



普通高等教育“十二五”规划教材

JINGONG SHIXI

金工实习

李章东 主 编
吕宝占 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

JINGONG SHIXI

金工实习

课程（90）目录附录计划

主 编 李章东
副主编 吕宝占
编 写 闫勇刚 邵水军
浮红霞
主 审 郭兰申



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。本书共分7章,主要包括:工程材料、钢的热处理、铸造、压力加工、焊接、零件的加工、机器的装配。

本书可作为高等学校相关专业金工实习的教材,也可供高职高专院校师生和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金工实习/李章东主编. —北京:中国电力出版社,2010.12
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5123-1258-6

I. ①金… II. ①李… III. ①金属加工-实习-高等学校-教材 IV. ①TG-45

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第259224号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 http://www.cepp.sgcc.com.cn)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011年2月第一版 2011年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 11印张 270千字

定价 18.50元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前 言

金工实习是高等工科院校教学中一门重要的实践性技术基础课。它将为学习工程材料、金属工艺学以及其他相关的专业课、毕业设计和今后从事实际工作打下重要的基础。

近几年来,社会各界对提高工科院校在校大学生工程实践能力和创新能力方面不断提出新的要求,各工科院校纷纷成立工程训练中心,加大了对工程训练经费和先进设施的投入。另外,随着科学技术的飞速发展,新材料、新设备、新技术、新工艺层出不穷,为金工实习提供了新的教学内容,也提出了新的教学要求。我国要从制造大国转变为制造强国,金工实习要紧密适应科技发展的形势和需要,要培养出一大批高素质的、掌握先进制造技术的应用型人才,特别要注重创新能力和创新精神的培养。

在认真总结近几年来各校金工实习教学改革经验的基础上,编者参考教育部机械基础课程教学指导委员会提出的普通高等学校“机械制造工程训练教学基本要求”编写了本书。在本书的编写过程中,力求突破传统金工教学教材的体系,对实习内容作了较大幅度的更新和充实,旨在推动高等工科院校金工实习的深化改革,将金工实习真正建设成为适应 21 世纪发展要求、高水平的实践性技术基础课。

本书由河南理工大学长期从事金工教学和指导金工实习教学的教师和工程技术人员编写。李章东任主编,吕宝占任副主编。具体编写分工如下:李章东(第 1~5 章),吕宝占(第 6 章第 1~4 节),邵水军(第 6 章第 5 节),浮红霞(第 6 章第 6 节),闫勇刚(第 7 章)。

本书由河北工业大学郭兰申教授主审。审稿老师提出了很多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中难免有不妥或错漏之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2010 年 11 月

目 录

前言

第1章 工程材料	1
1.1 工程材料基础知识	1
1.2 金属材料基本知识	3
1.3 毛坯的选择	6
第2章 钢的热处理	9
2.1 钢的热处理工艺	9
2.2 热处理的主要设备	15
第3章 铸造	16
3.1 砂型铸造	16
3.2 特种铸造	17
3.3 常用合金铸件的生产	22
3.4 铸造工艺设计	27
第4章 压力加工	31
4.1 压力加工的基础知识	31
4.2 锻造	34
4.3 板料冲压	46
4.4 现代压力加工及其发展趋势	50
第5章 焊接	53
5.1 焊接基础知识	53
5.2 常用焊接方法	56
5.3 焊接结构设计	65
第6章 零件的加工	68
6.1 金属切削基本知识	68
6.2 车削加工	80
6.3 铣削加工	107
6.4 刨削加工	119
6.5 磨削加工	130
6.6 数控加工	138
第7章 机器的装配	148
7.1 钳工基本知识	148
7.2 钳工主要工艺	149
7.3 装配	167
参考文献	172

第1章 工程材料

1.1 工程材料基础知识

1.1.1 工程材料的种类

现代工业技术与材料发展密切相关,能源、信息和材料已成为现代化技术的三大支柱,而材料又是后两者发展的基础。因此,各国都将材料的研究、开发放在了非常突出的位置,新材料不断涌现。材料的分类方法很多,根据材料中化学成分和化学键的特点,工程材料可分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料。

1.1.2 工程材料的性能

工程材料品种繁多,为了充分发挥各种材料的特点,合理选材,有必要了解和熟悉材料的性能。材料的性能可分为使用性能和工艺性能两方面。使用性能是指材料在使用过程中表现出来的性能,如力学性能、物理性能、化学性能等;工艺性能是指材料在加工过程中对各种加工工艺的适应能力,如铸造性能、锻压性能、焊接性能、热处理性能、切削加工性能等,如图1-1所示。

1. 力学性能

材料在载荷(外力)作用下表现出来的性能,称为力学性能。载荷可分为静载荷和动载荷两种。静载荷是指加载方式不影响材料的变形行为,加载速率较为缓慢的载荷;动载荷是指突加的、冲击性的大小、方向随时间而变化的载荷。材料在静载荷作用下表现出来的性能有强度、塑性、硬度等,在动载荷作用下表现出来的性能有韧性、疲劳强度等。

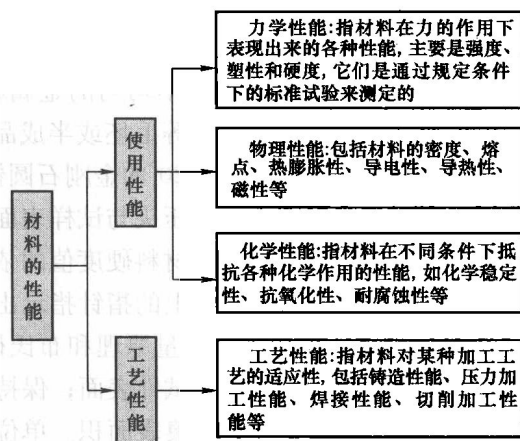


图 1-1 材料的性能

(1) 强度。强度是指材料在外力作用下抵抗弹性变形和断裂的能力,强度和塑性可通过拉伸试验测得。

1) 弹性极限。当物体受外力作用产生变形时,若除去外力,物体发生的变形会完全消失,恢复到原始状态,这种变形称为弹性变形。在弹性变形范围内,应力与应变的比值称为弹性模量,表示金属抵抗弹性变形的能力。

2) 屈服强度。在材料变形的某个阶段,不需要进一步增大外力,试样仍会继续产生塑性变形,这种现象称为屈服,屈服时的应力称为屈服强度 σ_s 。

有些材料在拉伸过程中没有明显的屈服现象发生,可用试样产生0.2%塑性变形时的应力作为屈服强度,用 $\sigma_{0.2}$ 表示,称为条件屈服强度。

3) 抗拉强度。材料断裂前能承受的最大应力,称为抗拉强度。

(2) 塑性。当外力增加到一定程度时,物体发生的变形不能完全消失而一部分被保留下来,所保留的变形称为塑性变形或残余变形。材料在外力作用下产生永久变形而不被破坏的

能力,称为塑性。塑性通常用伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 表示。

$$\delta = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 L ——试样拉断后的标距长度;

L_0 ——试样原始标距长度。

$$\psi = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100\%$$

式中 A ——试样拉断后的截面积;

A_0 ——试样原始截面积。

(3) 硬度。硬度是指材料抵抗局部塑性变形的能力,即抵抗硬物压入或划伤的能力。常用的测定方法有布氏硬度(HB)、洛氏硬度(HR)、维氏硬度(HV)。

1) 布氏硬度。布氏硬度是用一定直径的钢球或硬质合金球,以相应的试验力压入试样表面,保持一定时间后,卸除试验力,在试样表面得到直径为 d 的压痕直径,用试验力除以压痕表面积所得的值即为布氏硬度值,用HB表示。当压头为淬火钢球时,布氏硬度以HBS表示,适合于测定布氏硬度在450以下的材料;当压头为硬质合金时,以HBW表示,适合于测定布氏硬度值在450以上的材料,最高可测650HBW。

布氏硬度测量压痕面积较大,能反映出较大范围内被测金属的平均硬度,故试验结果比较准确,适于测量组织粗大且不均匀的金属材料,如铸铁、铸钢、非铁金属材料及各种退火、正火或调质处理后的钢材等毛坯或半成品的硬度。不适合测试成品或薄片金属的硬度。

2) 洛氏硬度。将顶角为 120° 的金刚石圆锥体,或直径为1.588mm的淬火钢球,在初载荷的作用下压入金属表面;使压头与试样表面紧密接触,再加主载荷;用主载荷作用下试样产生塑性变形的压痕深度作为材料硬度值的依据,经过一定转换便可获得硬度值,用HR表示。其硬度值可直接由刻度盘上的指针指示出来。

3) 维氏硬度。维氏硬度测量原理和布氏硬度基本相同。将顶角为 136° 的正四棱锥金刚石压头,在载荷的作用下压入试件表面;保持一定的时间后,卸除载荷;测量压痕两对角线长度求其平均值,用于计算压痕表面积。单位压痕表面积所承受的试验力定为维氏硬度值,用HV表示,单位为 kgf/mm^2 。维氏硬度值不需要计算,可根据压痕两个对角线长度的平均值查表得到,如果硬度计带有计算系统,可直接得出硬度值。

(4) 冲击韧性。以较高速度施加到零件上的载荷,称为冲击载荷。冲床的冲头、锻锤的锤杆、飞机的起落架等,在工作过程中都受到冲击载荷的作用。材料在冲击载荷作用下抵抗破坏的能力,称为冲击韧性。

(5) 疲劳强度。疲劳强度又称疲劳极限,是指材料经无数次交变载荷作用而不断裂的最大应力值,其应力呈对称循环时,疲劳强度用 σ_{-1} 表示。

疲劳断裂前无明显的塑性变形,很难事先察觉到,断裂突然发生,断裂时应力很低,大多低于 σ_s ,属于低应力脆断。因此,疲劳断裂具有较大的危险性。疲劳断裂是由疲劳裂纹产生、扩展、瞬时断裂三个阶段组成的,断口一般由裂纹扩展区和呈纤维状的瞬时断裂区组成。

提高疲劳极限的途径主要如下:在零件结构设计中尽量避免尖角、缺口和截面突变,以免产生应力集中而由此产生疲劳裂纹;提高零件表面加工质量,减少疲劳源;采用各种表面强化处理等。

2. 物理、化学性能

(1) 物理性能。工程材料的主要物理性能包括密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性、磁性等。由于机械零件的用途不同,对于材料物理性能的要求也不同。例如,飞机、火箭材料选用密度小的铝合金可减轻约 $1/3$ 的重量,喷气发动机的燃烧室需用高熔点的合金来制造。

工程材料的物理性能对加工工艺也有一定的影响。例如,熔点是制订热加工工艺的主要依据;导热性差的钢,进行锻造或热处理时,加热速度应慢一些,以免过大的内应力引起裂纹;热膨胀性也是制订热加工工艺应考虑的因素。

(2) 化学性能。工程材料的化学性能是指它们在室温或高温时抵抗各种介质化学侵蚀的能力,主要包括耐腐蚀性、抗氧化性等。

在腐蚀介质中或在高温下工作的零件,其材料的选择要在满足机械性能和物理性能的前提下,注意材料的化学性能。例如,在各种化工设备和医疗器械中,不锈钢得到了广泛应用。

3. 工艺性能

工艺性能是指材料在加工过程中表现出来的对各种工艺的适应能力,是工程材料力学性能、物理性能和化学性能的综合。工艺性能包括铸造性能、压力加工性能、焊接性能、切削加工性能等。工艺性能对零件的加工质量和生产成本有很大的影响,所以在设计零件和选择加工工艺时,都必须考虑材料的工艺性能。

1.2 金属材料基本知识

1.2.1 金属的晶体结构

1. 晶体

根据原子排列的特征,固态物质可分为晶体和非晶体两类。物质的原子本身沿三维空间按一定几何规律重复排列,这种物质称为晶体。原子规则排列的方式称为晶体结构。晶体有固定的熔点,并具有各向异性的特性。晶体结构如图 1-2 所示。

2. 晶格

抽象的、用于描述原子在晶体中排列形式的几何空间格架,称为晶格。从晶格中选取一个能够完全反映晶格特征的最小几何单元来分析晶体中原子排列的规律性,这个最小的几何单元称为晶胞。晶胞的形状和大小可用晶格常数来表示。

金属在固态下通常都是晶体,金属中常见的晶格有体心立方晶格和面心立方晶格。

体心立方晶格如图 1-3 所示,属于这类晶格类型的金属有 α -Fe、Cr、W、Mo 等。

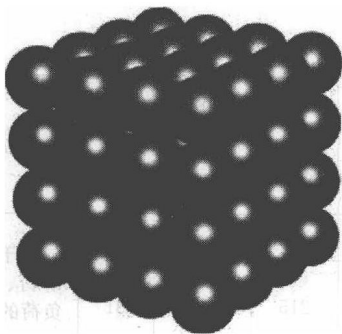


图 1-2 晶体结构

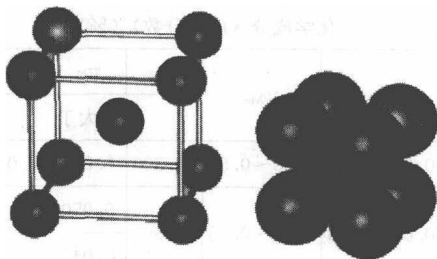


图 1-3 体心立方晶格示意图

续表

牌号	等级	化学成分（质量分数）（%）					脱氧方法	拉伸试验			应用举例
		w_C	w_{Mn}	w_{Si}	w_S	w_P		σ_s (MPa)	σ_b (MPa)	σ (%)	
				不大于							
Q235	A	0.14~0.22	0.30~0.65	0.30	0.050	0.045	F, B, Z	235	375~460	26	用于制造小轴、 拉杆、连杆、螺栓、螺母、法兰等 不太重要的零件
	B	0.12~0.20	0.30~0.70		0.045						
	C	≤ 0.18	0.35~0.80	0.30	0.040	0.040	Z, TZ				
	D	≤ 0.17			0.035	0.035					
Q255	A	0.18~0.28	0.40~0.70	0.30	0.050	0.045	Z	255	410~510	24	用于制造拉杆、 连杆、转轴、心轴、齿轮、键等
	B				0.045						
Q275	—	0.28~0.38	0.50~0.80	0.35	0.050	0.045	Z	275	490~610	20	

(2) 优质碳素结构钢。优质碳素结构钢平均含碳量为 0.05%~0.90%，硫、磷含量较低。优质碳素结构钢牌号用两位数字表示，代表钢中平均含碳量的万分数。较高含锰量的优质碳素结构钢，在两位数字后面加锰的元素符号。高级优质碳素结构钢，在牌号后加字母 A。

优质碳素结构钢按含碳量可分为三类：低碳钢、中碳钢和高碳钢。08~25 钢属于低碳钢，其塑性、韧性和焊接性能都较好，常用于冲压件、渗碳件、焊接件等；30~55 钢属于中碳钢，调质后具有优良的综合机械性能，常用于制造齿轮、连杆和轴类零件；60~85 属于高碳钢，其强度和硬度较高，经过淬火和中温回火后具有较高的弹性，常用于制造弹性元件，也可用于制造一些要求耐磨的零件，如轧辊、钢丝等。

(3) 碳素工具钢。碳素工具钢属于高碳钢，平均含碳量为 0.7%~1.3%，硫、磷含量较低，属于优质钢。碳素工具钢的牌号用字母 T 加数字表示，如 T7、T8、T10 等。其中，T 表示“碳”，数字表示含碳量的千分数。

碳素工具钢淬火并低温回火后，具有很高的硬度和耐磨性，但其淬透性和红硬性较差，所以常用于制造低速切削的刀具（如丝锥、板牙、锉刀、钻头等）。碳素工具钢也可用于制造精度要求不高的量具、受力不大的模具等。

3. 合金钢

在钢中加入某些合金元素后，可以改善钢的性能，还可使其具有某些特殊的性能。加入合金元素的钢称为合金钢。

合金钢可分为合金结构钢、合金工具钢和特殊性能钢三大类。

合金结构钢的牌号表示方法是：数字+元素符号+数字。前面的数字表示钢中平均含碳量的万分数，后面的数字表示所加合金元素平均含量的百分数。当合金元素的平均含量小于 1.5% 时，合金元素符号后面不标数字。如果钢中加入多种元素，则依次予以标明。如果是高级优质钢，则在牌号后面加字母 A。合金结构钢的机械性能和淬透性均优于碳素结构钢，主要用于制造机械零件和重要的工程构件。

合金工具钢的牌号与合金结构钢类似，只是前面的数字表示含碳量的千分数，当含碳量大于 1% 时，不予标出。合金工具钢用于制造刀具、模具、量具等。

1.3 毛坯的选择

毛坯的选择包括毛坯的材料、类型和具体生产方法的选择。正确选择毛坯,对毛坯质量、成本都有很大影响。毛坯的选择是一个系统工程,受多方面因素的制约。

1.3.1 毛坯的选择原则

机械制造中常用的毛坯有型材、铸件、锻件、冲压件、焊件、粉末冶金件、塑料件等。毛坯材料和毛坯类型的选择有着密切的关系。材料选定以后,选择毛坯种类及其加工方法时应注意以下几个原则。

1. 工艺性原则

材料的工艺性是选择毛坯首先要考虑的问题。要考虑各种毛坯生产方法所能适用的材料。例如,多数铸造合金性脆,不易变形,锻造性能不好,可以用铸造但不能用压力加工方法进行毛坯生产。碳钢主要用于锻造生产,但其中许多牌号也有较好的铸造性能。

每一种毛坯生产方法都有多种材料可供选择。这时就应在满足机械性能要求的前提下,根据材料工艺性能的好坏来选择。

2. 满足零件的使用性能要求

零件的使用性能要求包括对零件形状和尺寸的要求及工作条件对零件性能的要求。工作条件通常指零件的受力状况、工作温度、接触介质等。所以,对零件的使用性能要求也就是对其外部和内部质量的要求。

(1) 不同类型零件毛坯的选择。各种零件具有不同的形状、结构和尺寸,应选择各自合理的毛坯生产方法。通常,质量超过 100kg 的大型毛坯,采用砂型铸造、自由锻造和拼焊这三种制造方法。常用的各种阶梯轴,如果各台阶直径相差不大,则可直接采用圆棒料;如果各台阶直径相差较大,为节约材料和减少机械加工量,宜选择锻造方法生产毛坯。各种箱体中,多孔或内腔形状复杂的只有采用砂型铸造;内腔较简单的大型箱体,可用中厚钢板焊接。形状比较简单的大型零件,当机械性能要求较高时,可采用自由锻造毛坯;当质量超过 1.5t 时,则需用水压机进行锻造。

(2) 不同类型零件毛坯内在质量的选择。铸件由高温液体凝固后,通常都得到粗晶组织。铸件断面越大,中心组织的晶体也越粗大,内部还经常出现气孔、夹渣等缺陷,其机械性能低于同材质的锻件。材料经锻造后,其内部空洞缺陷已经压合,粗晶组织全部击碎,从而得到致密的细晶粒组织,使材料的机械性能得到提高。因此,受力较大的重要零件都选择锻造毛坯。焊接结构由于主要使用轧材并配合使用锻坯和铸坯装配焊成,所以焊坯的内在质量也很高。

(3) 从工作条件考虑零件毛坯的选择。在不同条件下工作的零件,对材料使用性能的要求不同,需选用不同的材料。材料的工艺性能直接影响毛坯生产方法的选择。

3. 降低制造成本

影响毛坯生产成本的因素很多。一般,产品的生产成本是由产品的车间成本和所分摊的企业管理费构成的。车间成本包括直接用于产品生产的原料、材料、外购件、燃料、动力等费用,以及工人工资,工人附加工资,废品损失率,模具和模型的制造费用,设备折旧、维修费等。在选择毛坯的类型及其具体的制造方法时,通常是在满足零件使用要求的前提下,

将几个可供选择的方案从经济上进行分析比较,从中选择总成本较低的方案。

毛坯的生产成本与批量大小有很大的关系。自由锻件和手工造型砂型铸造只适于单件小批生产。粉末冶金、模锻、压铸等精度较高的毛坯生产,由于模具成本高,设备比较复杂,不适于小批量生产;随着批量增加,每件产品分摊的模具费用将相应减少,产品的总成本也就相应下降。

目前,很多少切削或无切削的毛坯生产方法已得到广泛应用。例如,熔模铸造、压力铸造、粉末冶金、薄板冲压、冷拉型材改制、精密模锻、冷挤压工艺等,已能达到很高的精度,在很多情况下能满足零件的精度要求,可以免去或减少切削加工工时。所以,采用少切削或无切削的毛坯生产方法,既能够节约大量金属材料,又能大大降低切削加工的费用,从而使生产成本显著下降。例如,汽车上的差速齿轮采用精密模锻毛坯后,机械加工量大大减少,使生产率由16件/班增至600件/班,单件成本由17元降至6元,经济效益非常显著。

钢质炮弹头过去一直是用平锻机锻造成形,然后再经过机械加工达到尺寸要求。改用冷挤压工艺以后,省去了机械加工的工序,大大提高了生产率和材料利用率,降低了成本。

采用以焊代铸、以铸代锻、以精冲代替切削加工,也常收到良好的效果。例如,矿车制动闸由铸造毛坯改为焊接毛坯后,节约金属材料40%,节约工时近50%。

综上所述,在分析毛坯制造方法的经济性时,不能只是单纯地比较毛坯本身的制造成本,还要比较毛坯的材料利用率和后续的机械加工成本,才能确定零件总成本最低的最佳毛坯生产方案。

4. 考虑生产条件

根据零件使用要求和制造成本分析所选定的毛坯制造方法,还要考虑本企业毛坯制造的实际工艺水平、设备状况和外协的可能性。只有在需要和可能统一的基础上确定的生产方案才是真正合理的。这也是选择毛坯时必须考虑的一个基本原则。

随着现代工业的发展,产品和零件的生产进一步向专业化方向发展。在进行生产条件分析时,一定要打破自给自足的小生产观念,将视野从本企业、本部门的狭小天地里解放出来,充分考虑外协或外购的可能性。当对外订货的价格低于本厂制造成本,又能满足生产时间要求时,应当向外订货,以降低生产成本。

1.3.2 常用零件结构分析及毛坯选择

常用的机械零件按其形状特征和用途不同可分为轴杆类、盘套类和机架箱体类。这几类零件的结构特征、工作条件和毛坯的一般生产方法如下所述。

1. 轴杆类零件毛坯的选择

轴杆类零件的结构特征是轴向尺寸远大于径向尺寸,常见的有实心轴、空心轴、直轴、弯轴、同心轴、偏心轴、各类管件、杆件等。

轴杆类零件一般都是各种机械中重要的受力和传动零件,工作时承受不同程度的弯矩、扭矩或弯矩和扭矩的联合作用、剪切力等。装轴承和齿轮的轴颈处要求具有较高的硬度和耐磨性,并要求材料具有较高的强度与韧性,即要求综合机械性能较好。最常用的材料是中碳钢(其中以45钢使用最多)进行调质处理。承受重载或冲击载荷以及要求提高轴颈耐磨性的轴杆类零件,多选用合金结构钢,常用的有40Cr、40CrNi、20CrMnTi、30CrMnTi等,经调质处理后具有比碳钢更好的机械性能。某些具有异形断面或弯曲轴线的轴,如凸轮轴、曲轴等可选用QT450-10、QT500-7、QT600-3等球墨铸铁件,以降低制造成本。

一般直径变化不大的光轴可采用圆钢直接切削加工,但大多数轴杆类零件都选择锻件为毛坯。当采用球墨铸铁时,一定是铸件毛坯。在有些情况下,也可采用锻—焊或铸—焊结合的方法制造轴杆类零件毛坯。

2. 盘套类零件毛坯的选择

盘套类零件的结构特征是轴向尺寸小于径向尺寸,或者两个方向的尺寸相差不大。属于这类零件的有各种齿轮、皮带轮、飞轮、模具、联轴节、套环、轴承环等。这类零件在各种机械中有不同的工作条件和使用要求,因此它们所用的材料和毛坯也各不相同。

现以应用广泛的齿轮为例进行分析讨论。齿轮运转时,主要的受力部位是轮齿。齿面上承受很大的接触应力和摩擦力,齿根部分承受较大的弯曲应力,在运转过程中有时还要承受冲击力,且以上应力作用均是交变载荷。其主要失效形式是疲劳破坏、齿根断裂和打断轮齿。这就要求轮齿表面有足够的接触强度和硬度,齿轮本体也要有较好的强度和韧性。根据以上分析,齿轮一般应选用具有良好综合机械性能的 40、45 中碳结构钢制造,采用正火或调质热处理工艺。承受较大冲击载荷的重要齿轮可选用 20Cr、18CrMnTi 等合金渗碳钢,进行渗碳或氮化处理,或选用 40Cr、35SiMn、42SiMn 等材料进行调质处理。对于形状简单、直径小于 100mm 的低精度、小负荷齿轮,在单件小批量生产的条件下,可用圆钢为毛坯;形状简单但精度要求较高、负荷较重的中小型齿轮,单件小批量生产可选用自由锻锻坯,大批量生产可选用模锻锻坯。结构复杂的大型齿轮(直径 400mm 以上),可用铸钢或球墨铸铁件作为毛坯;在单件生产的条件下,也可以焊接方式制造大型齿轮的齿坯。低速运转、受力不大或者在多粉尘的环境下开式运转的齿轮,也可用灰铸铁件作毛坯。低噪声、小负荷和高速运转的齿轮,常选用铜、铝、塑料、夹布胶木等材料,采用棒料,挤压、冲压或压铸毛坯。

皮带轮、飞轮、手轮、垫块等受力不大或承压的零件,通常采用 HT200、HT150 等灰铸铁件;单件生产时也可采用低碳钢焊接件。

法兰、套环、垫圈等零件,根据受力情况、形状、尺寸等,可分别选用铸铁件、锻坯或圆钢作为毛坯;厚度小于 40mm、单件小批量生产的条件下,也可直接用钢板下料。

各种模具毛坯多采用合金钢锻件。热锻模多采用 5CrNiMo、5CrMnMo 等,并经淬火和中温回火处理。冲压模多采用 Cr12、CrNiMoV 等,经淬火和低温回火处理。

3. 机架箱体类零件毛坯的选择

这类零件包括各种机械的机身、底座、支架、横梁、工作台、齿轮箱、轴承座、阀体、泵体等。其结构特征是:形状不规则,结构比较复杂,质量从几千克直至数十吨;工件条件相差很大,受力状态一般以承压为主,有些同时承受压、拉和弯曲应力的联合作用,还有些承受冲击载荷作用和摩擦力作用,多要求具有良好的刚度、密封性和减振性。对于工作台和导轨,还要求具有较好的耐磨性。

根据这类零件的结构特征和使用要求,通常都以铸铁件(如 HT200、HT150 等)为毛坯;受力复杂或受较大冲击载荷的零件,则以铸钢件为毛坯;在单件生产时,还可采用焊接件为毛坯。

第2章 钢的热处理

钢的热处理是采用适当的方式对钢进行加热、保温和冷却,以获得所需组织和性能的工艺。其基本过程分为加热、保温和冷却三个阶段。

热处理工艺种类繁多,根据加热、冷却方式的不同及组织、性能变化特点的不同,热处理可以分为普通热处理(包括退火、正火、淬火和回火)和表面热处理(包括表面淬火和表面化学热处理)。

在机械零件的加工过程中,热处理可以是初始工序或中间工序,用于改善材料的加工工艺性能;也可以是最终工序,用以改善零件的使用性能。

2.1 钢的热处理工艺

2.1.1 钢的整体热处理

对工件整体进行穿透加热的热处理工艺,称为整体热处理。整体热处理包括退火、正火、淬火和回火。

在工业生产中,热处理的主要目的有两个。

(1) 消除前道工序产生的某些缺陷,改善钢材的工艺性能,确保后续加工顺利进行。这种热处理,称为预先热处理,常用的有退火、正火等。

(2) 提高零件或工模具的使用性能,铸造或锻造→退火或正火→机械(粗)加工→淬火+回火(或表面热处理)→机械(精)加工等工序。其中,淬火+回火工序就是为了满足工件使用要求而进行的最终热处理;而安排在铸造或锻造之后、机械(粗)加工之前的退火或正火工序,就是预先热处理。

通过适当的热处理可以显著提高钢的力学性能,充分发挥钢材的性能潜力,保证零件的内在质量,延长零件的使用寿命。恰当的热处理工艺可以消除铸、锻、焊件等的某些缺陷,改善其工艺性能。因此,热处理在现代工业中占有重要的地位。例如,在机床制造中,60%~70%的零件需经热处理;在汽车、拖拉机制造中,70%~80%的零件都要经过热处理;而对于工具、量具、模具和滚动轴承等,则100%需要进行热处理。

1. 退火

退火是将钢件加热到适当温度,保持一定时间,然后缓慢冷却以获得接近平衡状态组织的热处理工艺。根据钢的成分、退火工艺与目的的不同,退火常分为完全退火、等温退火、球化退火、去应力退火等。

(1) 完全退火。

工艺特点:完全退火又称重结晶退火,是将钢加热至 A_{c1} 以上 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$,保温一定时间后缓慢冷却(随炉冷却),以获得接近平衡组织的热处理工艺,亚共析钢经完全退火后得到的组织是F+P(铁素体+珠光体)。

目的:零件的毛坯不是铸件就是锻件。铸造或锻造之后,工件中不仅存在残余应力,而

且往往出现一些组织缺陷,如锻钢件中魏氏组织、带状组织、晶粒粗大等,这些都会使钢件的性能降低,淬火时易产生变形和开裂。进行完全退火,通过完全重结晶,使热加工造成的粗大、不均匀的组织均匀化和细化,以提高性能,降低硬度,改善切削加工性能,消除内应力。

应用:主要用于 $w_C > 0.25\%$ 的亚共析钢。而 $w_C \leq 0.25\%$ 的亚共析钢,铁素体较多,退火的硬度低于 160HBS,不利于切削加工。

(2) 球化退火。

工艺特点:球化退火是将过共析钢或共析钢件加热至 A_{c1} 以上 $20 \sim 30^\circ\text{C}$,保温一定时间,然后随炉缓冷至室温,或者在略低于 A_{r1} 的温度下保温之后再出炉空冷的退火工艺。

目的:过共析钢和合金工具钢热加工后,组织中常出现粗片状珠光体和网状渗碳体,增加了钢的硬度和脆性,使切削加工性能变坏,且淬火时易产生变形和开裂。为了消除过共析钢的这些缺陷,在热加工之后,必须进行一次球化退火,使网状二次渗碳体和珠光体中的片层状渗碳体都变为球状(或粒状)。这种在铁素体基体上均匀分布着球状(粒状)渗碳体的组织称为球状P体。其硬度远较片层状珠光体和网状渗碳体组织的硬度低。例如,T10钢经球化退火后,硬度由 $255 \sim 321\text{HBS}$ 降到 $\leq 197\text{HBS}$ 。为了便于球化过程的进行,对于网状渗碳体较严重的钢件,可在球化退火之前先进行一次正火处理,以消除网状渗碳体。

应用:共析钢和过共析钢。

(3) 等温退火。

工艺特点:等温退火是将钢件或毛坯加热到高于 A_{c3} (或 A_{c1}) 的温度,保温适当时间后,较快地冷却到珠光体区的某一温度,并等温保持,使奥氏体组织转变为珠光体组织,然后缓慢冷却的热处理工艺。

目的:等温退火的目的与完全退火相同,但转变较易控制,能获得均匀的预期组织;对于奥氏体较稳定的合金钢,可大大缩短退火时间。

应用:大部分钢都可以采用等温退火。

(4) 去应力退火。

工艺特点:去应力退火是将钢件加热至低于 A_{c3} 的某一温度(一般为 $500 \sim 650^\circ\text{C}$)保温,然后随炉冷却,不引起组织变化。

目的和应用:消除铸造、锻造、焊接和机加工、冷变形等冷热加工在工件中造成的残留内应力。

2. 正火

(1) 工艺特点。钢材或钢件加热到 A_{c3} (亚共析钢)和 A_{cm} (过共析钢)以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$,保温适当时间后,在空气中冷却的热处理工艺称为正火。正火后的组织:亚共析钢为 $F+S$,共析钢为 S ,过共析钢为 $S+Fe_3C_{II}$ 。

正火与完全退火的主要差别在于正火冷却速度快些。

(2) 目的。正火的目的与退火相同。

(3) 应用。正火一般应用于以下几个方面。

1) 作为最终热处理。正火可以细化晶粒,使组织均匀化,减少亚共析钢中铁素体含量,使珠光体含量增多并细化,从而提高钢的强度、硬度和韧性。对于普通结构钢零件,机械性能要求不是很高时,可以正火作为最终热处理。

2) 作为预先热处理。对于部分中碳结构钢件, 在淬火或调质处理 (淬火加高温回火) 前常进行正火, 以消除魏氏组织和带状组织, 并获得细小而均匀的组织。对于过共析钢可减少二次渗碳体量, 并使其不形成连续网状, 为球化退火作组织准备。

3) 改善切削加工性能。低碳钢或低碳合金钢退火后硬度太低, 不便于切削加工。正火可提高其硬度, 改善其切削加工性能。

综上所述, 退火或正火的主要目的大致可归纳为如下几点。

(1) 调整钢件硬度, 以利于随后的切削加工。经适当退火或正火处理后, 一般钢件的硬度在 160~230HBS 之间, 这是最适合切削加工的硬度。

(2) 消除残余应力, 以稳定钢件尺寸, 并防止其变形和开裂。

(3) 使化学成分均匀, 细化晶粒, 改善组织, 提高钢的力学性能和工艺性能。

(4) 为最终热处理 (淬火、回火) 作好组织上的准备。

退火和正火通常作为预先热处理。对于低碳钢和低碳合金钢一定要选用正火; 中碳钢在选用正火与退火都可以时, 优先选用正火。

3. 淬火

将钢加热到相变温度以上, 保温一定时间, 然后快速冷却以获得马氏体 (M) 或下贝氏体 (B) 组织的热处理工艺称为淬火。淬火是钢最重要的强化方法, 目的是提高强度、硬度和耐磨性。

(1) 淬火加热温度。钢的淬火加热温度应根据 Fe-Fe₃C 相图选择, 如图 2-1 所示。亚共析钢加热到 Ac₃ 以上 30~50℃, 过共析钢加热到 Ac₁ 以上 30~50℃。亚共析钢加热到 Ac₃ 以下时, 淬火组织中会保留自由铁素体, 使钢的硬度降低。过共析钢加热到 Ac₁ 以上两相区时, 组织中会保留少量二次渗碳体, 有利于钢的硬度和耐磨性。并且, 由于降低了奥氏体 (A) 中碳的质量分数, 可以改变马氏体的形态, 从而降低马氏体的脆性。此外, 还可减少淬火后残余奥氏体的含量。若淬火温度太高, 会形成粗大的马氏体, 使机械性能恶化; 同时也增大淬火应力, 使变形和开裂倾向增大。

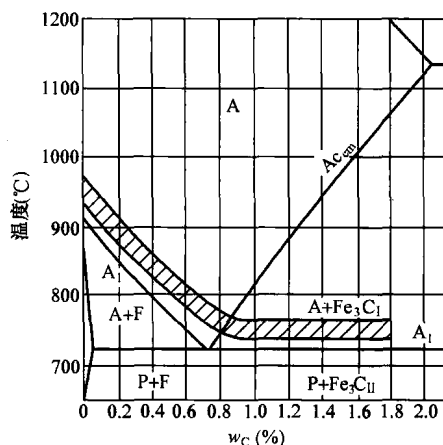


图 2-1 钢的淬火温度范围

(2) 淬火冷却。淬火冷却时, 要保证获得马氏体组织, 必须使奥氏体以大于马氏体临界冷却速度冷却, 而快速冷却又会产生很大的淬火应力, 导致钢件的变形与开裂。因此, 淬火工艺中最重要的是既要获得马氏体组织, 又要减小变形、防止开裂。为此, 合理选择冷却介质和冷却方法是十分重要的。

从过冷奥氏体等温转变曲线示意图可以看出, 过冷奥氏体在不同温度区间的稳定性不同, 在 400~600℃温度区间过冷奥氏体最不稳定, 淬火时应当快冷, 避免发生珠光体或贝氏体转变, 保证获得马氏体组织。而此温度范围以上或以下的区域都可以慢些冷却, 减少淬火应力, 减小工件淬火变形和防止开裂, 特别是在 M_s 点附近温度区间, 过冷奥氏体比较稳定, 应当缓慢冷却。所以, 理想淬火冷却曲线如图 2-2 所示。

实际生产中, 使用的冷却介质较多。到目前为止, 尚未找到一种介质能完全符合理想淬

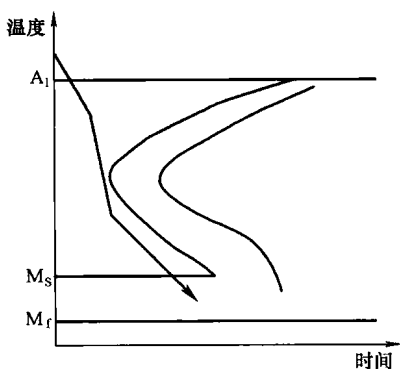


图 2-2 理想淬火冷却曲线

火冷却速度的要求。目前，应用最广泛的淬火冷却介质是水和油。水具有较强的冷却能力，最适宜用作奥氏体稳定性较小的碳钢的淬火冷却介质。另外，油的冷却能力比水小，因此，生产中用油作冷却介质，只适用于过冷奥氏体稳定性较大的合金钢淬火。

(3) 常用的淬火方法。单从冷却介质入手，使淬火冷却达到理想淬火冷却速度到目前为止尚未解决，为了保证淬火质量，防止变形与开裂，必须采取正确的淬火冷却方法。

常用的淬火方法有单液、双液、分级和等温淬火法。

单介质淬火法采用一种介质冷却，操作简单，易实现机械化，应用较广。缺点是水淬变形开裂倾向大；油淬冷却速度小，淬透直径小，大件淬不硬。

双介质淬火法和分级淬火能有效地减少热应力和相变应力，降低工件变形和开裂的倾向，所以可用于形状复杂和截面不均匀工件的淬火。

等温淬火大大降低了钢件的内应力，减小变形，用于处理复杂和精度要求高的小件，如弹簧、螺栓、小齿轮、轴、丝锥等，也可用于高合金钢较大截面零件的淬火。其缺点是生产周期长、生产效率低。

4. 回火

回火是将经过淬火的零件重新加热到低于 A_{c1} 的某一温度，适当保温后，冷却到室温的热处理工艺。

(1) 回火目的。钢在淬火后一般很少直接使用，因为淬火后的组织是马氏体和残余奥氏体，并且有内应力产生，马氏体虽然强度和硬度高，但塑性差，脆性大，在内应力作用下容易产生变形和开裂；此外，淬火后组织是不稳定的，在室温下就能缓慢分解，产生体积变化而导致工件变形。因此，淬火后的零件必须进行回火才能使用。回火的目的有以下几个。

- 1) 消除或降低内应力，降低脆性，防止变形和开裂。
- 2) 稳定组织、尺寸和形状，保证零件使用精度和性能。
- 3) 通过不同回火方法，来调整零件的强度和硬度，获得所需要的韧性和塑性。

钢回火后的性能：随着回火温度升高，硬度下降，塑性和韧性提高。

(2) 回火工艺及应用。钢经过淬火回火后的组织和性能取决于回火温度，根据回火温度的不同，回火方法主要有以下三种。

1) 低温回火。低温回火温度范围为 $150\sim 250^{\circ}\text{C}$ ，回火后的组织为回火马氏体，硬度为 HRC55~64。低温回火的主要目的是降低钢的淬火应力和脆性，并保持其高硬度和高耐磨性，适用于刀具、量具、模具、滚动轴承及渗碳、表面淬火的零件。

2) 中温回火。中温回火温度范围为 $350\sim 500^{\circ}\text{C}$ ，回火后的组织为回火屈氏体，硬度为 HRC35~45。中温回火的目的是获得高的弹性极限和屈服强度，并具有一定的韧性和抗疲劳能力，适用于各种弹簧、锻模等。

3) 高温回火。高温回火温度范围为 $500\sim 650^{\circ}\text{C}$ ，回火后的组织为回火索氏体，硬度为 HRC25~35。高温回火的目的是获得较高的强度及较好的塑性和韧性，广泛适用于处理各