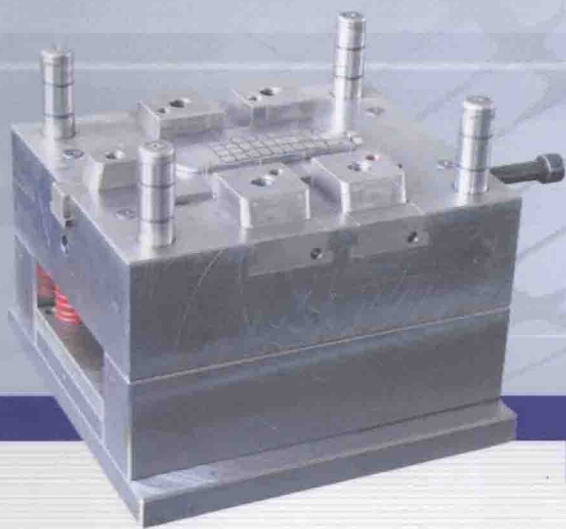




职业教育课程改革规划新教材
机电类专业教学与考工用书

模具材料与 热处理

MUJU CAILIAO YU RECHULI



吴光明 主编 叶朝桢 副主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



赠电子课件

职业教育课程改革规划新教材
机电类专业教学与考工用书

模具材料与热处理

主 编 吴光明
副主编 叶朝桢
主 审 胡松涛



机械工业出版社

本书是为了满足国家对模具、数控人才的迫切需要,根据现阶段职业教育模具设计与制造专业技能型人才培养指导方案的要求,邀请长期工作在教学第一线,具有丰富教学和工厂实践经验的专家编写的。

本书共分五章,分别介绍了模具钢性能及热处理的基本常识,冷作模具钢、热作模具钢及塑料模具钢的性能、选材和热处理的工艺知识,主要内容都结合加工实例进行了细致的分析。

本书以培养学生掌握模具材料与热处理的基础知识,了解机械制造所必须掌握的基础知识为目标,适合职业院校模具、数控类专业学生的专业学习和国家职业技能鉴定考工培训使用。

图书在版编目(CIP)数据

模具材料与热处理/吴光明主编. —北京:机械工业出版社,2012.2

职业教育课程改革规划新教材·机电类专业教学与考工用书

ISBN 978-7-111-37102-1

I. ①模… II. ①吴… III. ①模具钢—热处理—中等专业学校—教材
IV. ①TG162.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第004956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:汪光灿 责任编辑:王莉娜

版式设计:石冉 责任校对:陈延翔

封面设计:马精明 责任印制:李妍

北京富生印刷厂印刷

2012年2月第1版第1次印刷

184mm×260mm·6.25印张·148千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-37102-1

定价:15.00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

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是为了满足国家对模具、数控人才的迫切需要,根据现阶段职业教育模具设计与制造专业技能型人才培养指导方案的要求,邀请长期工作在教学第一线,具有丰富教学和工厂实践经验的专家编写的。

“模具材料与热处理”是模具专业的一门重要的基础课程。该课程具有基础性、实用性、知识性、实践性与创新性等特点,是培养现代复合型人才的重要课程之一。本书注重学生获取知识,分析问题与解决工程技术问题能力的培养,并且着力培养学生的工程素质与创新思维能力。

本书在内容的选择和编写上有如下特点:

1. 编写力求适应机械专业的应用实际,力求处理好基础知识与现代新技术的关系。内容的选择和安排上既系统丰富又重点突出,每个章节既相互联系,又相对独立,以便供不同学习背景、不同学时和不同层次的学生选用。

2. 介绍模具材料与热处理的概念,力求反映模具制造领域的新产品、新材料及新工艺,努力使其成为一本内容先进,开阔学生视野,培养学生的创新素质和能力的书籍。

3. 在内容的选择和安排上考虑到了机械类各专业的不同需要,具有一定的通用性,同时扩充了现代制造技术的新知识,以适应生产发展的需要。

4. 为加深学生对课程内容的理解,掌握和巩固所学的基本知识,并在分析问题和独立解决问题的能力方面得到应有的训练,每章后都附有习题,供学生学完有关内容后及时进行消化和复习。

5. 基本理论叙述以够用为度,注重与实际操作相结合,突出模具应用与制造相关的基础知识,大量采用了来自生产一线的实例,使教学内容更加贴合生产实际,注重学生实际动手能力的培养。

本书从培养机械加工、模具制造技能专业人才的角度出发,本着以综合素质为基础,以能力为本的原则,以企业需求为基本依据,以就业为导向,适应企业技术发展,从生产实践角度精选内容,系统介绍机械加工、模具制造的相关知识和技能,帮助同学学习掌握机械加工的基础知识。

本书围绕中高级模具工、数控加工操作工职业岗位基础知识的要求,合理地安排内容,将机械制造理论与技能有机地结合起来,针对性、实用性强。其教学目标是:使学生掌握模具材料与热处理的基础知识,了解机械制造所必须掌握的基础知识,为后续学习机械加工和模具制造技术打下坚实的基础。

本书由东莞市高技能公共实训中心和东莞职业技能鉴定指导中心组织编写,由北京航天

数控集团公司胡松涛主审。吴光明编写了第一、二、三、四章，叶朝桢编写了第五章，全书由吴光明统稿。在编写过程中，东莞市职业技能鉴定指导中心、东莞理工学校、东莞职业技术学院、东莞市高级技工学校、东莞联合技工学校、东莞育才职业技术学校、长安职业高级中学、常平黄水职业中学、智通职业技术学校、华粤职业技术学校、南华职业技术学校、东莞理工学院及东莞模具制造相关企业也给予了大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

限于作者的水平，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正，编者的电子邮箱为 wgm2170@126. com。

编者

目 录

前言	
第一章 模具钢与热处理概述	1
第一节 模具钢的分类与牌号	1
第二节 模具钢的性能要求	3
第三节 模具钢热处理的基本常识	6
习题	10
第二章 冷作模具钢的热处理工艺	11
第一节 常用冷作模具钢的性能要求与 分类	11
第二节 常用冷作模具钢的选材	12
第三节 冷作模具钢的热处理	17
第四节 冷作模具钢的热处理工艺与 实例	25
习题	33
第三章 热作模具钢的热处理工艺	34
第一节 常用热作模具钢的性能要求与 分类	34
第二节 常用热作模具钢的选材	35
第三节 热作模具钢的热处理	37
第四节 热作模具钢的热处理工艺与实例 ..	43
习题	47
第四章 塑料模具钢的热处理工艺	48
第一节 常用塑料模具钢的性能要求与 分类	48
第二节 常用塑料模具钢的选材	50
第三节 塑料模具钢的热处理	52
第四节 塑料模具钢的热处理工艺与 实例	58
习题	61
第五章 模具表面强化处理工艺	63
第一节 模具表面强化处理概述	63
第二节 模具表面化学强化处理	64
第三节 模具表面涂镀处理	72
第四节 其他表面加工强化处理	77
习题	83
附录	85
附录 A 国内外(地区)常用模具钢牌号 对照表	85
附录 B 国内模具企业常用进口模具钢与 国内标准模具钢牌号的比较	86
附录 C 国内市场常用的进口模具钢性能 情况	88
参考文献	92

模具钢与热处理概述

第一节 模具钢的分类与牌号

一、模具钢的分类

模具钢的品种很多，按模具类别的不同可分为冷作模具钢、热作模具钢、塑料模具钢以及其他模具钢；按材料的类别可分为钢铁材料、非铁金属材料和非金属材料。通常先按用途将模具钢分为三大类，再按其合金元素与特点分成小类，如图 1-1 所示。

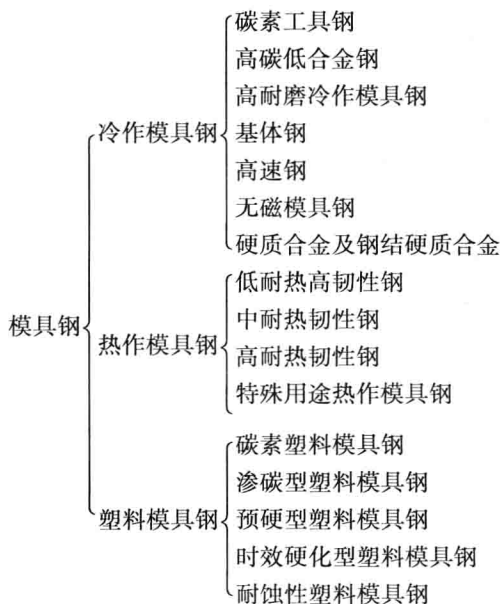


图 1-1 模具钢的分类

二、模具钢的牌号表示方法

模具钢主要是碳钢和合金钢。我国碳钢与合金钢的牌号表示方法是用钢的碳的质量分数及所含合金元素的种类和质量分数来表示的，其具体表示方法如下：

1. 碳素钢

用作模具的碳素钢主要有优质碳素结构钢和碳素工具钢。优质碳素结构钢的牌号表示方法为：用两位数字表示钢中平均碳的质量分数，以万分之几计。当钢中锰的质量分数较高（0.70% ~ 1.20%）时，在钢号后面加“Mn”。

例如：45
——表示平均碳的质量分数为0.45%的碳素结构钢

65 Mn
——表示平均碳的质量分数为0.65%
——表示锰的质量分数较高（0.70% ~ 1.20%）

碳素工具钢的牌号表示方法为：“T + 数字 + A”，T 表示碳素工具钢；数字表示平均碳的质量分数，以千分之几计；后面加 A 表示为高级优质钢。

例如：T 7
——表示碳的平均质量分数为0.7%
——表示碳素工具钢

T 12 A
——表示高级优质钢
——表示碳的平均质量分数为1.2%
——表示碳素工具钢

2. 合金结构钢

合金结构钢的牌号表示方法为：“两位数字 + 化学元素符号 + 数字 + …”。前面的两位数字表示钢中碳的平均质量分数，以万分之几计；合金元素直接用其化学符号表示；合金元素后面的数字表示其含量的平均质量分数，以百分之几计。当合金元素的平均质量分数小于1.5%时，牌号中只标明元素的化学符号，而不标明含量；如果平均质量分数为1.5% ~ 2.5%、2.5% ~ 3.5%、…，则相应地以2、3、…表示。

如为高级优质钢，则在编号后面加“A”，特级优质钢在编号后面加“E”。

例如：20 Cr Mn Ti
——表示碳的平均质量分数为0.2%
——表示铬的平均质量分数小于1.5%
——表示锰的平均质量分数小于1.5%
——表示钛的平均质量分数小于1.5%

3. 合金工具钢

合金工具钢的牌号表示方法为：“一位数字（或没有数字）+ 化学元素符号 + 数字 + …”，其合金元素含量的表示方法与合金结构钢相同，只是碳的质量分数的表示方法不同，平均碳质量分数大于或等于1.0%时，在牌号中不标出碳的质量分数；平均碳的质量分数小于1.0%时，则在编号前以一位数字表示碳的质量分数，以千分之几计。

例如：9 Mn2 V
——表示钒的平均质量分数小于1.5%
——表示锰的平均质量分数为2%
——表示碳的平均质量分数为0.9%

Cr 12
——表示铬的平均质量分数为12%
——不写数字；表示碳的平均质量分数大于等于1.0%

高速钢中碳的质量分数一般为 $0.7\% \sim 1.5\%$ ，但在高速钢的牌号中一般不标出碳的质量分数，只标出合金元素的平均质量分数。

特殊钢的牌号表示方法与合金工具钢基本相同，只是在碳的平均质量分数大于或等于 0.04% 时，推荐取两位小数；在碳的平均质量分数不大于 0.03% 时，推荐取 3 位小数。如 06Cr19Ni10、022Gr19Ni10N。

有一些特殊专用钢的标注有些特殊，如铸钢前面用“ZG”表示；又如滚动轴承钢前面标“G”，牌号中不标出碳的平均质量分数，铬元素后面的数字表示铬的平均质量分数，以千分之几计，而其他元素的平均质量分数仍以百分之几计。

例如：G Cr15 Si Mn

表示硅、锰的平均质量分数分别小于 1.5%
表示铬的平均质量分数为 1.5%
表示滚动轴承钢

第二节 模具钢的性能要求

一、模具钢的力学性能要求

各种模具钢根据其工作条件的不同，应该有不同的力学性能要求，以满足某种模具完成额定工作量所具备的性能。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其最佳处理工艺，使之达到主要性能最优，而其他性能损失最小的目的。模具钢的力学性能要求主要分为以下几种。

1. 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强度 R_e ，评价热作模具钢塑性变形抗力的指标应为高温屈服强度。为了确保模具在使用过程中不会发生过量塑性变形失效，模具钢的屈服强度必须大于模具的工作应力。模具的表面层须有足够的高温强度。

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。

2. 塑性和韧性

断裂前金属材料产生永久变形的能力称为塑性。模具钢塑性较差，尤其是冷作模具钢，在很小的塑性变形时即发生脆断。模具钢塑性的好坏，通常用断后伸长率和断面收缩率两个指标来衡量。

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。

对于受强烈冲击载荷的模具，如冷作模具的冲头、锤用热锻模、冷锻模和热锻锻模等，考虑模具钢的韧性是十分重要的，它是模具钢的一个重要性能指标。材料的韧性越好，脆断危险性越小，热疲劳强度也越高。

模具钢的韧性往往和耐磨性、硬度是互相矛盾的。因此，应根据模具的具体工作情况选择合理的模具钢，并采用合理的精炼、热加工和热处理、表面强化工艺使模具钢得到耐磨性

和韧性等综合性能。

为了提高钢的韧性，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，热处理淬火时应防止晶粒过度长大，冷却速度不应过高，以防产生内应力。

3. 硬度

硬度表征了材料对变形和接触应力的抗力。测硬度的试样很容易制备，车间、试验室又都有硬度计，因此硬度是很容易测定的一种性能。由于硬度与强度也有一定关系，因此还可以通过硬度强度换算关系得到材料硬度值。

常用的硬度测量方法有洛氏硬度（HR）和布氏硬度（HBW）等几种。洛氏硬度（HR）是最常用的一种硬度测量法，其测量简便、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和HRB。

硬度反映的是一种综合的力学性能，其值可以间接地反映零部件的强度、塑性、韧性、抗疲劳强度及耐磨性等力学性能指标。所以，图样标注的硬度就反映了模具钢的各种性能要求。

冷作模具的硬度在52~60HRC范围内，热作模具的硬度在40~52HRC范围内。

4. 耐磨性

由于模具特有的工作性质，要求工作表面要有足够的耐磨性，从而避免模具工作面磨损。对于模具来讲，耐磨性是衡量其使用寿命的重要指标。

模具的磨损多种多样，形式复杂，常遇到的磨损形式有磨料磨损、粘着磨损、氧化磨损和疲劳磨损等。不同的磨损形式影响模具钢耐磨性的因素各不相同。

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，此时表面硬度不是越高越好，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。

对于粘着磨损的情况，影响材料耐磨性的因素也比较复杂。一般脆性材料和高熔点材料的抗粘着能力较强。减小材料的摩擦因数可以提高耐粘着磨损性，而提高材料的硬度有助于减小摩擦因数。试验表明：材料硬度在550~750HV范围（且最好>700HV）对于抗粘着磨损较合适。采用一定的表面处理（如渗硫、氮碳共渗等），可以在金属材料表面形成一层与基体金属不同的化合物层或非金属层，以减小摩擦因数，有效地减轻粘着磨损。

氧化磨损是最广泛存在的磨损类型，同时也是各类磨损中磨损速率最小的一种。氧化磨损速率主要取决于金属表层的扩散速度、所形成氧化膜的性质和氧化膜与基体金属的结合强度。致密、非脆性且不易剥落的氧化膜能显著提高磨损抗力，提高金属表层硬度，增加表层塑性变形抗力，从而减轻氧化磨损。

钢的耐疲劳磨损性在很大程度上取决于冶金质量。钢中存在疏松、气孔、白点和非金属夹杂等缺陷都可能成为疲劳裂纹源。在炼钢过程中应用真空脱氧、电渣重熔和真空熔炼等方法可以大大减少气孔和夹杂物，从而提高钢的耐疲劳磨损性。

5. 耐热性

冷作模具在强烈摩擦时，局部的温升有时甚至可达400℃以上（冷挤压模），而热作

模具对加热到高温的固体或液体材料进行加工时,模具的温升更高。例如,锤锻模可达 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$,热挤压模达 $800\sim 850^{\circ}\text{C}$,压铸模达 $300\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 。由于经常受到高温作用,因此要求模具钢有一定的抗热性能,尤其是热作模具。抗热性能包括以下几个方面。

(1) 热稳定性 热稳定性表示钢在受热过程中保持金相组织和性能稳定的能力。通常钢的热稳定性用回火保温4h,硬度降到45HRC时的最高加热温度表示。这种方法与材料的原始硬度有关。对于因耐热不足而堆积塌陷失效的热作模具,可以根据热稳定性预测模具的寿命水平。

(2) 耐回火性 耐回火性指随回火温度升高,模具钢的强度和硬度下降快慢的程度,也称回火抗力或抗回火软化能力。耐回火性与钢的热稳定性共同表示钢在高温下的组织稳定性程度,表示模具在高温下的变形抗力。

6. 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,会加剧型腔表面磨损,所以这些模具钢应具有相应的耐蚀性。合金化或进行表面处理是提高模具钢耐蚀性的主要方法。

二、模具钢的工艺性能要求

在模具的总成本中,特别是小型精密复杂模具,模具钢的费用往往只占总成本的10%~20%,有时甚至低于10%,而机械加工、热加工、表面处理、装配和管理等费用要占总成本的80%以上。所以模具钢的加工工艺性能就成为影响模具成本的一个重要因素,也是提高模具质量和使用寿命的关键所在。

1. 可锻性

锻造在很大程度上影响模具的质量和使用寿命,锻造质量的好坏直接影响模具的质量。通过合理的锻造工艺,在得到所需形状的模具毛坯的同时,还可以改善材料组织与性能,如可焊合气孔、疏松、微裂等;锻造可提高材料的致密度,改变原材料中的流线方向,使模具中的流线分布合理;锻造还可消除碳化物的偏析,使大块碳化物破碎并均匀分布。

2. 可加工性

可加工性包括切削、磨削、抛光、冷挤压和冷拉等工艺性能。模具制品有时对表面质量、表面粗糙度和抛光性能要求很高,这就要求钢材的质量更高。因此,模具钢杂质少、组织均匀、无纤维方向,并通过采取一些措施,改善模具钢的工艺性能,以降低模具的制造费用。

为了改善模具钢的可加工性和磨削性,在模具钢精炼的后期应对钢液进行变性处理,通过加入变性剂进行改善。

有些模具要求很低的表面粗糙度值,如要求镜面抛光的塑料模具和一些冷作模具,要采用抛光性能很好的模具钢。

3. 热处理工艺性能

为了使模具获得优良的力学性能,满足使用条件,模具都须进行热处理,其热处理工艺性能的好坏对模具的质量有较大影响。在模具失效的案例中,热处理不当造成的失效占40%左右。

(1) 淬透性与淬硬性 对于较大尺寸的模具,除了要求表面有较高的硬度外,还要求心部有良好的强韧性,即表面要求淬火后有一定硬度,而心部要求淬透,这样才能保证模具整个截面尺寸均匀,满足使用要求。具有较高淬透性的模具钢,淬火时可以采用较缓的冷却

介质,从而在模具内部获得均匀的应力状态,避免变形和开裂倾向。

(2) 耐回火性 模具钢在淬火后必须进行回火,以降低淬脆性及减少或消除内应力,稳定组织,稳定模具的形状、尺寸和精度。对于冷作模具钢,应采用低温回火,热作模具钢则一般采用中温回火。模具钢在回火时,抵抗其强度、硬度降低的能力称为耐回火性。不同的钢在相同温度回火后,强度、硬度下降少的,其耐回火性好。

(3) 过热敏感性 模具钢在热处理加热时其加热温度应控制在一定范围之内,如加热温度过高则可能降低模具钢的韧性,增加其早期断裂的危险性,还可能导致钢的表面产生脱碳现象。

(4) 淬火变形与开裂倾向性 淬火工艺中,加热、保温、冷却等过程在材料内部会产生热应力和组织应力,容易引起材料的变形甚至开裂。控制加热温度、保温时间、冷却速度等热处理工艺参数,正确选择材料,控制材料的原始组织状态和热处理后的组织状态,对防止模具淬火变形及开裂有重要作用。

第三节 模具钢热处理的基本常识

模具钢的热处理工艺是指模具钢在加热、冷却过程中,根据组织转变规律确定的具体热处理加热、保温和冷却的工艺参数。根据加热、冷却方式及获得组织和性能的不同,热处理工艺可分为常规热处理和表面热处理(表面淬火和化学热处理等)等。模具钢的常规热处理主要包括退火、正火、淬火和回火。

一、退火

退火一般是指将模具钢加热到临界温度以上,保温一定时间,然后使其缓冷至室温,获得接近于平衡状态组织的热处理工艺,其组织为铁素体基体上分布着碳化物。退火的目的是消除钢中的应力,降低模具材料的硬度,使材料成分均匀,改善组织,为后续工序(机加工、冷加工成形、最终热处理等)做准备。

退火工艺根据加热温度不同可分为以下几种。

1. 完全退火

完全退火是将模具钢加热到临界温度以上,保温足够的时间,然后缓慢冷却,以获得接近平衡状态组织的热处理工艺。其目的是为了降低硬度、均匀组织、消除内应力和热加工缺陷、改善可加工性和冷塑性变形性能,为后续热处理或冷加工做准备。

2. 等温退火

等温退火是将钢加热到临界温度以上,保温足够的时间,使其完成组织转变,然后从炉中取出空冷的热处理工艺。等温退火的特点是可以缩短退火时间,最适合用于合金工具钢和高合金工具钢模具,有利于获得更为均匀的组织 and 性能。等温退火缩短了退火时间,在实际生产中应用广泛。

3. 球化退火

球化退火是模具钢中应用最普遍的退火工艺,实际上是不完全退火的一种。球化退火主要应用于共析钢、过共析钢和合金工具钢,其目的是降低硬度、改善可加工性以及获得均匀的组织,改善热处理工艺性能,为以后的淬火做组织准备。

二、正火

正火是将模具钢加热到临界温度以上的适当温度，保温一定时间，然后在空气中自然冷却的一种热处理工艺。

正火与完全退火相比，加热温度基本相同，但正火的冷却速度较快，转变温度较低。正火的冷却方式通常是将工件从炉中取出，放在空气中自然冷却，对于大件也可采用鼓风或喷雾等方法冷却。

正火是退火的一种变态或特例，两者并无本质上的区别。正火后的组织与退火后的组织不同，这是因为正火的保温时间比退火的保温时间短，冷却速度不同。对于性能要求不高的工件，正火可作为最终热处理。由于正火时冷却速度较快，所以它不能消除内应力，尤其是大工件正火时，由于工件内外冷却速度的不同，而使钢的组织不一致，反而增大了内应力。正火与退火相比较，正火的强度、硬度要高些，塑性、韧性要低些。

三、淬火

淬火是模具钢或模具零件强化的主要手段，是将钢加热到临界点以上一定温度，保温一定时间，在水、盐水或油中急剧冷却的一种热处理工艺。淬火的目的是提高钢的硬度和耐磨性。淬火工艺的关键是要控制加热速度、淬火温度、保温时间以及冷却速度。

淬火工艺有两个概念，应注意区别，其一是淬硬性，即经淬火后能达到的最高硬度，主要取决于钢中的含碳量；其二是淬透性，即在淬火时获得淬硬层深度的能力，淬硬层越深，其淬透性越好。淬透性取决于钢的化学成分和淬火冷却方法，如加入锰、铬、镍、硅等合金元素可提高钢的淬透性。淬硬性和淬透性对钢的力学性能影响很大，因此钢的淬硬性和淬透性是合理选材和确定热处理工艺的两项重要指标。

由于钢在淬火时的冷却速度快，工件会产生较大的内应力，很容易引起工件的变形和开裂，所以淬火后的工件一般不能直接使用，必须及时回火。淬火时须考虑以下几点。

1. 淬火温度

淬火加热温度的选择应以得到均匀细小的晶粒为原则，主要根据钢的临界点来确定。表 1-1 为常用模具钢的相变点及淬火加热温度。另外，淬火温度还应考虑模具的形状尺寸等因素。

表 1-1 常用模具钢的相变点及淬火加热温度

牌 号	A_{c1} 或 $A_{c3}/^{\circ}\text{C}$	淬火温度/ $^{\circ}\text{C}$	牌 号	A_{c1} 或 $A_{c3}/^{\circ}\text{C}$	淬火温度/ $^{\circ}\text{C}$
45	780	820 ~ 850	9SiCr	770	860 ~ 880
T8A ~ T12A	730	770 ~ 800	Cr12MoV	810	1000 ~ 1050
40Cr	780	830 ~ 860	3Cr2W8V	810	1050 ~ 1100
60Si2Mn	820	840 ~ 870	W6Mo5Cr4V2	810	1190 ~ 1230
GCr5	745	820 ~ 860	W18Cr4V	820	1260 ~ 1290

2. 淬火时间

淬火加热时间通常将工件升温 and 保温所需的时间计算在一起，而统称为加热时间。影响加热时间的因素很多，如加热介质、钢的成分、炉温、工件的形状及尺寸、装炉方式及装炉量等。淬火加热时间参见有关热处理手册。

3. 淬火介质

淬火时的冷却速度必须大于临界冷却速度。但是,冷却速度过大又会使工件内应力增加,产生变形或开裂。

工件淬火冷却时要使其得到合理的淬火冷却速度,必须选择适当的淬火介质。淬火介质的种类很多,常用的有水、NaCl (5% ~ 10%) 水溶液、NaOH (10% ~ 50%) 水溶液以及各种矿物油等。模具淬火可以在水、油或空气中进行。

四、回火

回火是淬火工艺的后续工序,是将淬火后的钢加热到临界温度以下的某一温度(根据回火后的组织和性能要求而定),充分保温后,以适当的速度进行冷却的热处理工艺。

回火是紧接淬火的一道热处理工艺,大多数淬火模具钢都要进行回火。回火的目的是稳定组织和尺寸,降低脆性,消除内应力;调整硬度,提高韧性,获得优良的力学性能和使用性能,以满足不同模具的性能要求。

决定模具回火后的组织和性能最重要的因素是回火温度。回火可分为低温回火、中温回火和高温回火。

1. 低温回火

低温回火的加热温度在 150 ~ 250℃ 范围内,其目的是降低淬火内应力和脆性并保持高硬度,用于处理要求硬度高、耐磨性好的零件,如各种刀具、量具、模具及滚动轴承等。为提高精密零件与量具尺寸的稳定性,可在 100 ~ 150℃ 以下进行长时间(可达数十小时)的低温回火,这种处理方法被称为时效处理或尺寸稳定化处理。

2. 中温回火

中温回火的加热温度在 350 ~ 500℃ 范围内,通过中温回火可显著减小淬火应力,提高淬火件的弹性和强度。中温回火一般用于处理各种弹簧、发条及锻模等。

3. 高温回火

高温回火的加热温度在 500 ~ 650℃ 范围内,通过高温回火可以消除淬火应力,使零件获得优良的综合性能。一般把淬火后再进行高温回火的热处理称为调质,它广泛用于处理各种重要且受力复杂的中碳钢零件,如曲轴、丝杠、齿轮及轴等,也可作为某些精密零件如量具和模具等的预备热处理。

五、表面淬火处理

表面淬火是利用快速加热的方法将工件表面迅速升温至淬火温度,待热量传至心部之前立即给予冷却,使得表面得以淬硬,以获得高硬度和耐磨性,而心部仍保持原来的组织结构,具有良好的塑性和韧性。这种热处理工艺适用于要求外硬内韧的机械零件,如凸轮、齿轮、曲轴和花键轴等。零件表面淬火前需进行正火或调质处理,表面淬火后应进行低温回火。

表面淬火按表面加热方式的不同可分为感应淬火、火焰淬火以及接触电阻加热淬火等。由于感应加热速度快,生产效率高且产品质量好,容易实现机械化和自动化生产,所以该方法得到了广泛应用,但其设备费用昂贵,主要用于大批量生产。

根据感应电流频率的不同,感应淬火又分为高频、中频和工频感应淬火。

六、真空热处理

在热处理时,被处理模具零件表面发生氧化、脱碳和增碳等效应,都会给模具使用寿命带来严重的影响。为了防止氧化、脱碳和增碳,可利用真空作为理想的加热介质,制成真空热处理炉。零件在真空炉中加热后,将中性气体通入炉内的冷却室,在炉内利用气体进行淬火的为气冷真空处理炉,利用油进行淬火的为油冷真空处理炉。

近年来,真空热处理技术在我国发展较为迅速,它特别适合用于模具的热处理工艺。模具钢经过真空热处理后具有良好的表面状态,其表面不氧化、不脱碳、淬火变形小。与大气下的淬火工艺相比,真空淬火后,模具表面硬度比较均匀,而且还略高一点。真空加热时,模具钢表面呈活性状态,不脱碳,不产生阻碍冷却的氧化膜。真空淬火后,钢的断裂韧性有所提高,模具寿命比常规工艺提高 40% ~ 400%,甚至更高。

1. 真空热处理的特点

1) 因为在真空中加热和冷却,氧的分压很低,零件表面氧化作用得到抑制,从而可得到光亮的处理表面。

2) 在大气中熔炼的金属和合金,由于吸气而使韧性下降,强度降低,在真空热处理时,可使吸收的气体释放,从而增加了强度和韧性,提高了模具的使用寿命。

3) 真空热处理淬火变形小。如 W6Mo5Cr4V2 钢凸模真空热处理后,在氮气中冷却,变形实测结果表明,只要留 0.08mm 的磨削余量即可;冷作模具钢制成的凹模,真空热处理的变形量为盐浴淬火变形量的 1/5 ~ 1/3。

4) 由于在密封条件下处理,有无公害和保护环境等优点。

5) 真空中的传热只是发热体的辐射,并非以对流、传导来传热,因此零件背面部分的加热有时会不均匀。

2. 真空热处理设备

真空热处理技术的关键是采用合适的设备(真空退火炉、真空淬火炉、真空回火炉)。真空加热最早采用真空辐射加热,后来逐步发展为负压载气加热和低温阶段正压对流加热等。

七、化学热处理

化学热处理是将钢件放在某种化学介质中,通过加热和保温使介质中的一种或几种元素渗入钢的表层,以改变表层的化学成分、组织及性能的热处理工艺。

化学热处理一般都以渗入的元素加以命名,表面渗层的性能取决于渗入元素与基体金属所形成合金的性质及渗层的组织结构。

常见的化学热处理有渗碳、氮化、碳氮共渗、渗金属(渗铬、渗铝等)和多元共渗等,其中渗碳、氮化、碳氮共渗处理用于提高工件表层的硬度与耐磨性;渗铬、渗铝能使工件表层获得某些特殊的物理化学性能,如抗氧化性能、耐高温性能及耐蚀性等。

化学热处理与表面淬火的区别是:表面淬火只是通过改变钢的表层组织来改变钢的性能,化学热处理则能同时改变钢的表层成分和组织,可更有效地提高钢表层性能并赋予其新的性能。这对提高产品质量,满足某些特殊要求(耐酸、耐碱度),发挥材料潜力,节约贵重金属具有重要意义。因此,化学热处理已成为发展最快的热处理工艺。

常用热处理名称及代号见表 1-2。

表 1-2 常用热处理名称及代号

热处理名称		热处理代号示例	说 明
退火		Th	
正火		Z	
淬火		C48	淬火回火 45 ~ 50HRC
调质		T235	调质至 220 ~ 250HBW
表面淬火	火焰淬火	H54	火焰淬火后，回火至 52 ~ 58HRC
	高频感应淬火	G52	高频淬火后，回火至 50 ~ 55HRC
渗碳淬火		8 0.5 - C59	渗碳层深 0.5mm，淬火硬度 56 ~ 62HRC
氮化		D0.3 - 900	氮化层深 0.3mm
碳氮共渗		Q59	

习 题

1. 试述模具钢的分类方式和常用模具钢的编号方法。
2. 模具钢所要求的力学性能指标和工艺性能指标有哪些？
3. 模具钢的常规热处理方法主要包括哪些？试简述之。
4. 什么是真空热处理？其主要特点是什么？
5. 什么是化学热处理？什么是表面淬火？两者有何区别？

冷作模具钢的热处理工艺

第一节 常用冷作模具钢的性能要求与分类

一、冷作模具钢的性能要求

冷作模具是在常温下完成对金属或非金属材料进行塑性变形的模具。冷作模具种类多,形状结构差异性大,工作条件和性能要求不一,对模具钢要求较高。对冷作模具钢的力学性能有如下基本要求。

1. 良好的耐磨性

冷作模具工作时,模具与坯料之间产生多次摩擦,模具必须在这种情况下仍能保持较低的表面粗糙度值和较高的尺寸精度,以防早期失效。影响模具耐磨性的主要因素是材料的硬度和组织,一般模具钢的硬度应高于坯料硬度 30% ~ 50%。

2. 足够的强度和一定的韧性

冷作模具的设计与使用,必须保证其有一定的强度,防止由于冲击、重载荷、偏心弯曲载荷、应力集中等引起模具的破裂和折断。冷作模具工作时受冲击载荷较大,当受偏心弯曲载荷(如细长冲头)作用或有应力集中时,应有一定的韧性。

应注意到冷作模具在工作时,很少因受一次超载荷冲击而破坏,很多情况是在小能量的多次重复冲击载荷作用下而破坏的。这种小能量多次冲击载荷下的破坏是由于多次重复冲击的损伤积累而引起裂纹的产生和扩展所致。实践表明,模具钢承受多次小能量冲击时,其使用寿命主要取决于模具钢的强度。因此对于模具钢,其强度和韧性应满足一定的要求。

3. 良好的抗疲劳性

冷作模具一般是在交变载荷下工作的,所以所发生的破坏多为疲劳破坏,即工作载荷在材料的屈服强度以内,加工一定数量的坯料后也可能发生破坏,因此要求其工作应力应在材料的疲劳强度以内。模具钢抵抗疲劳破坏的能力与其化学成分、组织状态、碳化物形态及分布、表面粗糙度等有关,模具的结构设计也不同程度影响到模具的抗疲劳性。

4. 抗咬合粘结能力

模具工作时模具表面与坯料直接接触,接触处应力高,摩擦力大,坯料可能被模具“冷焊”在模具型腔表面而形成金属瘤,在以后的坯料成形中在工件表面产生划痕。抗咬合