使用寿命、模具结构和功能上, 与国外多工位级进模和多功能模具相比, 仍存在一定差距, 总量也供不应求, 进口较多。

3. 塑料模制造技术

近年来,我国塑料有很大进步,塑料模具占模具总量近40%,而且这个比例仍不断上升。在大型塑料模具方面,已能生产34in大屏幕彩电塑壳模具,6kg大容量洗衣机全套塑料模具及汽车保险杠和整体仪表板等塑料模具。在精密塑料模具方面,已能生产多型腔小模数齿轮模具和600腔塑封模具还能生产仅为0.08mm的一模二腔的航空杯模具和难度较高的塑料门窗挤出模等。内热式或外热式热流道装置得以采用,少数单位采用了具有世界先进水平的高难度针阀式热流道模具,完全消除了制件的浇口痕迹。气体辅助注射技术已成功得到应用。在精度方面,塑料模腔制造精度可达0.02~0.05mm(国外可达0.005~0.01mm),分型面接触间隙为0.02mm,模板的弹性变形为0.05mm,型面的表面粗糙度值为 $R_a0.2\sim0.25\mu\text{m}$,塑料模寿命已达100万次(国外可达300万次),模具制造周期仍比国外长2~4倍。塑料模具中为汽车和家电配套的大型注塑模具,为集成电路配套的精密塑料模具,为电子信息产业和机电及包装配套的多层、多腔、多材质、多色精密注塑模,为新型建材及节水农业配套的塑料异型材挤出模及管路和喷头模具等,目前虽然已有相当技术基础并正在快速发展,但技术水平与国外相比尚有较大差距,总量也供不应求。

4. 压铸模制造技术

金属压铸是机械化程度和生产效率很高的生产方法,是先进的少无切削工艺。近年来,压铸成形已广泛应用于汽车、拖拉机、仪器仪表、航空航天、电机制造、日用五金等行业。汽车和摩托车工业的快速发展,推动了压铸模技术的发展。汽车发动机缸罩、盖板、变速器壳体和摩托车发动机缸体、齿轮箱壳体、制动器、轮毂等铝合金铸件模具以及自动扶梯级压铸模等,我国均已能生产。技术水平有所提高,使汽车、摩托车上配套的铝合金压铸模大部分实现国产化。在模具设计时,注意解决热平衡问题,合理确定浇注系统和冷却系统,并根据制造要求采用了液压抽芯和二次增压等结构,总体水平有了较大提高。压铸模制造精度可达0.02~0.05mm(国外0.01~0.03mm),型腔表面粗糙度值为 $R_a0.4\sim0.2\mu\text{m}$ (国外为 $R_a0.02\sim0.01\mu\text{m}$)。模具制造周期:中小型模具为3~4个月,中等复杂模具为4~8个月,大型模具为8~12个月,约为国外的2倍。模具寿命:铝合金铸件模具一般4~8万次,个别可超过10万次,国外可达8~15万次。

占模具总量近8%的压铸模具中,大型薄壁精密压铸模技术含量高、难度大。镁合金压铸模和真空压铸成形模虽然刚刚起步,但其发展前景较好,且有代表性。与快速成形技术相结合的一些快速制模技术及相应的快速经济模具具有理想的发展前景。

5. 模具标准件制造技术

模具标准件对缩短模具制造周期、提高质量、降低成本,能起很大作用。因此模具标准件越来越广泛地得到采用。目前,国内已有较大产量的模具标准件,主要是模架、导向件、推杆推管、弹性元件等,但质量较差、品种规格较少。这些产品不但国内配套大量需要,出口前景也很好,应继续大力发展。氮气缸和热流道元件已在推广应用,但国内至今仍缺乏像样的专业化厂生产,主要依靠进口。

三、我国模具制造技术的发展

高新技术蓬勃发展的今天,为保证属高新技术产业的模具工业快速发展,模具行业中许多共性技术也必须更上一层楼,应不断开发和推广应用,并积极应用高新技术。它们主要是:

1. 模具 CAD/CAE/CAM 正向集成化、三维化、智能化和网络化方向发展

(1) 模具软件功能集成化 模具软件功能的集成化要求软件的功能模块比较齐全,同时各功能模块采用同一数据模型,以实现信息的综合管理与共享,从而支持模具设计、制造、装配、检验、测试及生产管理的全过程达到实现最佳效益的目的。

(2) 模具设计、分析及制造的三维化 传统的二维模具结构设计已越来越不适应现代化生产和集成化技术。模具设计、分析、制造的三维化、无纸化要求新一代模具软件以立体的、直观的感觉来设计模具,所采用的三维数字化模型能方便地用于产品结构的 CAE 分析、模具可制造性评价和数控加工、成形过程模拟及信息的管理与共享。

(3) 模具软件的智能化趋势 新一代模具软件要求模具 CAD 不再是对传统设计与计算方法的模仿,而是在先进设计理论指导下,充分运用模具专家的丰富知识和成功经验,来克服具体设计人员、工艺人员的经验局限,通过人工智能 CAI 等方法实现设计的合理性和先进性,逐步达到从设计、分析评估到制造过程的全自动化。面向制造、基于知识的智能化功能是衡量模具软件先进性和实用性的重要标志之一。

(4) 模具软件应用的网络化趋势 随着模具在企业竞争、合作、生产和管理等方面的全球化、国际化,以及计算机软硬件技术的迅速发展,模具软件应用的网络化的发展趋势是 CAD/CAE/CAM 技术跨地区、跨行业、跨院所在整个行业中推广,实现技术资源的重新整合,使虚拟设计、敏捷制造技术成为可能。

2. 模具检测、加工设备向精密、高效和多功能方向发展

(1) 模具向着精密、复杂、大型的方向发展,对检测设备的要求越来越高 目前国内厂家使用较多的有意大利、美国、日本等国的高精度三坐标测量机,并具有数字扫描功能。实现了从测量实物→建立数学模型→输出工程图样→模

具制造全过程,成功实现了逆向工程技术的开发和应用。

(2) 电火花加工技术的发展 电火花加工是在一定的液体介质中,利用脉冲放电对导电材料的电蚀现象来清除材料,从而使零件的尺寸、形状和表面质量达到预定技术要求的一种加工方法。在特种加工中,电火花加工应用最为广泛。国外电火花加工技术的性能、工艺指标、智能化、自动化程度都已达到相当高的水平,并正向电火花创成加工技术和绿色产品技术发展。

(3) 高速铣削加工技术 铣削加工是型腔模具加工的重要手段。而高速铣削具有工件温升低、切削力小、加工平稳、加工质量好、加工效率高(为普通铣削加工的5~10倍)及可加工硬材料(最高硬度可达60HRC)等诸多优点,因而在模具加工中日益受到重视。

(4) 模具自动加工系统的研制和发展 随着各种新技术的迅速发展,国外已出现了模具自动加工系统。模具自动加工系统应有如下的特征:多台机床合理组合;配有随行定位夹具或定位盘;有完整的机具、刀具数控库;有完整的数控柔性同步系统;有质量监测控制系统。这种自动加工系统也是我国长远发展的目标。

3. 快速经济制模技术的应用

缩短产品开发周期是赢得市场竞争的有效方法之一。与传统模具加工技术相比,快速经济制模技术具有制模周期短、成本较低的特点,精度和寿命又能满足生产需要,是综合经济效益较好的模具制造技术。

快速原形制造(RPM)技术是近20年来制造技术领域的一次重大突破。它是综合利用CAD技术、数控技术、材料科学、机械工程、电子技术及激光技术于一体的新技术,是当前最先进的零件及模具成形方法之一。RPM技术可直接或间接用于模具制造,具有技术先进、成本较低、设计制造周期短、精度适中等特点。

未来快速原形和快速经济制模新技术将会进一步开发、提高和应用。

4. 模具研磨抛光将向自动化、智能化方向发展

模具表面的质量对模具外观质量和模具使用寿命等方面有着较大的影响。模具表面的精加工是模具加工中的难题之一,我国目前仍以手工研磨抛光为主,工人劳动强度大、效率低且模具表面质量不稳定,制约了我国模具加工向高层次方向发展。因此,研磨抛光的自动化、智能化是模具表面加工的发展趋势。另外由于模具型腔形状复杂,应发展特种研磨和抛光,如挤压研磨、电化学抛光、超声波抛光以及复合抛光工艺和装备,以提高模具的表面质量。

5. 大力推广模具制造新工艺、新技术

大力发展和推广模具制造新工艺、新技术,如模具制造的节能、节材技术,模具热处理、表面光整加工和表面处理新技术等,高性能模具材料的研制、系

列化及其正确使用。模具标准件的应用也将日渐广泛。

在成形工艺方面,主要有冲压模具多功能复合化、超塑性成形、塑性精密成形技术、塑料模气体辅助注射技术、高压注射成形技术等。另一方面,随着先进制造技术的不断发展和模具行业整体水平的提高,在模具行出现了一些新的设计、生产、管理理念与模式。具体有:适应模具单件生产特点的柔性制造技术;创造最佳管理和效益的团队精神;提高快速应变能力的并行工程、虚拟制造及全球敏捷制造、网络制造等新的生产管理技术;广泛采用标准件、通用件的分工协作生产模式;适应可持续发展和环保要求的绿色设计和制造等。

四、模具制造展望

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、电火花加工、快速制模、特种加工等;发展高新技术,如 CAD/CAE/CAM、加工中心等;发展模具成套加工精密设备。

我国模具产业除了要继续提高生产能力,今后更要着重于行业内部结构的调整和技术发展水平的提高。

为了适应用户对模具制造的高精度、短交货期、低成本的迫切要求,模具工业应广泛应用现代先进制造技术来加速模具工业的技术进步,满足各行各业对模具这一基础工艺装备的迫切需要,以实现模具企业向着技术集成化、设备精良化、产品品牌化、管理信息化、经营国际化的方向发展,以实现我国模具工业的跨越式发展。

第二节 国外模具材料发展概况

随着我国改革开放的深入发展,外国模具钢已进入我国钢材市场并占有一定市场,特别是沿海地区,外国模具钢占有国内模具市场相当大的份额,因此了解国外模具材料发展状况及国内市场销售国外模具钢的情况,对模具制造者有一定的帮助。

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 年来增长很快,领先于其他钢类。据日本通产省调查统计的资料显示,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 年的 6.79 万 t 上升到 1997 年的 12.67 万 t,上升了将近一倍。

二、模具钢钢种的发展

模具钢根据用途可以分为冷作模具钢、热作模具钢和塑料模具钢三大类。各工业发达国家的国家标准中都列出了本国标准，并不断更新充实。随着模具工作条件的苛刻，各国还相继发展了不少适应新要求的新钢种。

目前各国使用量较大的集中在十几种通用型模具钢上。现将三类模具钢的发展情况概述如下。

1. 冷作模具钢

冷作模具钢是应用比较广泛的一类模具钢，主要用于制造剪切、冲压、冷挤压、冷镦、压印、辊压等用途的模具，一般要求具有高的硬度、强度和耐磨性，一定的韧性和热硬性，以及良好的工艺性能。国外通用型冷作模具钢是：低合金油淬模具钢 O1(9CrWMnV)、中合金空淬模具钢 A2(Cr5Mo1V)和高碳高铬模具钢 D3(Cr12)、D2(Cr12Mo1V1)等。

为了满足冷作模具的特殊要求，各国有针对性地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 Cr12 型模具钢，耐磨性很好，但是韧性差，抗回火软化能力不足。近 30 年来，国外相继发展了一些高韧性、高耐磨性模具钢，其碳铬含量低于 Cr12 型模具钢，增加了钼、钒合金的含量，钢中形成了大量 MeC 型高弥散度碳化物，其耐磨性优于 Cr12Mo1V1 钢，韧性和抗回火软化能力则高于 Cr12 型钢。比较有代表性的钢号有日本大同特殊钢公司的 DC53(Cr8Mo2VSi)、日本山阳特殊钢公司的 QCM8(8Cr8Mo2VSi)、美国钒合金钢公司的 Vasco Die(8Cr8Mo2VSi)，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上，并取得了良好的使用效果。

(2) 低合金空淬微变形模具钢 这类钢的特点是合金含量较低，一般小于 5%（质量分数），但是淬透性和淬硬性都较好， $\phi 100\text{mm}$ 的轴类都可以空冷淬透，淬火后变形小、工艺性好，价格低，主要用于制造精密复杂模具。新研制低合金空淬微变形模具钢有日本大同特殊钢公司的 G04、日本日立金属公司的 ACD37、美国的 A4(Mn2CrMo)、A6(7Mn2CrMo)等。

(3) 火焰淬火模具钢 20 世纪 70 年代，国外开始研发一些适应火焰淬火需要的冷作模具钢。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，因此要求火焰淬火模具钢具有淬火加热温度宽、淬透性好等特点。火焰局部加热淬火具有工艺简便，可以缩短模具制造周期、节约能源、降低制造费用等特点，已经广泛地应用于冲压、冷镦、下料、剪切等冷作模具。

火焰淬火模具钢研发很快，代表性的钢号有大同特殊钢公司的 G05，日本日立金属公司的 HMD1、HMD5，日本山阳特殊钢公司的 QF3 和日本爱知制钢公司的

SX105V(7CrSiMnMoV)等。

(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, 完全可以避免一般工艺生产的高碳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。因此, 粉末冶金模具钢具有磨削性能好、韧性好、等向性好、热处理工艺性能好等特性。

由于粉末冶金模具钢具有良好的特性, 近几十年来在国外发展较快, 而且发展了一系列的粉末冶金模具钢钢号, 如美国坭坭钢公司发表的 CPM9V、CPM10V、CPM440V 等, 德国发表的 320CrVMo13.5 等。由于这些钢中含有大量弥散度高的、高硬度的 MeC 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至几十倍。

2. 热作模具钢

热作模具要求钢在模具的较高工作温度下具有良好的强度、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、热挤压、压铸、热镦锻和高温超塑成形用模具。

国外通用的热作模具钢有三种类型: 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 (4Cr5MoSiV); 钨系、钼系热作模具钢, 如 H21 (3Cr2W8V)、H10 (4Cr3Mo3VSi) 等。

为了适应热作模具发展的需要, 国外相继开发了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 通用型的锻压模具钢如 5CrNiMo、5CrNiMoV 等, 由于淬透性的限制, 一般只适于制造厚度为 300 ~ 400mm 的模具, 而大型锻压设备有时模具重达几十吨, 随着模具截面的增大, 要求进一步提高模具材料的淬透性, 以使模具的心部能够得到较高的均匀的性能。国外发展了一系列提高合金含量的高淬透性模具钢。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, 工作条件日益苛刻, 传统的高热强性热作模具钢 H21 (3Cr2W8V) 钢已不能适应要求, 国外陆续研制开发了一些新型热作模具钢, 其代表性钢号有以下四种类型:

1) 中合金高热强性热作模具钢。一般是在 3Cr3Mo3SiV (H10) 和 4Cr5MoSiV1 (H13) 钢的基础上增加 W、Mo、Co、Nb 等合金元素, 提高其高温性能。如美国的 H10A (3Cr3Mo3Co3V) 钢、瑞典的 QR080 (3Cr3Mo2VMn) 钢, 该类