

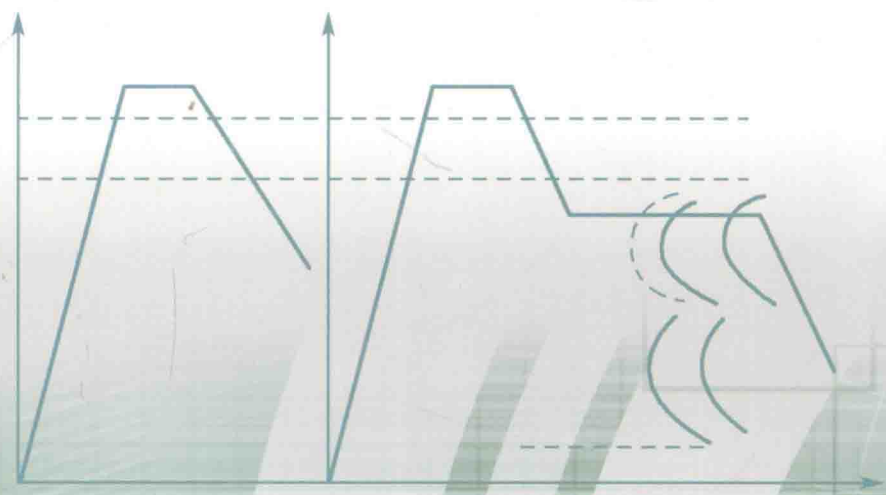


高职高专“十二五”规划教材

机械专业系列

模具材料与热处理

主编 庞子瑞



南京大学出版社



高职高专“十二五”规划教材

机械专业系列

模具材料与热处理

主 审	王敏杰	
主 编	庞子瑞	
副主编	范 龙	刘庚武
	吴国利	姬素云
参 编	薛 冰	杨彦涛
	李自鹏	侯 静

内 容 提 要

本书按照模具材料的分类,通过实例系统全面地介绍了模具材料及其热处理工艺。内容包括模具材料与热处理概述、冷作模具材料及热处理、塑料模具材料及热处理、热作模具材料及热处理、玻璃模具材料及热处理。为了适应高等职业教育培养高素质技能型人才的要求,本书在编写时对于每一种模具材料,重点突出对不同条件下热处理工艺参数选择标准及其应用实例的介绍,重点培养学生在工程设计中合理选用材料、正确应用热处理工艺的能力。

本书可作为高职、高专、成人高校模具设计与制造、机械设计与制造等专业的教材,也可作为工厂中主要从事模具设计与加工方面的技术人员培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

模具材料与热处理 / 庞子瑞主编. —南京:南京大学出版社,2011.8

高职高专“十二五”规划教材·机械专业系列

ISBN 978-7-305-08768-4

I. ①模… II. ①庞… III. ①模具钢—热处理—高等职业教育—教材 IV. ①TG162.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 170447 号

出版发行 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路 22 号 邮编 210093

网 址 <http://www.NjupCo.com>

出 版 人 左 健

丛 书 名 高职高专“十二五”规划教材·机械专业系列

书 名 模具材料与热处理

主 编 庞子瑞

责任编辑 林本兰 编辑热线 025-83597482

照 排 南京玄武湖印刷照排中心

印 刷 常州市武进第三印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 9.5 字数 237 千

版 次 2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-305-08768-4

定 价 22.00 元

发行热线 025-83594756

电子邮箱 Press@NjupCo.com

Sales@NjupCo.com(市场部)

* 版权所有,侵权必究

* 凡购买南大版图书,如有印装质量问题,请与所购
图书销售部门联系调换

前 言

本书是根据高职高专模具设计与制造专业课程标准以及理论知识要求和技能要求编写的。

随着现代工业技术的发展,为提高产品质量,降低生产成本,提高生产效率和零件材料的利用率,国内外的生产厂家都在采用各种先进的无切削或少切削加工工艺,如精密冲裁、精密锻造、压力铸造、冷挤压等成形技术来代替传统的切削加工工艺。模具材料性能的好坏和使用寿命的长短,直接影响加工产品的质量和生产效益。而模具材料的种类、热处理工艺、表面处理技术是影响模具使用寿命的极其重要的因素。因此世界各国均致力于开发新型模具材料、改进模具的热处理工艺、选用适当的表面处理技术、合理设计模具结构、加强对模具的维护等措施来提高模具的寿命。

按照模具材料的分类,通过实例系统全面地介绍了模具材料及热处理工艺。内容包括模具材料与热处理概述、冷作模具钢及热处理、塑料模具钢及热处理、热作模具材料及热处理、其他模具材料及热处理。为了适应高等职业教育培养高素质技能型人才的要求,本书在编写时对于每一种模具材料,重点突出对不同条件下热处理工艺参数选择标准及其应用实例的介绍,重点培养学生在工程设计中合理选用材料、正确应用热处理工艺的能力。由于学时有限,对有关热处理方法的原理和热处理设备等基本未作介绍或介绍很少。目的是使高职学生能在较短时间内,获得有关模具材料选用基本原则、热处理工序安排和热处理工艺参数选择等方面的知识和能力,成为面向 21 世纪模具热处理领域一线应用型人才和卓越的工程师打下基础。

本书可作为高职、高专、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院模具设计与制造、机械设计与制造和数控技术与应用等专业的教材,也可作为工厂中主要从事模具设计与加工方面的技术人员培训教材,还可供其他有关技术人员参考。

本书由黄河水利职业技术学院庞子瑞担任主编,黄河水利职业技术学院范龙、湖南铁道职业技术学院刘庚武、咸宁职业技术学院吴国利、郑州电子信息职业技术学院姬素云担任副主编,大连理工大学模具研究所王敏杰教授担任主审。参加教材编写的还有黄河水利职业技术学院薛冰、杨彦涛、李自鹏和侯静等各位老师。

全书编写分工如下:庞子瑞负责第一章和第二章的编写;吴国利负责第三章的编写;刘庚武负责和姬素云负责第四章的编写;范龙负责第五章的编写;由庞子瑞负责全书的统稿工作,对合作者辛勤劳动表示衷心的感谢。

在本书编写过程中,得到国内许多专家和同仁的支持与关注;中信重工机械股份有限公司和开封树杰模具有限公司始终如一给予指导和支持;李书杰高级工程师和于慎君工程师对本书提出了宝贵的修改意见。在此,一并向关心支持本书的专家以及书中引用相关文献的作者致以衷心的感谢。

鉴于编者水平和时间所限,缺点错误在所难免。恳请同行和读者给予批评指正。

编 者
2011 年 7 月

目 录

第 1 章 模具材料与热处理概述	1
1.1 模具及模具材料分类	1
1.1.1 模具的类型	1
1.1.2 模具材料分类	2
1.2 模具钢的热加工工艺	3
1.2.1 模具钢的锻造工艺	3
1.2.2 锻造工艺应用	5
1.2.3 锻造缺陷及预防	5
1.3 模具钢的性能与质量检验	6
1.3.1 模具钢的常规力学性能要求	6
1.3.2 模具钢的工艺性能	11
1.4 模具钢的热处理概述	12
1.4.1 模具钢的常规热处理	12
1.4.2 模具表面强化处理技术	17
1.5 模具的失效形式	20
1.5.1 模具失效的分类	20
1.5.2 模具的失效机理分析	20
1.5.3 模具失效分析的方法和步骤	23
1.6 模具钢进厂检验	24
1.6.1 宏观检验	24
1.6.2 显微组织检验	26
1.7 模具材料的应用及发展	27
1.7.1 国外模具材料的应用及发展	27
1.7.2 我国模具材料的应用及发展	27
复习思考题	29
第 2 章 冷作模具材料及热处理	30
2.1 冷作模具钢的性能要求及分类	30
2.1.1 冷作模具的性能要求	30
2.1.2 冷作模具钢的分类	33

2.2	冷作模具钢性能介绍	33
2.2.1	冷作模具碳素工具钢	33
2.2.2	高碳低合金冷作模具钢	36
2.2.3	抗磨损冷作模具钢	40
2.2.4	抗冲击冷作模具钢	46
2.2.5	冷作模具用高速钢	47
2.2.6	无磁模具用钢	48
2.3	冷作模具选用原则	51
2.3.1	冷冲裁模具材料选用	52
2.3.2	冷拉深模具材料选用	54
2.3.3	冷挤压模具材料选用	55
2.3.4	冷锻模具材料选用	56
2.4	冷作模具钢的锻造与热处理技术	57
2.4.1	冷作模具钢的锻造	57
2.4.2	冷作模具热处理技术	58
2.5	冷作模具热处理实例	61
2.5.1	不锈钢表壳冷挤压模的热处理	61
2.5.2	8Cr2MnWMoVS(8Cr2S)钢制印制电路板冲裁模的热处理	62
2.5.3	Cr12MoV 钢制耐火砖成型模的热处理	62
	复习思考题	63
第3章	塑料模具材料及热处理	64
3.1	塑料模具钢的性能要求及分类	64
3.1.1	塑料模具的工作条件要求	64
3.1.2	塑料模具的工艺性能要求	65
3.1.3	塑料模具常见的失效形式	65
3.1.3	对塑料模具钢的性能要求	66
3.1.4	塑料模具钢的分类	67
3.2	塑料模具钢性能介绍	67
3.2.1	渗碳型塑料模具钢	68
3.2.2	调质型塑料模具钢	73
3.2.3	淬硬型塑料模具用钢	74
3.2.4	预硬型塑料模具钢	79
3.2.5	耐蚀型塑料模具钢	82
3.2.6	时效硬化型塑料模具钢	87
3.3	塑料模具钢的选用	91

3.3.1 根据模具的制造和使用要求选用	91
3.3.2 根据塑料制品的生产批量选用	91
3.3.3 根据塑料制品的种类和质量要求选用	91
3.3.4 根据塑料制品的尺寸大小及精度要求选用模具材料	92
3.3.5 根据塑料制品形状的复杂程度选用模具材料	92
3.3.6 塑料模具中其他零件的材料选用	92
3.4 塑料模具热处理实例	92
3.4.1 塑料模具的制造工艺路线	93
3.4.2 塑料模具的热处理特点	93
3.4.3 塑料模的表面处理	95
3.5 塑料模具热处理实例	95
3.5.1 12CrNi3A 钢制对开胶木模的热处理	95
3.5.2 CrWMn 钢模套热浴淬火	96
3.5.3 5NiSCa 钢制精密密封橡胶模的热处理	97
3.5.4 PMS 钢制磁带内盒模及其热处理	97
复习思考题	97
第 4 章 热作模具材料及热处理	99
4.1 热作模具钢的性能要求及分类	99
4.1.1 热作模具的工作条件	99
4.1.2 热作模具的失效形式	100
4.1.3 热作模具的性能要求	101
4.1.4 热作模具材料的工艺性能要求	102
4.1.5 热作模具钢的分类	102
4.2 热作模具钢性能介绍	103
4.2.1 低耐热高韧性热作模具钢	103
4.2.2 中耐热韧性热作模具钢及热处理	108
4.2.3 高耐热热作模具钢及热处理	112
4.2.4 特殊用途的热作模具钢及热处理	119
4.3 热作模具材料的选用	120
4.4 热作模具热处理实例	128
4.4.1 4CrMnSiMoV 钢制连杆热锻模的热处理	128
4.4.2 4Cr5MoSiV1(H13)钢制剪刀热挤压模的热处理	129
4.4.3 3Cr2W8V(H21)钢制铝型材热挤压模的热处理	129
4.4.4 3Cr3Mo3W2V(HM1)钢制连杆辊锻成形模的热处理	130
4.4.5 3Cr3Mo3VNb(HM3)钢制铝合金压铸模的热处理	130

4.4.6 4Cr3Mo2NiVNb(HD2)钢制钢管穿孔针模的热处理	132
复习思考题	132
第5章 玻璃模具材料及热处理	133
5.1 玻璃材料与玻璃制品概述	133
5.1.1 玻璃材料的化学组成和性质	133
5.1.2 玻璃制品的类型和制造	133
5.2 玻璃模具的服役条件和失效形式	134
5.2.1 玻璃模具的服役条件	134
5.2.2 玻璃模具的失效形式	135
5.3 玻璃模具材料的性能要求和类型	135
5.3.1 玻璃模具材料的性能要求	135
5.3.2 玻璃模具材料的类型	136
5.4 玻璃模具材料的热处理	137
5.4.1 铸铁材料的热处理	137
5.4.2 耐热不锈钢的热处理	138
5.4.3 激光合金化热处理	139
5.4.4 热喷焊表面强化热处理	139
5.5 玻璃模具材料及热处理工艺的选用实例	140
5.5.1 玻璃瓶模具材料及其热处理	140
5.5.2 稀土蠕墨铸铁制医用盐水瓶模具的热处理	141
5.5.3 1Cr13 钢制玻璃砖模的热处理	141
5.5.4 4Cr13Ni 钢制显像管玻壳模具的热处理	142
复习思考题	143
参考文献	144

第 1 章 模具材料与热处理概述

1.1 模具及模具材料分类

随着现代工业技术的发展,为提高产品质量,降低生产成本,提高生产效率和零件材料的利用率,国外的生产厂家都在采用各种先进的无切削或少切削加工工艺,如精密冲裁、精密锻造、压力铸造、冷挤压等成形技术来代替传统的切削加工工艺。已有不少工业发达国家,如美国、日本等国家的模具制造业的产值已经超过机床行业,在基础工业中占有重要地位。近年来,我国的少、无切削工艺也在飞速发展,一些高效率、高性能、多工位加工机床的不断涌现,对配套使用的模具在性能和寿命上,提出了愈来愈高的要求,模具的寿命问题已逐渐上升为主要问题。模具材料性能的好坏和使用寿命的长短,直接影响加工产品的质量和生产的效益。

模具材料的种类、热处理工艺、表面处理技术是影响模具使用寿命的极其重要的因素。因此世界各国均致力于开发新型模具材料、改进模具的热处理工艺、选用适当的表面处理技术、合理设计模具结构、加强对模具的维护等措施来提高模具的寿命。

1.1.1 模具的类型

为了便于模具材料的选用,通常根据工作条件将模具分为冷作模具、热作模具、型腔模具 3 大类。

(1) 冷作模具根据工艺特点,可分为冷冲裁模具和冷变形模具 2 类。

冷冲裁模具主要包括各种薄板冷冲裁模具和厚板冷冲裁模具。冷变形模具主要包括各种冷挤压模具、冷镦模具、冷拉深模具和冷弯曲模具等。

(2) 热作模具根据工艺特点,可分为热冲切模具、热变形模具和压铸模具 3 类。

热冲切模具包括各种热切边模具和热切料模具。热变形模具包括各种锤锻模具、压力机锤锻模具和热挤压模具。压铸模具包括各种铝合金压铸模具、铜合金压铸模具及黑色金属压铸模具等。

(3) 型腔模具根据成型材料的不同,可分为塑料模具、橡胶模具、陶瓷模具、玻璃模具、粉末冶金模具等。

由于冷作模具、热作模具、塑料模具和玻璃模具使用广泛,在生产中的比例占 80%以上,因此本书将主要介绍冷作模具、热作模具、塑料模具和玻璃模具的选材和热处理。

1.1.2 模具材料分类

模具材料按模具类别的不同可分为冷作模具材料、热作模具材料、塑料模具材料和其他模具材料等,如图 1-1 所示;按材料的类别,可分为钢铁材料、非铁金属材料、非金属材料。由于在模具制造中主要采用的是模具钢,因此本书仅介绍模具钢的知识。

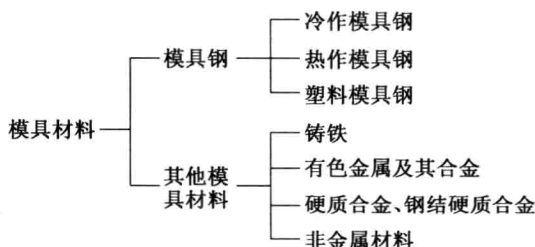


图 1-1 模具材料分类

模具钢成分、性能及用途各不相同。按合金元素含量的不同,一般把模具钢分为碳素工具钢、低合金模具钢、中合金模具钢和高合金模具钢;按用途不同分为冷作模具钢、热作模具钢和塑料模具钢等;其他还有按性能分类的。但通常先按用途分为 3 大类,再按钢的合金元素与特点分小类,如图 1-2 所示。



图 1-2 模具钢分类

1.2 模具钢的热加工工艺

1.2.1 模具钢的锻造工艺

锻造是对金属坯料(不含板材)施加外力,使其产生塑性变形、改变尺寸和形状及改善性能,用以制造机械零件、工件、工具或毛坯的成型加工方法。

当温度超过 400 °C(钢的蓝脆区),达到 700~800 °C时,变形阻力将急剧减小,变形能力也将得到很大改善。根据在不同的温度区域进行锻造时,对锻件质量和锻造工艺要求的不同,锻造工艺可分为冷锻、温锻和热锻三个温度区域。这种温度区域的划分并无严格的界限,一般地讲,在有再结晶的温度区域的锻造叫热锻,在室温下不加热的锻造叫冷锻。

在低温锻造时,锻件的尺寸变化很小。在 700 °C以下锻造,氧化皮形成少,而且表面无脱碳现象。因此,只要变形能在成形能范围内,冷锻容易得到很好的尺寸精度和表面光洁度。只要控制好温度,润滑冷却,700 °C以下的温锻也可以获得很好的精度。热锻时,由于变形能和变形阻力都很小,可以锻造形状复杂的大锻件。要得到高尺寸精度的锻件,可在 900~1 000 °C温度区域内用热锻加工。另外,要注意改善热锻的工作环境。热锻锻模寿命(热锻 2~5 千个)与其他温度区域的锻造(温锻 1~2 万个,冷锻 2~5 万个)相比是较短的,但它的自由度大,成本低。

坯料在冷锻时要产生变形和加工硬化,使锻模承受高的荷载,因此,需要使用高强度的锻模和采用防止磨损和粘结的硬质润滑膜处理方法。另外,为防止坯料裂纹,需要时进行中间退火以保证需要的变形能力。为保持良好的润滑状态,可对坯料进行磷化处理。目前,在用棒料和盘条进行连续加工时,对断面还不能作润滑处理,使用磷化润滑方法的可能性正在研究中。

根据坯料的移动方式,锻造可分为自由锻、镦粗、挤压、模锻、闭式模锻和闭式墩锻。闭式模锻和闭式墩锻由于没有飞边,材料的利用率较高,锻件的受力面积就减少,所需要的荷载也减少。用一道工序或几道工序就可能完成复杂锻件的精加工。但是,应注意不能使坯料完全受到限制,为此要严格控制坯料的体积,控制锻模的相对位置和对锻件进行测量,努力减少锻模的磨损。

根据锻模的运动方式,锻造又可分为摆辗、摆旋锻、辊锻、楔横轧、辗环和斜轧等方式。摆辗、摆旋锻和辗环也可用精锻加工。为了提高材料的利用率,辊锻和横轧可用作细长材料的前道工序加工。旋转锻造与自由锻一样也是局部成形的,与锻件尺寸相比,其锻造力较小情况下也可实现成形。包括自由锻在内的这种锻造方式,加工时材料从模具面附近向自由表面扩展,因此,很难保证精度,所以,将锻模的运动方向和旋锻工序用计算机控制,就可用较低的锻造力获得形状复杂、精度高的产品。例如生产品种多、尺寸大的汽轮机叶片等锻件。

1.2.1.1 钢锭锻轧

经不同方法冶炼的模具钢浇注成所需钢锭,通过锻造或轧制生产出所需要的毛坯。钢锭锻轧的目的是:

- (1) 将钢锭加工成使用单位所要求的模具毛坯形状、尺寸或锻轧成各种规格的圆钢。
- (2) 破坏钢锭的铸态组织,焊合内部疏松、裂纹、气孔及其他缺陷。
- (3) 提高钢锭的致密性。
- (4) 破碎共晶碳化物、改善非金属夹杂物及碳化物的形态及分布均匀性。
- (5) 提高钢的等向性能。

1.2.1.2 锻轧工艺

表1-1为常用合金模具钢的锻造工艺。锻造工艺的关键是锻造温度范围的选择,包括加热温度、始锻温度和终锻温度。提高始锻温度,有利于钢锭内部孔隙缺陷的焊合,成分均匀性好;但会使晶粒变粗,影响钢的力学性能。终锻温度低会导致锻件心部形成十字裂纹,但终锻温度高也会使晶粒继续长大而形成粗晶。

表 1-1 部分合金模具钢的热加工参数

钢 种	加热温度/℃		始锻温度/℃		终锻温度/℃		冷 却	
	钢锭	钢坯	钢锭	钢坯	钢锭	钢坯	钢锭	钢坯
9CrSi	1 150~1 210	1 100~1 150	1 100~1 150	1 050~1 100	880~800	850~800	缓冷	缓冷
9Cr2	1 170~1 200	1 120~1 180	1 130~1 150	1 100~1 130	≥850	≥850	} 缓冷	} 缓冷
5CrW2Si	1 180~1 200	1 150~1 180	1 150~1 170	1 120~1 150	≥850	≥800		
Cr12	1 140~1 160	1 120~1 140	1 100~1 120	1 080~1 060	900~920	890~920		
Cr12MoV	1 100~1 180	1 050~1 160	1 050~1 120	1 000~1 050	900~850	900~850		
Cr6WV	1 100~1 160	1 060~1 120	1 050~1 120	1 000~1 080	900~850	900~850	} 空冷或缓冷	} 空冷或缓冷
9Mn2V	1 140~1 180	1 080~1 120	1 100~1 150	1 050~1 100	850~800	850~800		
MnCrWV	1 130~1 180	1 120~1 150	1 080~1 130	1 080~1 100	≥800	≥800		
CrWMn	1 150~1 200	1 100~1 150	1 100~1 150	1 050~1 100	880~800	850~800		
6W6Mo5Cr4V	1 100~1 180	1 100~1 140	1 100~1 150	1 050~1 100	≥900	≥850	} 缓冷	} 缓冷
Cr2Mn2SiWMoV	1 140~1 160	1 120~1 140	1 040~1 060	1 020~1 040	≥900	≥850		
5CrMnMo	1 140~1 180	1 100~1 150	1 100~1 150	1 050~1 100	880~800	850~800		
5CrNiMo	1 140~1 180	1 100~1 150	1 100~1 150	1 050~1 100	850~800	850~800		
4CrMnSiMoV	1 160~1 180	1 100~1 150	1 100~1 150	1 050~1 100	≥850	≥850		
3Cr2W8V	1 150~1 200	1 130~1 160	1 100~1 150	1 070~1 120	900~850	900~850		
4Cr5MoVSi	1 140~1 180	1 120~1 150	1 100~1 150	1 070~1 100	≥900	900~850		
4Cr5MoV1Si	1 140~1 180	1 120~1 150	1 100~1 150	1 070~1 100	900~850	900~850		
5Cr4Mo2W2VSi	1 150~1 180	1 130~1 160	1 100~1 140	1 080~1 100	≥900	≥850		
4Cr3Mo3W2V	1 170~1 200	1 150~1 180	1 100~1 150	1 050~1 100	≥900	≥850		
W18Cr4V	1 220~1 240	1 180~1 220	1 120~1 140	1 120~1 140	≥950	≥950		
W6Mo5Cr4V2	1 180~1 190	1 140~1 150	1 080~1 100	1 040~1 080	≥950	≥900		

此外,疏松、枝状晶和碳化物等缺陷的消除必须要保证一定的锻造比。锻造比的确定

与模具类型有关。在热作模具钢中,为改善等向性能,一般规定锻造比大于4;对高合金莱氏体冷作模具钢,要改善碳化物的大小及分布均匀,需要更大的锻造比;随着钢锭尺寸的增大,锻造比还应该加大。

1.2.2 锻造工艺应用

Cr12型冷模钢塑性很差,共晶碳化物的分布对使用性能影响极大。通常,为进一步降低共晶碳化物级别,冶金厂供给的模具坯料需经使用厂多次反复锻拔改锻后才能使用。如某模具配件厂用Cr12钢作冲模,毛坯尺寸90mm,不经锻造而由轧材直接加工成模具应用,共晶碳化物为5级以上,模具使用寿命只有几件到几十件,最高仅3000件,均以崩刃、纵向开裂或碎裂等形式脆性失效。后采用60mm较小尺寸坯料,经锻粗到90mm作冲模,共晶碳化物为3~4级,且碳化物分布均匀,模具使用寿命达8000件以上。

1.2.3 锻造缺陷及预防

模具钢锻造中产生的主要缺陷是裂纹和开裂,裂纹形式多种多样,形成裂纹的原因也是多方面的。一种原因是冶金缺陷造成的,如缩孔、偏析、折叠、气泡和夹杂等;另一种原因是锻造工艺不当造成的。模具钢,尤其是高碳、高合金模具钢,变形抗力大、塑性差、导热性低和锻造温度范围窄等都给锻造增加了难度。因此,对模具钢的锻造工艺必须严格掌握,锻后应缓冷并及时退火。锻造工艺不当而发生的问题及防止措施如下。

1.2.3.1 加热不当而引起的锻造开裂

(1) 加热温度过高或不均匀,造成锻件整体或局部过热过烧使晶粒粗化,晶界氧化或熔化,造成锻件碎裂或表面龟裂。

(2) 升温速度过快,锻件表面与内部温差过大,产生很大热应力,引起开裂。

(3) 加热温度偏低或保温时间太短,而使得内、外温差大,从而产生较大热应力,导致心部开裂或因变形抗力大,塑性下降导致锻件棱角或平面上出现横向开裂。

防止措施:严格执行锻造加热规范,防止过热、过烧。对高合金模具钢锻坯,装炉温度不能太高,最好冷炉装入或至少炉温 $\leq 700^{\circ}\text{C}$ 时装入,或先在炉门口烘烤,保温一段时间,逐步将坯料推入炉内加热区。锻件在煤、燃油、气的反射炉中加热采取正确的加热方法,必须使锻件与火口保持一定距离,不能让火焰直接喷射在锻件上,并经常翻动锻件,保持锻件温度均匀,防止局部过热。对已发现有过热或短时过烧的锻件,应马上从炉内拉出空冷,待温度稍低些再进行锻造。

1.2.3.2 锻打变形不当而引起的裂纹

若锤击力过猛,一次变形量过大,变形速度过快,由于锻件表层与心部变形量相差过大,使内部拉应力增加,则易在内部或前后端面产生十字裂纹。变形大且过猛,会造成心部温升产生过热而开裂。

锻打时应掌握轻、重、轻三段原则,即先、后轻打,中间可重打。拔长时应掌握每次压

下量在 10%~20%，不能过大及过小。锻粗时，应防止侧面形成过大的鼓形或歪斜。

1.2.3.3 终锻温度不当影响锻件质量

终锻温度，特别是最后一火的停锻温度高低将直接影响到模具锻坯的质量。终锻温度过高，在锻件冷却过程中晶粒会继续长大，因而降低钢的力学性能，如高速钢模具，若终锻温度高于 950℃，则容易造成粗晶组织，在淬火变形量较小时，易出现蔡状断口，产生裂纹。而对于中碳高合金热模钢，如 3Cr2W8V 等过高的停锻温度会使析出的碳化物呈链状、带状或网状分布，使力学性能显著下降。若停锻温度过低，在低温塑性差的情况下，锤击力过猛会当即锻裂，也由于过低的停锻温度，会产生较大的残余应力而导致开裂。

终锻温度一般应稍高于 A_{c3} 或 A_{c1} 的温度，以保证锻造在塑性和应力状态均较均匀的单相区进行。

1.2.3.4 锻后冷却不当对锻件质量的影响

某些冷作模具钢，如 Cr12 及 LD 钢等，由于合金含量高，淬透性好，自高温空冷即可发生马氏体转变，在内应力及变形残余应力的共同作用下，锻后若不缓冷常易发生纵向开裂。对这类模具钢锻后必须缓冷，如砂冷、灰冷、炉冷或锻后及时退火。

某些模具钢既有冷裂倾向，又易析出网状碳化物。如 CrWMn、3Cr2W8V、GR 钢等。若锻后缓冷，虽避免了开裂倾向，但却可能析出呈链状、网状或带状严重的碳化物，不仅影响到模具使用寿命，而且也可能直接产生裂纹。对这类钢在停锻温度至 650℃ 左右应空冷或风冷，而在 650℃ 左右以下又必须缓冷。

1.2.3.5 锻后出现白点

主要发生在中碳低合金大截面模块（如 5CrNiMo 钢等）中，也有时发生在低碳中合金时效钢中。主要原因是钢中含氢量过多，又由于锻后在低温（150~250℃）冷速过快，在钢中发生脆性破裂而形成白点（裂源）。白点的存在，降低了钢的力学性能，并可能发生淬火开裂等破坏事故。

防止白点产生的关键是减少钢中含氢量，在炼钢、浇注及钢锭扩散退火时予以解决。但对这类钢锻造后必须缓冷到 100℃ 以下或室温才可，如果已发现白点产生，则应增加锻造比，由大截面改锻成小截面，设法使裂纹锻合，否则白点钢应予以判废。

1.3 模具钢的性能与质量检验

1.3.1 模具钢的常规力学性能要求

模具钢的性能是由模具钢的成分和热处理后的组织所决定的。模具钢的基本组织是由马氏体基体以及在基体上分布着的碳化物和金属间化合物等构成。

模具钢的性能应该满足某种模具完成额定工作量所具备的性能，但因各类模具服役条件及所完成的额定工作量指标均不相同，故对模具性能要求也不同。又因为不同钢的

化学成分和组织对各种性能的影响不同,即使同一牌号的钢也不可能同时获得各种性能的最佳值,一般某些性能的改善会损失其他的性能。因而,模具工作者常根据模具工作条件及工作定额要求选用模具钢及最佳处理工艺,使之达到主要性能最优,而其他性能损失最小的目的。

对各类模具钢提出的性能要求主要包括:硬度、强度、塑性和韧性等。

1.3.1.1 硬度

硬度是模具钢的主要技术指标,模具在高应力的作用下欲保持其形状尺寸不变,必须具有足够高的硬度。常用硬度测量方法有以下几种。

1. 洛氏硬度(HR)

洛氏硬度是最常用的一种硬度测量法,测量简便、迅速,数值可以从表盘上直接读出。洛氏硬度常用3种刻度,即HRC、HRA、HRB。3种刻度所用压头、试验力及适用范围见表1-2。

表1-2 洛氏硬度试验规范

硬度符号	硬度头规格	试验力/N	应用范围
HRC	120°金刚石圆锥	1 471	20~70
HRA	120°金刚石圆锥	588.4	20~88
HRB	φ1.588 mm 钢球	980.6	20~100

2. 布氏硬度(HB)

布氏硬度是用淬火钢球作硬度头,加上一定试验力压入工件表面,试验力卸掉以后测量压痕直径大小,再查表或计算,便得出相应的布氏硬度值HB。

布氏硬度测试主要用于退火、正火和调质等模具钢的硬度测定。

3. 维氏硬度(HV)

维氏硬度采用的压头是具有正方形底面的金刚石角锥体,锥体相对两面间的夹角为136°,硬度值等于试验力与压痕表面积之比值。此法可以测试任何金属材料的硬度,但最常用于测定显微硬度,即金属内部不同组织的硬度。

3种硬度大致有如下的关系: $HRC \approx 1/10 HB$, $HV \approx HB$ (当 $<400 HBS$ 时)。

冷作模具钢在室温条件下一般硬度保持在HRC60左右,热作模具钢根据其工作条件,一般要求保持在HRC40~55。对于同一钢种而言,在一定的硬度值范围内,硬度与变形抗力成正比;但具有同一硬度值而成分及组织不同的钢种之间,其塑性变形抗力可能有明显的差别,如图1-3所示不能充分反应模具钢的变形抗力。

1.3.1.2 红硬性

在高温状态下工作的热作模具,要求保持其组织和性能的稳定,从而保持足够高的硬度,这种性能称为红硬性。碳素工具钢和低合金工具钢通常能在180~250℃保持这种性能,铬钼热作模具钢一般在550~600℃保持这种性能。钢的红硬性主要取决于钢的化学

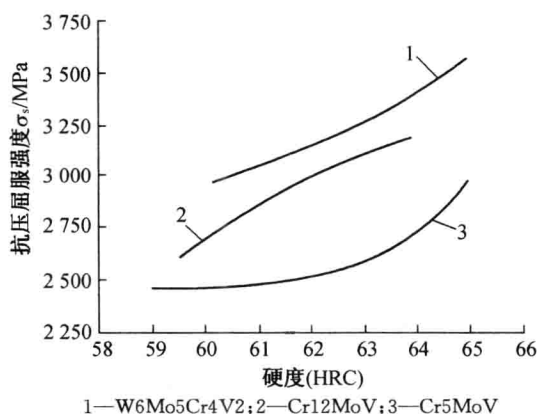


图 1-3 硬度对三种冷作模具钢抗压屈服强度的影响

成分和热处理工艺。

1.3.1.3 抗压屈服强度和抗压弯曲强度

强度是表征材料变形抗力和断裂抗力的性能指标。

评价冷作模具钢塑性变形抗力的指标主要是常温下的屈服点 σ_s ，评价热作模具材料塑性变形抗力的指标则应为高温屈服点或高温屈服强度。为了确保模具在使用过程中不会发生过量塑性变形失效，模具材料的屈服点必须大于模具的工作应力。热作模具的加工对象是高温软化状态的坯料，故所受的工作应力要比冷作模具小得多。但热作模具与高温坯料接触的部分会受热而软化，因此，模具的表面层须有足够的高温强度。

反映冷作模具材料的断裂抗力指标是室温下的抗拉强度、抗压强度和抗弯强度等。但这些指标仅反映模具的表面或内部不存在任何裂纹时的静载断裂抗力。热作模具的断裂失效，不完全由于模具材料抗拉强度不足所致，大多数热作模具在发生断裂之前，已由于冷热疲劳而出现许多表面裂纹。许多热作模具的断裂，属于表面热疲劳裂纹扩展所造成的断裂。因此，在考虑热作模具的断裂抗力时，还应包括断裂韧度的因素。

影响强度的因素较多。钢的含碳量与合金元素含量、晶粒大小、金相组织、碳化物的类型、形状、大小及分布、残余奥氏体量、内应力状态等都对强度有显著影响。

模具在使用过程中经常受到强度较高的压力和弯曲的作用，因此要求模具材料应具有一定的抗压强度和抗弯强度。在很多情况下，进行抗压试验和抗弯试验的条件接近于模具的实际工作条件，例如，所测得的模具钢的抗压屈服强度与冲头工作时所表现出来的变形抗力较为吻合。抗弯试验的另一个优点是应变量的绝对值大，能较灵敏地反映出不同钢种之间以及在不同热处理和组织状态下变形抗力的差别。

1.3.1.4 韧性

韧性是材料在冲击载荷作用下抵抗产生裂纹的一个特性，反映了模具的脆断抗力，常用冲击韧度 α_k 来评定。

在工作过程中，模具承受着冲击载荷，为了减少在使用过程中的折断、崩刃等形式的

损坏,要求模具钢具有一定的韧性。

模具钢的化学成分、晶粒度、纯净度,碳化物和夹杂物等的数量、形貌、尺寸大小及分布情况,以及模具钢的热处理方式和热处理后得到的金相组织等因素都对钢的韧性带来很大的影响。特别是模具钢的纯净度和热加工变形情况对于其横向韧性的影响更为明显。模具钢的韧性、强度和耐磨性往往是相互矛盾的。因此,要合理地选择钢的化学成分并且采用合理的精炼、热加工和热处理工艺,以使模具材料的耐磨性、强度和韧性达到最佳的配合。

冲击韧性是表征材料在一次冲击过程中试样在整个断裂过程中吸收的总能量。但是很多工具是在不同工作条件下疲劳断裂的,因此,常规的冲击韧性不能全面地反映模具钢的断裂性能。小能量多次冲击断裂功或多次断裂寿命和疲劳寿命等试验技术正在被采用。为了提高模具钢的韧性,必须采取合理的锻造及热处理工艺。锻造时应使碳化物尽量打碎,并减少或消除碳化物偏析,热处理淬火时防止晶粒过于长大,冷却速度不要过高,以防内应力产生。模具使用前或使用过程中应采取一些措施减少内应力。

1.3.1.5 耐磨性

决定模具使用寿命最重要的因素往往是模具材料的耐磨性。模具在工作中承受相当大的压应力和摩擦力,要求模具能够在强烈摩擦下仍保持其尺寸精度。模具的磨损主要是机械磨损、氧化磨损和熔融磨损3种类型。为了改善模具钢的耐磨性,就要既保持模具钢具有高的硬度,又要保证钢中碳化物或其他硬化相的组成、形貌和分布比较合理。对于重载、高速磨损条件下服役的模具,要求模具钢表面能形成薄而致密且粘附性好的氧化膜,保持润滑作用,减少模具和工件之间产生粘咬、焊合等熔融磨损,又能减少模具表面进行氧化造成氧化磨损。所以模具的工作条件对钢的磨损有较大的影响。

在磨料磨损的条件下,影响耐磨性的主要因素有硬度和组织。当冲击载荷较小时,耐磨性与硬度成正比关系,即可以用硬度来判断钢的耐磨性好坏;当冲击负荷较大时,耐磨性还受强度和韧性的影响,此时,表面硬度不是愈高愈好,而是存在着一个合适的硬度范围,硬度超过一定值后,耐磨性反而下降。钢的基体组织中,铁素体耐磨性最差,马氏体耐磨性较好,下贝氏体耐磨性最好。对于淬火回火钢,一般认为,在含有少量残余奥氏体的回火马氏体的基体上均匀分布着细小碳化物的组织,其耐磨性为最好。在冲击力较大的情况下,细晶马氏体由于韧性高,因而耐磨性较好。钢中碳化物的性质、数量和分布状态对耐磨性也有显著影响。特殊合金碳化物其硬度和耐磨性要高于合金渗碳体和普通渗碳体,碳化物数量增多并与基体结合牢固时,耐磨性增加。但碳化物过于粗大或基体中呈不均匀分布,则会使耐磨性下降。淬火钢的耐磨性一般随其含碳量的增加而提高,一方面是由于马氏体硬度的增加,另一方面是来自于未溶碳化物数量的增加。

耐磨性可用模拟的试验方法测出相对的耐磨指数 ξ ,作为表征不同化学成分及组织状态下的耐磨性水平的参数。图1-4为用不同钢种制作的标准冲孔模对冷轧硅钢片进行冲孔的试验结果,以呈现规定毛刺高度前的寿命,反映各种钢种的耐磨水平;试验是以Cr12MoV钢为基准($\xi=1$)进行对比。图1-5是标准模具进行耐磨性试验的结果,较好