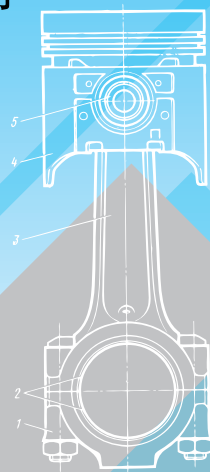


高等职业教育机械系列精品教材

▶ “互联网+” 创新型教材



机械基础

主 编 代礼前 李东和
副主编 夏伯融 杨敬娜
王 伟



北京邮电大学出版社
www. buptpress. com

内 容 简 介

本教材参照了目前高职高专院校专业教学的基本方向,总结近几年教学实践的经验,以培养技术型、技能型人才为目标,以适应新世纪对高职高专院校人才专业知识的要求。本教材主要内容包括机械工程材料,构件的静力分析基础,构件的基本变形,常用机构及传动装置,公差、配合与测量技术以及液压传动等。

本教材供高职高专机电相关专业教学使用,也可作为相关专业技术人员的学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械基础/代礼前,李东和主编. -- 北京:北京邮电大学出版社,2013.12(2023.7重印)
ISBN 978-7-5635-3827-0

I. ①机… II. ①代… ②李… III. ①机械学—高等职业教育—教材 IV. ①TH11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 317958 号

策划编辑:孙承泽 责任编辑:边丽新 封面设计:刘文东

出版发行:北京邮电大学出版社

社 址:北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码:100876

发 行 部:电话:010-62282185 传真:010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销:各地新华书店

印 刷:大厂回族自治县聚鑫印刷有限责任公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:16.5

字 数:408 千字

版 次:2013 年 12 月第 1 版

印 次:2023 年 7 月第 10 次印刷

ISBN 978-7-5635-3827-0

定 价:49.80 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

服务电话:400-615-1233

前言

机械基础是一门以培养学生综合应用能力为旨的特色课程,它将机械工程材料,构件的静力学基础,构件的基本变形,常用机构及传动装置,公差、配合与测量技术,液压传动等多方面的理论基础知识和实践知识有机结合,形成了完整的教学训练系统。

为了适应当前高职高专机械相关专业教学的需要,我们组织一批优秀的高校教师编写了这本《机械基础》教材。

本教材参照了目前高职高专院校专业教学的基本方向,总结近几年教学实践的经验,以培养技术型、技能型人才为目标,以适应新世纪对高职高专院校人才专业知识的要求。希望通过本教材的学习,学生能形成良好的工程意识,更能为后续课程的学习打下坚实的基础,同时也可加强其对工程实际应用的训练,进而锻炼和提高发现问题、分析问题和解决问题的能力,为将来从事专业工作做好准备。

为了提高教学效果,本教材采用任务驱动的模式编写,以提高学生们对知识内容的深入理解和自我的动手能力。

本教材的参考学时安排如下。

课程内容	学时
项目一 机械工程材料	12
项目二 构件的静力分析基础	16
项目三 构件的基本变形	16
项目四 常用机构及传动装置	24
项目五 公差、配合与测量技术	8
项目六 液压传动	4
合计	80

本教材由西安铁路职业技术学院代礼前副教授和辽宁省交通高等专科学校李东和副教授主编,长江职业学院夏伯融、河北软件职业技术学院杨敬娜和大连海洋大学职业技术学院王伟副主编,西安铁路职业技术学院李月辉、冯岩、王美蓉和刘映春,武昌职业学院宋云华以及唐山科技职业技

术学院张宁参加编写工作。全书由代礼前和李东和统稿。

本教材在编写过程中参阅了国内外出版的相关教材和资料,在此对相关作者表示感谢。

由于编者时间和水平有限,书中难免存在疏漏和不妥之处,敬请广大读者和专家批评指正。

编者

任务六 非金属材料	41
任务描述	41
任务分析	41
知识准备	41
一、高分子材料	41
二、陶瓷	43
三、复合材料	43
任务实施	43
思考与练习	43
项目二 构件的静力分析基础	45
学习目标	45
任务一 静力分析基础	45
任务描述	45
任务分析	45
知识准备	46
一、力和力系	46
二、刚体的概念	48
三、平衡与平衡力系	48
四、静力学公理	48
五、约束与约束力	51
六、物体的受力分析与受力图	53
任务实施	55
任务二 平面汇交力系	56
任务描述	56
任务分析	56
知识准备	56
一、力在平面直角坐标系中的 投影	57
二、平面汇交力系的合成与 平衡	58
任务实施	63
任务三 平面力偶系	64
任务描述	64
任务分析	64
知识准备	64

一、平面力对点之矩的概念及 计算	64
二、力偶的概念和性质	66
三、平面力偶系的合成与平衡	67
任务实施	68

任务四 平面任意力系 **69**

任务描述	69
任务分析	69
知识准备	69
一、平面任意力系的简化	70
二、平面任意力系的平衡 方程	73
任务实施	75
思考与练习	76

项目三 构件的基本变形 **79**

学习目标	79
------------	----

任务一 轴向拉伸与压缩 **80**

任务描述	80
任务分析	80
知识准备	80
一、拉伸和压缩的概念	80
二、轴力与轴力图	81
三、轴向横截面上的应力与 变形计算	83
四、拉(压)杆的强度计算	86
任务实施	87

任务二 剪切与挤压 **88**

任务描述	88
任务分析	88
知识准备	88
一、剪切	88
二、挤压	89
任务实施	89

任务三 圆轴扭转 **90**

任务描述	90
------------	----

任务分析	90	二、含有一个移动副的平面 四杆机构	130
知识准备	90	三、平面四杆机构的特性	133
一、扭转的概念	90	任务实施	137
二、扭转内力——扭矩和 扭矩图	91	任务三 传动装置	137
三、圆轴扭转时的应力与强度 条件	94	任务描述	137
四、圆轴扭转变形与刚度 计算	95	任务分析	137
任务实施	96	知识准备	137
任务四 直梁的弯曲	97	一、凸轮机构	137
任务描述	97	二、带传动	143
任务分析	97	三、链传动	160
知识准备	97	四、齿轮传动	162
一、直梁平面弯曲的概念	97	任务实施	175
二、梁的弯曲内力	98	任务四 轮系与减速器	176
三、梁弯曲时的强度计算	102	任务描述	176
四、梁弯曲时的刚度条件	105	任务分析	176
任务实施	105	知识准备	176
思考与练习	106	一、轮系的类型	176
项目四 常用机构及传动装置	109	二、轮系的传动比	178
学习目标	109	三、轮系的功用	183
任务一 机构的结构分析	110	四、减速器	185
任务描述	110	任务实施	188
任务分析	110	任务五 支承零部件	188
知识准备	111	任务描述	188
一、运动副及其分类	111	任务分析	188
二、机构的分类	112	知识准备	188
三、平面机构运动简图	113	一、轴	188
四、平面机构的自由度	116	二、轴承	195
五、平面机构的运动分析	122	任务实施	203
任务实施	125	思考与练习	203
任务二 平面连杆机构	126	项目五 公差、配合与测量技术	208
任务描述	126	学习目标	208
任务分析	126	任务一 公差与配合概述	208
知识准备	126	任务描述	208
一、铰链四杆机构	127	任务分析	208
		知识准备	209

一、互换性	209	任务一 液压传动的基本知识	230
二、标准和标准化	209	任务描述	230
三、公差与配合的基本术语及 定义	209	任务分析	231
四、公差与配合标准的基本 知识	214	知识准备	231
任务实施	219	一、液压传动系统的组成	231
任务二 计量器具与测量方法	220	二、液压传动系统的图形 符号	231
任务描述	220	三、液压传动系统的特点及 应用	232
任务分析	220	任务实施	233
知识准备	220	任务二 液压元件	233
一、长度基准	220	任务描述	233
二、计量器具	221	任务分析	234
三、常用量具的使用	221	知识准备	234
任务实施	223	一、动力元件	234
任务三 几何公差	223	二、执行元件	237
任务描述	223	三、控制元件	239
任务分析	224	四、辅助元件	247
知识准备	224	五、传动介质	248
一、几何要素的概念及其 分类	224	任务实施	248
二、几何公差及几何 公差带	225	任务三 液压基本回路	249
三、几何公差的项目及其 符号	226	任务描述	249
四、几何公差的框格和基准 符号	226	任务分析	249
任务实施	228	知识准备	249
思考与练习	228	一、方向控制回路	249
项目六 液压传动	230	二、压力控制回路	251
学习目标	230	三、速度控制回路	253
		任务实施	256
		思考与练习	256
		参考文献	258



学习目标

- 了解常见金属材料的力学性能；
- 了解金属材料的晶体结构及相图分析；
- 掌握材料的普通热处理及其工艺的基本知识；
- 了解常见工程材料的分类及选用方法。

纵观人类文明史,从某种意义上说就是一部人类认识材料和使用材料的发展史。从远古到现代,人类社会经历了石器时代、陶器时代、青铜时代、铁器时代,目前又进入人工合成材料的新时代。新材料、新工艺、生物工程和计算机技术被称为代表科技前沿发展水平的重要标志。

材料的品种、数量和科技水平已经成为衡量一个国家科技水平和国民经济水平以及国防力量的重要标志。

在机械工程中使用最多的是金属材料(约占80%以上),此外还有有机高分子材料(如橡胶、塑料、合成纤维等)、陶瓷材料和复合材料等。由于金属材料品种多、性能各异,还可以通过不同的加工方法(如热处理),使其某些性能获得进一步的改善,因而得到广泛的应用。金属材料是现代工业、农业、国防和科学技术领域不可缺少的重要材料。

任务一 金属材料的力学性能



任务描述

灰铸铁制造的缸体应该用何种方法测试其硬度? 试阐述该方法的原理与方法。



任务分析

灰铸铁属于金属材料,而其硬度属于力学性能指标之一。因此,要完成该任务,首先要了解金属材料的力学性能,并掌握各项性能测试的方法。

知识准备

金属材料是指由金属元素或以金属元素为主要元素构成,并具有金属特性的工程材料,通常分为黑色金属和有色金属两大类。由铁元素或以铁元素为主而形成的金属材料称为黑色金属(俗称钢铁材料),主要有非合金钢、合金钢和铸铁等;除黑色金属以外的其他金属统称为有色金属,如铜、铝、镁、锌等。

为了正确合理地加工和使用材料,充分发挥其性能潜力,以达到提高产品质量的目的,必须掌握金属材料的性能。金属材料的性能包括使用性能和工艺性能两个方面。使用性能又包括力学性能、物理性能和化学性能等,本书主要介绍金属材料的力学性能。

金属材料的力学性能,不仅是设计零件、选择金属材料的重要依据,还是验收、鉴定金属材料性能的重要依据之一。所谓力学性能是指金属材料在外力作用下所表现出来的抵抗力的性能。金属材料的力学性能包括强度、硬度、塑性、冲击韧性和疲劳强度等。

一、强度

强度是指金属材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力。强度越高,金属材料抵抗变形和断裂的能力越强。按所受外力状况不同,强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等,一般情况下以抗拉强度作为最基本的强度指标。

如图 1-1 所示,将一定尺寸和形状的金属试样(即标准试件)装夹在试验机上,在其两端逐渐施加拉伸力,直到把试样拉断为止。根据试样在拉伸过程中承受的拉力和产生的变形量之间的关系,可测出有关的力学性能。

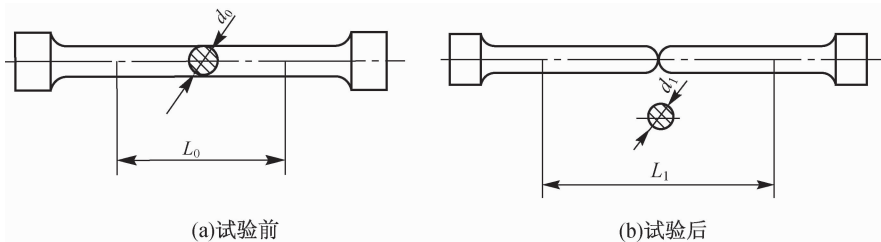


图 1-1 试样的拉伸

在做拉伸试验时,试样在受到缓慢施加的拉力作用下逐渐被拉长,直到试样断裂为止。试验机自动记录载荷与伸长量之间的关系,并得出以载荷为纵坐标、伸长量为横坐标的曲线图形,称为拉伸图或拉伸曲线,如图 1-2 所示。从图 1-2 可以看出,低碳钢试样在拉伸过程中,其载荷与伸长量间的关系可分为弹性变形阶段、屈服阶段、强化阶段和缩颈阶段。

(1)弹性变形阶段。在拉伸的初始阶段,拉伸曲线 Op 为一直线段,它表示载荷与试样伸长量成正比关系。若此时卸除载荷,试样能完全恢复到原来的尺寸。

(2)屈服阶段。当载荷超过一定数值再卸载时,试样的伸长只能部分恢复,而保留一部分残留变形,这种不能随载荷去除而消失的变形称为塑性变形。当载荷继续增加到 F_{el} ,曲

线出现平台或锯齿状线段,此时拉伸力不增加,试样变形却继续增加,这种现象称为屈服。屈服后,材料残留较大的塑性变形。在低碳钢的拉伸曲线中,锯齿下沿对应的载荷 F_{eL} 称为下屈服载荷,锯齿上沿对应的载荷 F_{eH} 称为上屈服载荷。在金属材料中,一般用下屈服载荷 F_{eL} 来计算屈服强度。

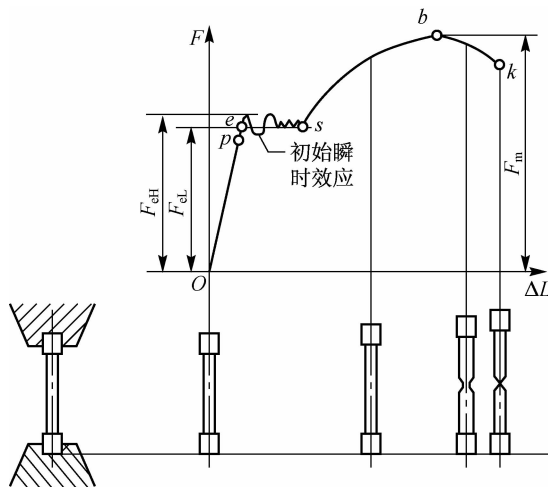


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

(3)强化阶段。屈服阶段以后,要使试样继续伸长,则必须增加载荷。随着继续变形增大,变形抗力也逐渐增大,这种现象称为形变强化(或称为加工硬化)。此阶段的塑性变形是均匀的。

(4)缩颈阶段。当载荷达到最大值 F_m 后,继续拉伸,试样截面会发生局部收缩,称为“缩颈”,这时伸长主要集中于缩颈部位,直至试样断裂。

灰铸铁的拉伸曲线如图 1-3 所示,从图中可以看出,试样从开始拉伸至拉断作用力、变形量都很小,也没有屈服阶段和缩颈阶段。试验证明灰铸铁抗压能力远远大于抗拉能力(约 3~4 倍)。所以以灰铸铁为代表的脆性材料常用作受压构件。

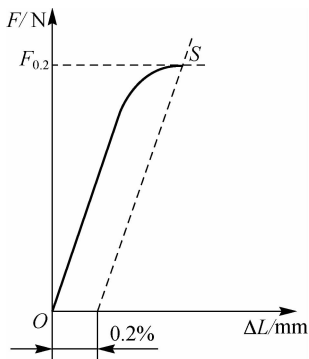


图 1-3 灰铸铁的拉伸曲线

强度指标用载荷来度量,包括屈服强度和抗拉强度。

(1)屈服强度。屈服强度是指金属材料产生屈服时的载荷,分上屈服强度和下屈服强度。下屈服强度用 R_{eL} 表示,即拉伸曲线中 S 点的载荷

$$R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0} \quad (1-1)$$

式中, R_{eL} 为下屈服强度(N/mm² 或 MPa); F_{eL} 为屈服时的最小载荷(N); S_0 为试样的原始横截面积(mm²)。

(2)抗拉强度。抗拉强度是指金属材料在拉断前所承受的最大载荷,即拉伸曲线中 b 点的载荷,用 R_m 表示,即

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad (1-2)$$

式中, R_m 为抗拉强度(N/mm² 或 MPa); F_m 为试样断裂前所承受的最大载荷(N)。

R_{eL}/R_m 的值称为屈强比,是一个很有意义的指标,一般其值为 0.65~0.75。

二、硬度

硬度是指金属材料表面抵抗外部压力的能力,分为布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。硬度值越高,金属材料越硬。只有硬度高的物体才能压入硬度低的物体中,如冲头、凹模等,其硬度一定比被加工金属材料的高,硬度高的物体耐磨性往往比较好。

1. 布氏硬度

(1)测试原理。如图 1-4 所示,使用一定直径的球体,以规定的试验载荷压入试样表面,经规定的保持时间后卸载,通过测量试样表面的压痕直径来计算硬度值。布氏硬度用符号 HBW 表示,计算公式为

$$HBW = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-3)$$

式中, F 为试验载荷(N); D 为硬质合金球的直径(mm); d 为压痕的平均直径(mm)。

金属材料越软,压痕的直径越大,布氏硬度越低。

(2)适用范围。布氏硬度测试主要用于测量灰铸铁、有色金属、各种软钢等硬度不是很高的材料。因压痕较大,布氏硬度测试不适宜检验薄件或成品。

2. 洛氏硬度

(1)测试原理。如图 1-5 所示,以压痕的深度来计算洛氏硬度,用金刚石压头进行测试,先加初载荷 F_0 ,压入深度 h_1 ,以消除试样表面不平而引起的误差;然后再加载荷 F_1 ,在总载荷 F (即 $F_0 + F_1$)的作用下,压入深度为 h_2 ,经规定的保持时间后卸载,由于金属弹性变形的恢复,压头回升到 h_3 ,此时,压痕深度 $h = h_3 - h_1$ 。显然, h 值越大,洛氏硬度越低。根据 h 的大小计算洛氏硬度值,定义每 0.002 mm 相当于一个硬度单位。为适应习惯上数值越大硬度越高的概念,采用 K 减去 $h/0.002$ 来表示洛氏硬度值的大小。洛氏硬度用符号 HR 表

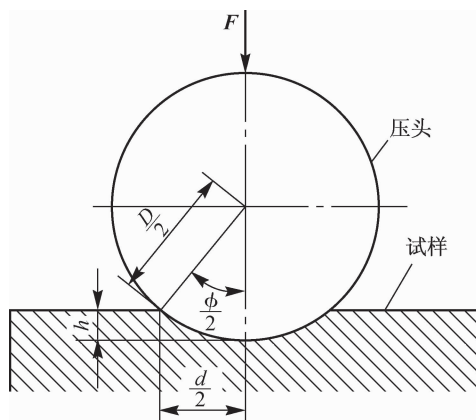


图 1-4 布氏硬度测试原理

示,计算公式为

$$HR = K - \frac{h}{0.002} \quad (1-4)$$

式中, K 为常数, 金刚石取 $K=0.2$, 钢球取 $K=0.26$; h 为压痕深度(mm)。

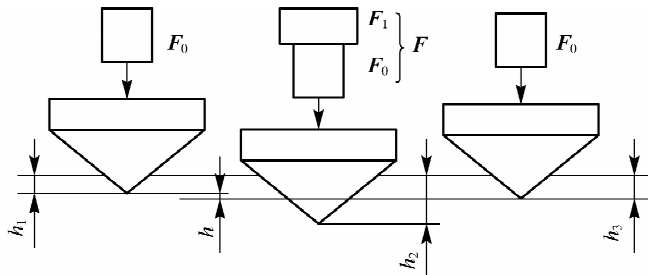


图 1-5 洛氏硬度测试原理

洛氏硬度没有单位,其值可以从洛氏刻度盘上直接读出。

(2)适用范围。我国常用洛氏硬度有 HRA、HRB、HRC 三种,见表 1-1。

表 1-1 常用的三种洛氏硬度的测试条件及适用范围

标尺种类	硬度符号	压头类型	总载荷 F/N	适用范围
A	HRA	120°的金刚石圆锥	588.4	硬质合金,表面淬硬、渗碳、特硬材料等
B	HRB	φ1.588 mm 的钢球	980.7	退火钢、正火钢、有色金属及较软材料等
C	HRC	120°的金刚石圆锥	1 471.1	淬火钢、调质钢等

3. 维氏硬度

(1)测试原理。如图 1-6 所示,采用 136°正棱角锥形金刚石作为试样,载荷 F 的大小可根据试样厚度和其他条件选用,载荷 F 一般可取 10~1 000 N,经规定的保持时间后卸载,用测量压痕对角线的长度来计算。维氏硬度用符号 HV 表示,计算公式为

$$HV = 0.189 \frac{F}{d^2} \quad (1-5)$$

式中, F 为试验载荷(N); d 为压痕两对角线的平均长度(mm)。

(2)适用范围。维氏硬度测试中所加载荷小,压入深度浅,可测量较薄的材料和渗碳层、渗氮层的硬度;因维氏硬度测量范围广,则从很软到很硬的各种金属材料的硬度都可测量,且准确性高。维氏硬度的缺点是测量压痕对角线的长度较复杂,压痕小,对试样的表面质量要求较高。

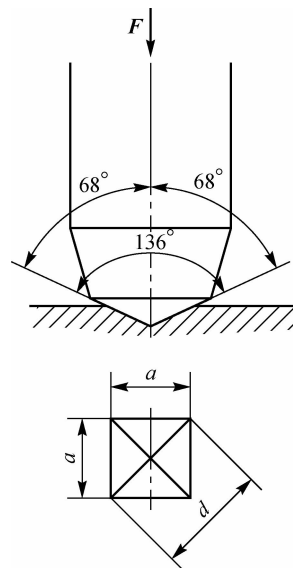


图 1-6 维氏硬度测试原理

三、塑性

塑性是指在外载荷作用下,金属材料断裂前产生永久性变形的能力。常用断后伸长率 A 和断面收缩率 Z 来表示,其计算公式分别为

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% \\ Z &= \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\% \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

式中, A 、 Z 分别为断后伸长率和断面收缩率(%) ; L_0 、 L_u 分别为试样原始标距和试样断裂后的标距(mm) ; S_0 、 S_u 分别为试样原始横截面积和试样断后最小横截面积(mm^2)。

断后伸长率和断面收缩率数值越大, 表明金属材料的塑性越好。良好的塑性对机械零件加工和使用都具有重要意义, 例如, 塑性良好的金属材料易于进行压力加工(如轧制、冲压、锻造等), 如果过载, 金属材料由于产生塑性变形而不致突然断裂, 可以避免事故发生。

四、冲击韧性

冲击韧性是指金属材料抵抗动载荷冲击的能力, 常用摆锤冲击试验来测量。如图 1-7 所示, 将带有缺口的试样安放在支座上, 让摆锤从一定高度 h_1 落下, 将试样冲断, 随后摆锤继续上升至 h_2 , 冲断试样所消耗的功为 $A_k = mg(h_1 - h_2)$ 。冲击韧性值为试样单位截面积所消耗的冲击吸收功, 用符号 a_k 表示, 计算公式为

$$a_k = \frac{A_k}{S} \quad (1-7)$$

式中, A_k 为冲击吸收功(J) ; S 为试样缺口处横截面积(cm^2)。

a_k 越大, 冲击韧性越好, 即金属材料受冲击载荷后不容易断裂。

五、疲劳强度

疲劳强度(又称为疲劳极限)是指金属材料在无限多次交变载荷作用下而不被破坏的最大应力。实际上, 金属材料不可能做无限多次交变载荷试验。一般试验时规定, 钢可经受 10^7 次交变载荷, 有色金属材料可经受 10^8 次交变载荷。

许多机械零件, 如轴、齿轮、轴承、叶片、弹簧等, 在工作过程中各点的应力随时间做周期性的变化, 这种随时间作周期性变化的应力称为交变应力(也称为循环应力)。在交变应力的作用下, 虽然零件所承受的应力低于金属材料的屈服强度, 但经过较长时间的工作后, 金属材料会产生裂纹或突然发生完全断裂的现象, 这种现象称为金属材料的疲劳破坏。

疲劳破坏是机械零件失效的主要原因之一。据统计, 在机械零件失效中大约有 80% 以上是因为疲劳破坏, 且疲劳破坏前没有明显的变形。因此, 疲劳破坏经常造成重大事故。轴、齿轮、轴承、叶片、弹簧等承受交变载荷的零件要选择疲劳强度较好的金属材料来制造。

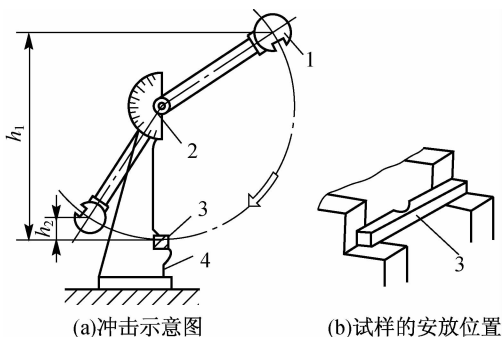


图 1-7 摆锤冲击测试原理

1—摆锤; 2—指针; 3—试样; 4—支座

任务实施

灰铸铁的硬度不是很高, 比较适合用布氏硬度测试。布氏硬度的测试原理是使用一定直径的球体, 以规定的试验载荷压入试样表面, 经规定的保持时间后卸载, 通过测量试样表

面的压痕直径来计算硬度值。

任务二 金属材料的晶体结构及性能

任务描述

大多数的金属制件都是经过熔化、冶炼和浇注而获得的,在这个过程中,如何提高金属的强度、塑性和韧性?

任务分析

要完成此项任务,需要了解金属的晶体结构,了解晶粒大小对金属力学性能的影响以及细化晶粒的措施等。

知识准备

一、金属的晶体结构

1. 晶体与非晶体

固态物质的性能与原子在空间的排列情况有着密切的关系。固态物质按原子排列的特点可分为晶体与非晶体两大类。

凡原子按一定规律排列的固态物质,称为晶体。

2. 晶格、晶胞和晶格常数

晶体内部的原子是按一定的几何规律排列的。如果把金属中的原子近似地看成是刚性的小球,则金属晶体就是刚性小球按一定的几何规律堆积而成的,如图 1-8 所示。

为了形象地表示晶体中原子排列的规律,可以人为地将原子简化为一个质点,再用假想的线将它们连接起来,这样就形成了一个能反映原子排列规律的空间格架,如图 1-9(a)所示。这种抽象的、用于描述原子在晶体中排列方式的空间几何图形称为结晶格子,简称晶格。

由图 1-9(a)可见,晶格是由许多形状、大小相同的几何单元重复堆积而成的。其中能够完整地反映晶体特征的最小几何单元称为晶胞,如图 1-9(b)所示。

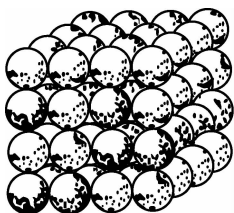


图 1-8 晶体中的原子排列情况

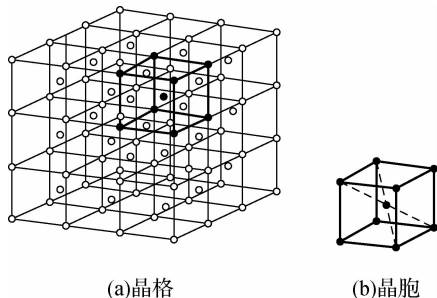
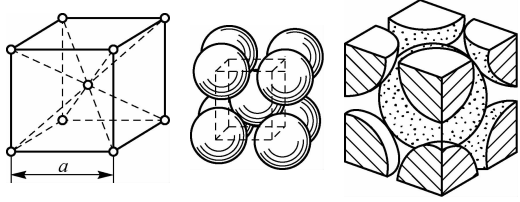
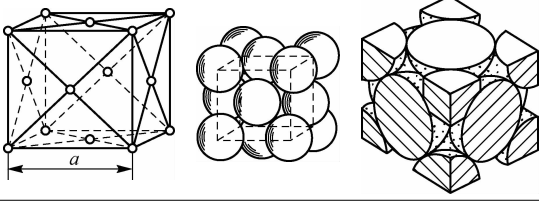
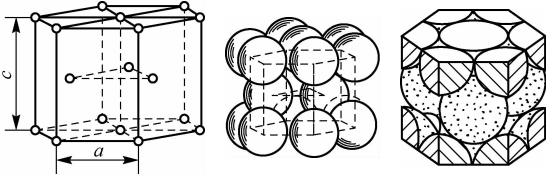


图 1-9 晶格和晶胞示意图

3. 常见金属晶格类型

不同的金属具有不同的晶格类型。研究表明,工业上使用的几十种金属元素中,除少数具有复杂的晶格结构外,绝大多数都具有比较简单的晶格结构。其中最常见晶格结构有三种类型,即体心立方晶格、面心立方晶格、密排六方晶格,它们的结构特点见表 1-2。

表 1-2 常见的三种金属晶格类型

名称	结构特点	晶胞示意图	典型金属
体心立方晶格	晶胞是一个立方体,原子位于立方体的 8 个顶点和立方体的中心		钨 (W)、钼 (Mo)、钒 (V)、铌 (Nb)、钽 (Ta) 及 α 铁 (α -Fe) 等
面心立方晶格	晶胞是一个立方体,原子位于立方体的 8 个顶点和 6 个面的中心		金 (Au)、银 (Ag)、铜 (Cu)、铝 (Al)、铅 (Pb)、镍 (Ni) 及 γ 铁 (γ -Fe) 等
密排六方晶格	晶胞是一个正六棱柱,原子除排列于柱体的每个顶点和上、下两个底面的中心外,正六棱柱的中心还有 3 个原子		镁 (Mg)、铍 (Be)、镉 (Cd)、锌 (Zn) 等

二、纯金属的结晶

大多数的金属制件都是经过熔化、冶炼、浇注而获得的,这种由液态转变为固态的过程称为凝固。通过凝固形成晶体的过程称为结晶。金属结晶形成的铸件组织将直接影响金属的性能。研究金属结晶的目的是掌握金属结晶的基本规律,以便指导实际生产,获得理想的金属组织和性能。

1. 冷却曲线与过冷度

利用图 1-10 所示的装置将纯金属加热到熔化状态,然后缓慢冷却,在冷却过程中,每隔一定时间记录下金属液体的温度,直到结晶完毕为止。这样可得到一系列时间与温度相对应的数据,把这些数据标在时间—温度坐标图中,然后画出一条温度与时间的相关曲线,这条曲线称为纯金属的冷却曲线,如图 1-11 所示。这种绘制金属冷却曲线的方法称为热分析法。

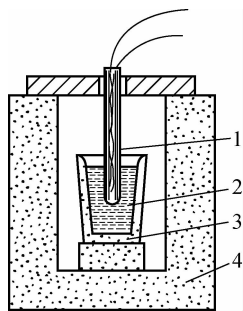


图 1-10 热分析法装置

1—热电偶；2—液态金属；3—坩埚；4—电炉

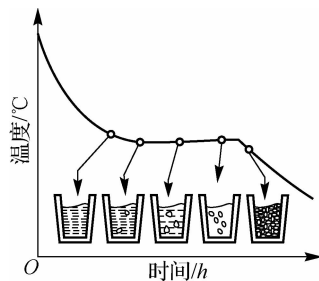


图 1-11 热分析法绘制纯金属冷却曲线

从图 1-11 可以看出,液态金属随着冷却时间的增长,温度不断下降,但当冷却到某一温度时,随着冷却时间的增长其温度并不下降,在冷却曲线上出现一段水平线段,这段水平线段所对应的温度就是纯金属进行结晶的温度。出现水平线段的原因是由于金属结晶时放出的结晶潜热补偿了其向外界散失的热量。

如图 1-12 所示,金属在无限缓慢冷却条件下(即平衡条件下)所测得的结晶温度 t_m 称为理论结晶温度。但在实际生产中,金属由液态结晶为固态时冷却速度是相当快的,金属总是要在理论结晶温度 t_m 以下的某一温度 t_1 才开始进行结晶。温度 t_1 称为实际结晶温度。实际结晶温度 t_1 低于理论结晶温度 t_m 的现象称为过冷。而 t_m 与 t_1 之差 Δt 称为过冷度,即 $\Delta t = t_m - t_1$ 。过冷度并不是一个恒定值,液态金属的冷却速度越大,实际结晶温度 t_1 就越低,即过冷度 Δt 就越大。

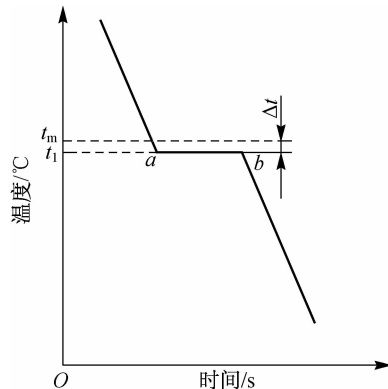


图 1-12 纯金属的冷却曲线

实际上,金属总是在过冷情况下进行结晶的,所以过冷是金属结晶的一个必要条件。

2. 纯金属的结晶过程

在液态金属中,原子的活动能力很强,作不规则运动。随着液态金属温度的不断下降,金属原子的活动能力随之减弱,原子间的吸引作用逐渐增强。当达到结晶温度时,首先在液体的某些区域形成一些极细小的微晶体,称为晶核。随着时间的推移,已形成的晶核不断长大,同时又有新的晶核形成、长大,直到液态金属全部凝固,结晶过程结束,如图 1-13 所示。因此,结晶过程就是不断地形核和晶核不断长大的过程。

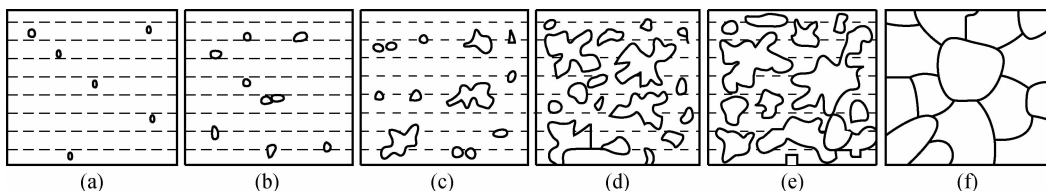


图 1-13 金属结晶过程示意图

3. 结晶后的金属

结晶后的金属是由许多晶粒组成的多晶体,晶粒大小可以用单位体积内的晶粒数目来表示。数目越多,晶粒越小。试验证明,在常温下的细晶粒金属比粗晶粒金属具有更高的强度、塑性和韧性。这是因为晶粒越细,塑性变形越可以分散在更多的晶粒内进行,塑性变形就越均匀,内应力集中越小;而且晶粒越细,晶界就越多,晶粒与晶粒间犬牙交错的机会就越多,彼此就越紧固,强度和韧性就越好。

常用的细化晶粒方法有增加过冷度、变质处理和振动处理等。

(1)增加过冷度。增加过冷度总能使晶粒更细。如在铸造生产中,用金属型比用砂型冷得快,能得到晶粒细化的铸件。但这种方法只适用于中、小铸件,对于大型铸件则需要用其他方法使晶粒细化。

(2)变质处理。浇注前在液态金属中加入一些能促进形核或抑制晶核长大的物质(又称变质剂或孕育剂),使金属晶粒细化,如在钢中加入钛、硼、铝等,在铸铁中加入硅铁、硅钙等,都能起到细化晶粒的作用。

(3)振动处理。在结晶时,对液态金属加以机械振动、超声波振动和电磁振动等,使生长中的枝晶破碎,增加晶核数目,从而有效细化晶粒。

三、合金的晶体结构与结晶

由于纯金属的强度、硬度一般都较低,而且冶炼困难,价格较高,因此,在工业中一般都用合金。人们还可以通过改变合金的化学成分的比例、组织结构得到所需要的力学性能和特殊性能,如耐热性、耐腐蚀性、导磁性等。

1. 合金的基本概念

1) 合金

合金是指两种或两种以上金属元素或金属与非金属元素熔合在一起形成的、具有金属特性的物质,如黄铜是铜和锌组成的合金,钢和生铁是以铁和碳为主的合金。

2) 组元

组成合金最基本的并能独立存在的物质称为组元,简称元。组元可以是金属元素、非金属元素或稳定的化合物。根据合金中组元数目的多少,合金可分为二元合金、三元合金和多元合金。

3) 合金系

由给定组元可以配制成一系列不同合金,组成一个系统,称为合金系。两个组元的称为二元系;三个组元的称为三元系;纯金属只有一个组元,称为单元系。

4) 相

金属或合金中化学成分、晶体结构均相同的组成部分称为相。相与相之间有明显界面。液态合金通常都是单相液体。合金在固态下由一个固相组成时称为单相合金,由两个以上固相组成时称为多相合金,如钢在固态下就是由铁素体和渗碳体两相组成的。

2. 合金的组织

合金是由一种或多种相集合在一起组成的。合金中相的综合体叫做合金组织。在液态

时,大多数合金的组元都能相互溶解,形成一个均匀的液相。在结晶时,由于各组元之间相互作用的不同,固态合金中可能出现固溶体、金属化合物或混合物。

1) 固溶体

合金中一个组元溶解其他组元,或组元间互相溶解而形成的均匀固相称为固溶体。实质上,固溶体是在一种金属的晶格中溶入一些其他合金元素而形成的。晶格保留下来的称为溶剂,晶格消失的称为溶质,固溶体的结构保持溶剂金属的晶格类型。根据溶质原子在溶剂晶格中所处的位置不同,固溶体可分为间隙固溶体和置换固溶体。

(1) 间隙固溶体。溶质原子分布于溶剂晶格间隙之中而形成的固溶体,称为间隙固溶体,其结构示意图如图 1-14(a) 所示。由于溶剂晶格的空隙尺寸很小,故能够形成间隙固溶体的溶质原子与溶剂原子半径的比值小于 0.59 时,才能形成间隙固溶体,如碳、氮、硼等非金属元素溶入铁中形成的固溶体即属于这种类型。由于溶剂晶格的空隙有限,所以间隙固溶体能溶解的溶质原子数量也是有限的。

(2) 置换固溶体。溶质原子置换了溶剂晶格中某些结点位置上的溶剂原子而形成的固溶体,称为置换固溶体,其结构示意图如图 1-14(b) 所示。在置换固溶体中,溶质在溶剂中的溶解度主要取决于原子半径、在化学元素周期表中的位置及晶格类型等。一般来说,若两者原子半径差较小,在化学元素周期表中位置相近,晶格类型相同,则这些组元能以任何比例互相溶解。反之,则溶质在溶剂中的溶解度是有限的。有限固溶体的溶解度与温度有密切关系。一般来说,温度越高,有限固溶体的溶解度越大。

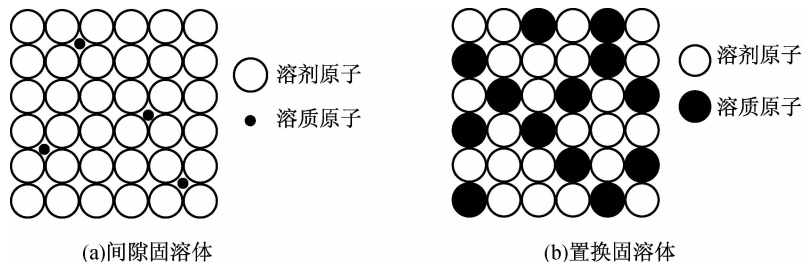


图 1-14 固溶体结构示意图

固溶体中,溶质的含量即固溶体的浓度用质量百分数或原子百分数来表示。

2) 金属化合物

金属化合物是指合金中各组元间按一定比例结合形成一种具有金属特性的晶体相。金属化合物的组成一般可用化学分子式来表示,如铁碳合金中的渗碳体就是铁和碳组成的化合物。金属化合物具有与其构成组元晶格截然不同的特殊晶格,其性能特点是熔点高、硬度高、脆性大。合金中含有金属化合物后,其强度、硬度和耐磨性显著提高,而塑性和韧性则降低。金属化合物是许多合金的重要组成相。

3) 机械混合物

纯金属、固溶体、金属化合物都是组成合金的基本相,由两相或两相以上组成的多相组织,称为机械混合物。在机械混合物中,各组成相仍保持着其原有晶格类型和性能,而整个机械混合物的性能介于各组成相性能之间,与各组成相的性能以及相的数量、形状、大小和

分布状况等密切相关。在工业生产中使用的合金材料大多数是机械混合物的组织状态。

3. 合金的结晶过程

合金的内部组织构造远比纯金属复杂,同是一个合金系,合金的组织构造随成分的不同而发生变化,如溶质含量少时,可以是单相固溶体,溶质含量超过溶解度时则变为多相混合物。另一方面,同一成分的合金,其组织构造随温度的不同而变化。若要全面了解合金的组织随成分、温度变化的规律,就必须取不同成分的合金进行试验,观察分析其在加热、冷却过程中内部组织构造的变化,绘制成图,称为合金相图。合金相图是全面表示合金的组织随成分、温度变化规律的图,是研究与选用合金的重要理论工具,对于金属的加工及热处理也具有重要的指导意义。

1) 二元合金相图的测定

现以 Cu-Ni 合金为例,说明用热分析法试验测定二元合金相图的过程。

(1) 首先配制一系列不同成分的 Cu-Ni 合金,见表 1-3。

表 1-3 试验用 Cu-Ni 合金的成分和转变温度

合金序号	质量分数/%		结晶开始温度/°C	结晶终了温度/°C
	Cu	Ni		
I	100	0		
II	80	20		
III	60	40		
IV	40	60		
V	20	80		
VI	0	100		

(2) 用热分析法画出所配制的各合金的冷却曲线,如图 1-15(a)所示。

(3) 找出各冷却曲线上的临界点(相变点),并把各临界点标注到温度—成分坐标系中相应的位置上,并将相应温度填入表 1-3 中。

(4) 将各相同意义的临界点连接起来,如图 1-15(b)所示。

(5) 填写各区域中的状态或组织,如 Cu-Ni 合金相图中,上面一条线为液相线,其以上区域为液相区,用 L 表示;下面一条线为固相线,其以下区域为铜与镍形成的单相固溶体区,用 α 表示;液相线和固相线之间区域为液、固两相混合区,用 L+ α 表示,这样就得到完整的 Cu-Ni 合金相图。

2) 合金的结晶

根据合金相图可以分析合金结晶过程的特点。合金结晶过程与纯金属结晶过程相似,也是经过形核和晶核长大的一般过程,但纯金属结晶过程是在某一温度下进行的,而合金的结晶一般是在某一温度范围内进行的,并且结晶过程中各相的成分还发生变化。

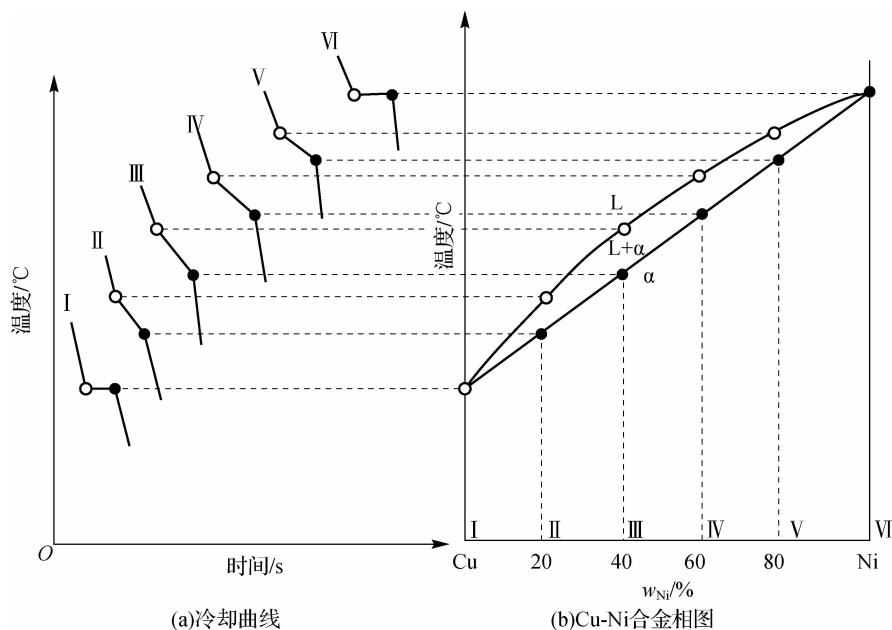


图 1-15 Cu-Ni 合金相图测定

任务实施

由上述知识内容可知,在常温下的细晶粒金属比粗晶粒金属具有更高的强度、塑性和韧性,通过增加过冷度、变质处理、振动处理等方法,可以有效细化晶粒,从而提高金属的强度、塑性和韧性。

任务三 铁碳合金

任务描述

如何利用铁碳合金相图确定钢的锻造温度?

任务分析

要完成此项任务,需要了解金属的同素异构转变、铁碳合金的基本组织及其性能,了解铁碳合金相图的特性线及其含义,了解铁碳合金相图的实际应用方法。

知识准备

现代工业中使用最广泛的钢铁材料,其基本组元是铁和碳,故统称为铁碳合金。

一、金属的同素异构转变

大多数金属的晶格类型是固定不变的,但有些金属(铁、钴、钛、锡、锰)在固态下,其晶格

类型会随温度的升高或降低而发生变化。金属在固态下随温度的改变,由一种晶格转变为另一种晶格的现象,称为同素异构转变。由同素异构转变所得到的不同晶格类型的晶体称为同素异构体。

铁是典型的具有同素异构转变特性的金属。纯铁的冷却曲线如图 1-16 所示,它表示了纯铁的结晶和同素异构转变的过程。液态纯铁在 1 538 °C 时结晶成为具有体心立方晶格的 δ -Fe,继续冷却到 1 394 °C 时发生同素异构转变,体心立方晶格的 δ -Fe 转变为面心立方晶格的 γ -Fe,再继续冷却到 912 °C 时又发生同素异构转变,面心立方晶格的 γ -Fe 转变为体心立方晶格的 α -Fe。再继续冷却,晶格的类型不再变化。

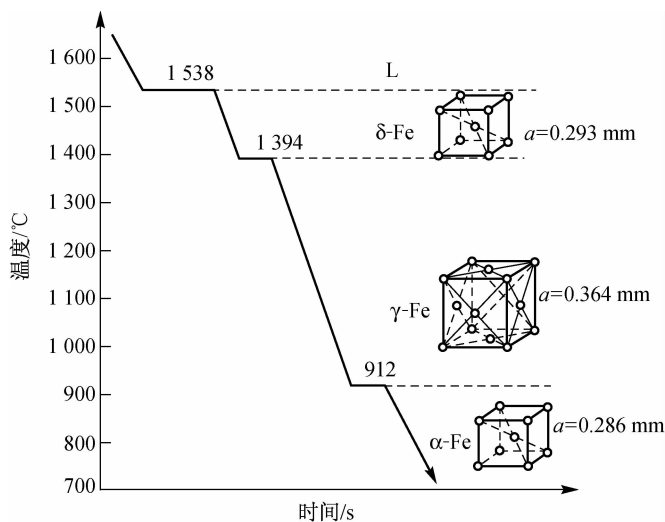


图 1-16 纯铁的同素异构转变冷却曲线

二、铁碳合金的基本组织及其性能

由于铁和碳的相互作用,铁碳合金可形成下列五种基本组织。

1. 铁素体

碳溶解于 α -Fe 中形成的间隙固溶体称为铁素体,用符号 F 表示。铁素体晶胞示意图如图 1-17 所示。由于 α -Fe 是体心立方晶格,晶格间隙较小,所以碳在 α -Fe 中的溶解度很小。故铁素体中碳的质量分数极小,最大碳的质量分数为 0.021 8% (727 °C)。随着温度的下降,溶碳量逐渐下降,在室温时,碳的质量分数为 0.000 8%,所以铁素体是几乎不含碳的纯铁,其力学性能与纯铁相似,即塑性和冲击韧度较好,而强度、硬度较低。铁素体的显微组织如图 1-18 所示。

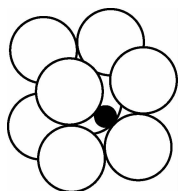


图 1-17 铁素体的晶胞示意图

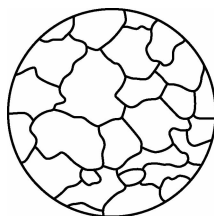


图 1-18 铁素体的显微组织

2. 奥氏体

碳溶解于 γ -Fe 中形成的间隙固溶体称为奥氏体,用符号 A 表示。奥氏体晶胞示意图如图 1-19 所示。由于在高温状态下存在的 γ -Fe 是面心立方晶格,晶格间隙较大,故奥氏体的溶碳能力较强,在 1 148 $^{\circ}\text{C}$ 时,碳的质量分数达到 2.11%。随着温度的下降,溶碳量逐渐减小,在 727 $^{\circ}\text{C}$ 时,碳的质量分数为 0.77%。奥氏体中碳的质量分数比铁素体高,奥氏体呈面心立方晶格,虽其强度、硬度不高,但却具有良好的塑性,尤其是具有良好的锻压性能。奥氏体存在于 727 $^{\circ}\text{C}$ 以上的高温范围内,无室温组织。奥氏体的显微组织如图 1-20 所示。

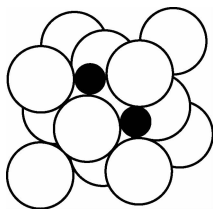


图 1-19 奥氏体的晶胞示意图

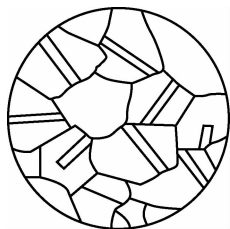


图 1-20 奥氏体的显微组织

3. 渗碳体

渗碳体是铁和碳的金属化合物,具有复杂斜方晶格,如图 1-21 所示,其分子式为 Fe_3C ,碳的质量分数为 6.69%,熔点为 1 227 $^{\circ}\text{C}$ 。渗碳体的性能特点是熔点高、硬度高(950~1 050 HV),塑性和韧性几乎为零。

渗碳体不能单独使用,主要作为铁碳合金中的强化相,在钢或铸铁中可以片状、球状或网状分布,其数量、形状、大小和分布对钢的性能影响很大。通常渗碳体越细小,在固溶体基体中分布得越均匀,合金的力学性能越好。

渗碳体是碳在铁碳合金中的主要存在形式,是亚稳定的金属化合物,在一定条件下(如高温长期停留或极缓慢冷却)能分解为铁和石墨,这一过程对铸铁的形成过程具有重要意义。

4. 珠光体

珠光体是奥氏体在高温缓慢冷却时发生共析转变所形成的由铁素体和渗碳体组成的混合物,用符号 P 表示。其中,渗碳体和铁素体呈片层相间、交替排列的形式。珠光体显微组织如图 1-22 所示,其中白色相为铁素体基体,黑色相为渗碳体。在缓慢冷却条件下,珠光体中碳的质量分数为 0.77%,由于珠光体是由硬的渗碳体和软的铁素体组成的混合物,因此其力学性能介于铁素体和渗碳体之间,综合力学性能良好,即强度较高,硬度适中,具有一定的塑性。

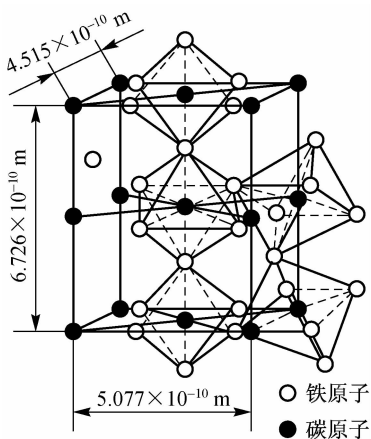


图 1-21 渗碳体的晶体结构



图 1-22 珠光体的显微组织

5. 莱氏体

莱氏体是由奥氏体和渗碳体组成的混合物,用符号 L_d 表示。莱氏体是碳的质量分数为 4.3% 的液态铁碳合金在 1 148 °C 时发生共晶转变的产物。当温度降到 727 °C 时,由于莱氏体中的奥氏体转变为珠光体,所以室温下的莱氏体由珠光体和渗碳体组成,称为低温莱氏体,用 L_d' 表示。低温莱氏体的显微组织如图 1-23 所示,图中黑色相为珠光体,白色相为渗碳体基体。莱氏体的性能与渗碳体的相似,即硬度高、塑性差。

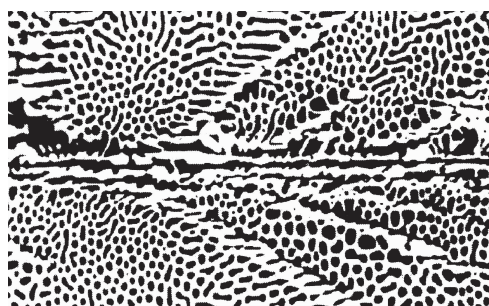


图 1-23 低温莱氏体的显微组织

以上五种组织中,铁素体、奥氏体和渗碳体是单相组织,称为铁碳合金的基本相;珠光体和莱氏体是由基本相组成的多相组织。铁碳合金基本组织的性能特点见表 1-4。

表 1-4 铁碳合金基本组织的性能特点

组织名称	符号	$w_c/\%$	存在温度区间/°C	力学性能			性能特点
				R_m/MPa	$A/\%$	HBW	
铁素体	F	0~0.021 8	室温~912	180~280	30~50	50~80	具有良好的塑性、韧性,较低的强度、硬度
奥氏体	A	0~2.11	727 以上	—	40~60	120~220	强度、硬度虽不高,却具有良好的塑性,尤其是具有良好的锻压性能
渗碳体	Fe_3C	6.69	室温~1 148	30	0	~800	高熔点,高硬度,塑性和韧性几乎为零,脆性极大

续表

组织名称	符号	$w_C/\%$	存在温度区间/ $^{\circ}\text{C}$	力学性能			性能特点
				R_m/MPa	$A/\%$	HBW	
珠光体	P	0.77	室温~727	20	35	180	强度较高,硬度适中,有一定的塑性,具有较好的综合力学性能
莱氏体	Ld'	4.30	室温~727	—	0	>700	性能接近于渗碳体,硬度很高,塑性、韧性极差
	Ld		727~1 148	—	—	—	

三、铁碳合金相图分析

Fe-Fe₃C相图是表示在缓慢冷却条件下,铁碳合金组织随成分、温度变化规律的图,它是研究铁碳合金的基础,也是选择材料和制定有关热处理工艺时的重要依据。在铁碳合金中,铁与碳可以形成一系列的化合物,如Fe₃C、Fe₂C、FeC等。而在工业生产中,碳的质量分数大于5%的铁碳合金因其脆性太大,难以加工,无实用价值,因此,只研究Fe-Fe₃C相图中 $w_C=0\sim 5\%$ 的部分。为方便研究分析,对于Fe-Fe₃C相图中实际应用价值不大的部分也作了省略。简化的Fe-Fe₃C相图如图1-24所示。

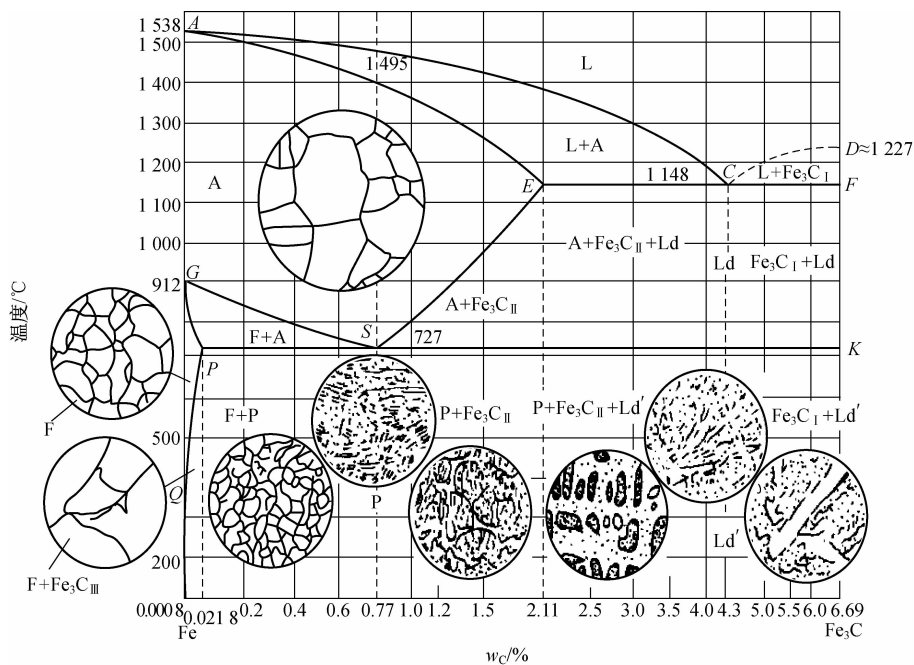


图 1-24 简化的 Fe-Fe₃C 相图

1. Fe-Fe₃C 相图中特征点的含义

Fe-Fe₃C 相图中特征点的含义见表 1-5。

表 1-5 Fe-Fe₃C 相图中特征点的含义

特征点	温度/°C	w _C /%	说明
A	1 538	0	纯铁的熔点
C	1 148	4.3	共晶点, L _C ↔ (A + Fe ₃ C)
D	1 227	6.69	渗碳体的熔点
E	1 148	2.11	碳在 γ-Fe 中的最大溶解度
G	912	0	纯铁的同素异构转变点, α-Fe ↔ γ-Fe
P	727	0.021 8	碳在 α-Fe 中的最大溶解度
S	727	0.77	共析点, A _S ↔ (F + Fe ₃ C)
Q	室温	0.000 8	碳在 α-Fe 中的最大溶解度

2. Fe-Fe₃C 相图中特性线的分析

简化的 Fe-Fe₃C 相图中的特性线及含义见表 1-6。

表 1-6 简化的 Fe-Fe₃C 相图中的特性线及含义

特性线	含 义
ACD	液相线
AECF	固相线
GS	A ₃ 线, 冷却时不同质量分数的 A 中析出 F 的开始线
ES	A _{cm} 线, 碳在 A 中的固溶线
ECF	共晶线
PSK	共析线

四、铁碳合金的分类

在 Fe-Fe₃C 相图中, 按碳的质量分数和室温组织的不同, 铁碳合金一般分为工业纯铁、钢、白口铸铁(生铁)三类。铁碳合金分类见表 1-7。

表 1-7 铁碳合金分类

合金类别	工业纯铁	钢			白口铸铁		
		亚共析钢	共析钢	过共析钢	亚共晶白口铸铁	共晶白口铸铁	过共晶白口铸铁
w _C /%	≤0.021 8	0.021 8 < w _C ≤ 2.11			2.11 < w _C ≤ 6.69		
		<0.77	0.77	>0.77	<4.3	4.3	>4.3
室温组织	F	F+P	P	P+Fe ₃ C _{II}	Ld'+P+Fe ₃ C _{II}	Ld'	Ld'+Fe ₃ C _I

五、铁碳合金相图的实际应用

1. Fe-Fe₃C 相图在选材时的应用

在 Fe-Fe₃C 相图中, 随着碳的质量分数增大, 在铁碳合金的室温组织中, 不仅渗碳体的

数量增加,而且渗碳体的大小、形态和分布情况也随着发生变化。不同成分的铁碳合金的组织结构不同,性能也有很大的差异。

碳的质量分数对碳钢力学性能的影响如图 1-25 所示。随着碳的质量分数的增加,钢的强度、硬度增加,塑性、韧性降低。

依据 Fe-Fe₃C 相图,可以根据需要选择合适的材料。

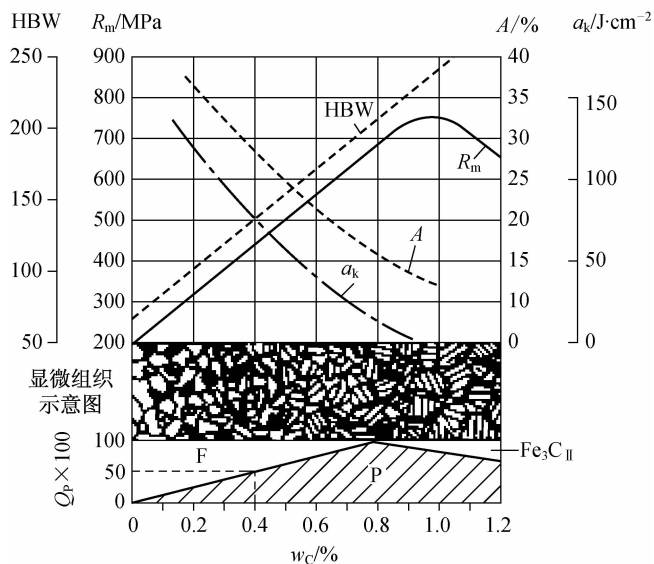


图 1-25 碳的质量分数对碳钢力学性能的影响

2. Fe-Fe₃C 相图在制定热加工工艺时的应用

Fe-Fe₃C 相图为制定热加工工艺提供了依据,无论在铸造、锻造、焊接、热处理等方面都具有重要意义。Fe-Fe₃C 相图与热加工工艺的关系如图 1-26 所示。

对铸造来说,根据 Fe-Fe₃C 相图可以找出不同成分的钢或铸铁的熔点,确定铸造温度。根据相图上液相线和固相线间距离估计铸造性能的好坏,距离越小,铸造性越好。

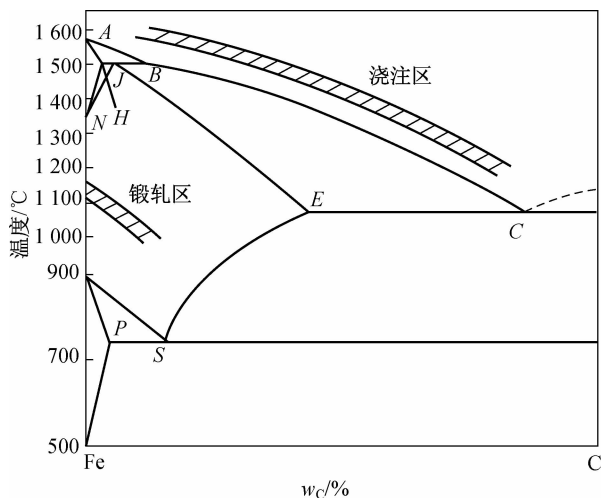


图 1-26 Fe-Fe₃C 相图与热加工工艺的关系

对锻造来说,根据 Fe-Fe₃C 相图可以确定锻造温度。

对焊接来说,由焊缝到母材在焊接过程中处于不同温度条件,因而整个焊缝区会出现不同组织,引起性能不均匀,可以根据 Fe-Fe₃C 相图来分析碳钢的焊接组织,并用适当热处理方法来减轻或消除组织的不均匀性和焊接应力。

对于热处理来说,Fe-Fe₃C 相图更为重要。热处理的加热温度都是参照相图上的 A₁、A₃、A_{cm} 线来确定的。



任务实施

对锻造来说,根据铁碳合金相图可以确定锻造温度。钢处于奥氏体状态时,强度低、塑性高,便于塑性变形,因此锻造或轧制温度必须选择在单相奥氏体区的适当温度范围内。始轧和始锻温度不能过高,以免钢材氧化严重和发生奥氏体晶界熔化(称为过烧),一般控制在固相线以下 100 °C ~ 200 °C。而终轧和终锻温度也不能过高,以免奥氏体晶粒粗大,但又不能过低,以免钢材塑性差,导致产生裂纹。

任务四 钢的热处理



任务描述

在实际的生产过程中,如何使一些金属零件达到具有表面硬、耐磨,而心部韧,抗冲击的特性?



任务分析

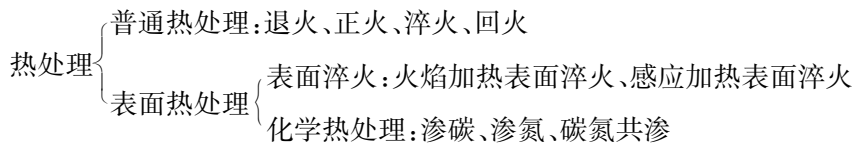
要完成此项任务,如果仅从选材方面来准备的话,很难达到预定的目标,必须考虑对材料进行热处理。因此,需要了解金属材料热处理的种类和特性。



知识准备

钢的热处理是指将钢在固态下进行加热、保温和冷却,以改变其内部组织,从而获得所需性能的一种工艺方法。热处理的主要目的是改善钢的工艺性能和提高钢的使用性能,因此,机械制造业中大多数的机器零件都要经过热处理,以提高产品的质量和使用寿命。

钢的热处理的种类很多,根据加热和冷却方法不同,大致分类如下。



热处理的种类虽然很多,但一般是由加热、保温和冷却三个阶段组成。因此,要了解各种热处理方法对钢的组织 and 性能的影响,必须研究钢在加热(包括保温)和冷却过程中的相变规律。

研究钢在加热和冷却时的相变规律是以 Fe-Fe₃C 相图为基础的。Fe-Fe₃C 相图的临界点 A₁、A₃、A_{cm} 是碳钢在极其缓慢地加热或冷却的情况下测定的。但在实际生产中,存在过热现象,相变温度升高和降低的幅度随加热和冷却速度的增大而增大。

通常实际加热时各临界点标下角 c, 即 A_{c_1} 、 A_{c_3} 、 $A_{c_{cm}}$; 冷却时标下角 r, 即 A_{r_1} 、 A_{r_3} 、 $A_{r_{cm}}$, 如图 1-27 所示。

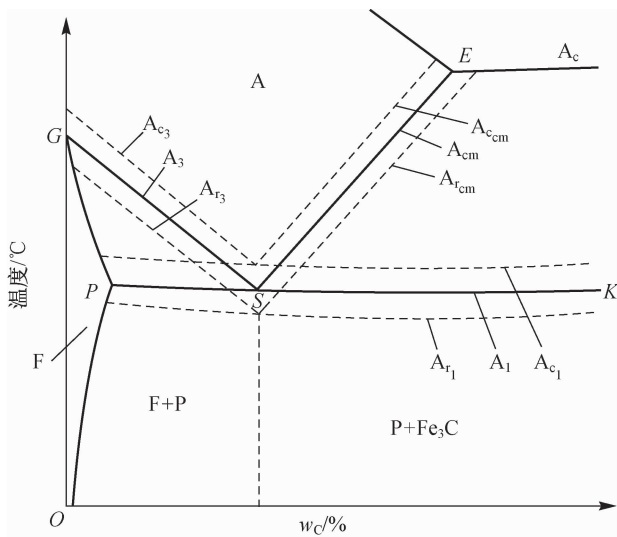


图 1-27 铁碳合金实际加热或冷却时转变温度变化图

一、钢在加热时的组织转变

钢加热到 A_{c_1} 以上时会发生珠光体向奥氏体的转变, 加热到 A_{c_3} 和 $A_{c_{cm}}$ 以上, 保温足够时间便会全部转变为奥氏体。热处理加热的目的是获得均匀的奥氏体组织, 因此, 这种加热转变的过程称为钢的奥氏体化。

奥氏体晶粒的大小对后续的冷却转变以及转变产物的性能有重要的影响。

二、钢在冷却时的组织转变

冷却过程是热处理的关键工序, 其冷却转变温度决定了冷却后的组织和性能。实际生产中采用的冷却方式主要有等温冷却(如等温淬火)和连续冷却(如炉冷、空冷、水冷等), 两种冷却方式的示意图如图 1-28 所示。

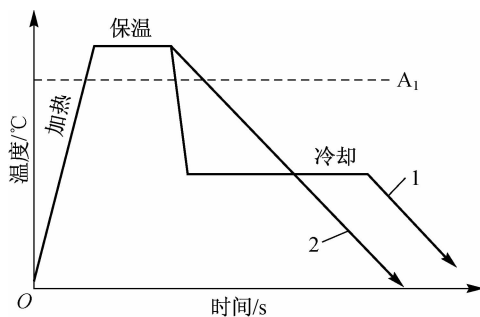


图 1-28 两种冷却方式示意图

1—等温冷却; 2—连续冷却

(1)等温冷却。等温冷却是指将奥氏体化的钢件迅速冷却至临界转变温度 A_1 以下的某一温度并保温,使其在该温度下发生组织转变,然后再冷却至室温,见图 1-26 中的曲线 1。

(2)连续冷却。连续冷却则是将奥氏体化的钢件连续冷却至室温,并在连续冷却过程中发生组织转变,见图 1-26 中的曲线 2。

当温度在临界转变温度 A_1 以上时,奥氏体是稳定的。当温度降到临界转变温度以下后,在热力学上处于不稳定状态,要发生转变,奥氏体即处于过冷状态,这种奥氏体称为过冷奥氏体。钢在冷却时的组织转变实质是过冷奥氏体的组织转变。

三、钢的退火与正火

为了改善钢的力学性能,机械零件在加工过程中往往要安排不同目的的各种热处理,一般机械零件的热处理工艺过程为毛坯(铸件、锻件)—预备热处理—切削加工—最终热处理。最终热处理的目的是使零件达到所要求的力学性能,如强度、硬度、耐磨性、冲击韧性等。预备热处理的目的是消除毛坯在铸造或锻造过程中产生的某些缺陷(如晶粒粗大、枝晶偏析、硬度过高或不均匀等),同时为下道工序以及最终热处理做好组织准备。退火和正火就是钢材经常采用的预备热处理。如果零件的力学性能要求不高,退火和正火可以作为最终热处理。

1. 钢的退火

退火是将工件加热到临界点以上或在临界点以下某一温度保温一定时间后,以十分缓慢的冷却速度(一般为随炉冷却)进行冷却的一种方法。

根据钢的成分、组织状态和退火目的的不同,退火可分为完全退火、等温退火、球化退火、均匀化退火和去应力退火等。

1)完全退火

完全退火又称为重结晶退火,是将工件加热到 A_{c3} 以上 $30\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$,保温一定时间后,随炉缓慢冷冷却到约 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$,然后在空气中冷却。完全退火用于亚共析钢成分的碳钢和合金钢的铸件、锻件及热轧型材,有时也用于焊接件。

完全退火的目的是细化晶粒,降低硬度,改善工件的切削加工性能,但完全退火比较费时。为克服这一缺点,可采用等温退火工艺。

2)等温退火

等温退火是将亚共析钢加热到 A_{c3} 以上,过共析钢加热到 A_{c1} 以上,保温一定的时间,再快速冷却至稍低于 A_{r1} 的某一温度等温停留,使过冷奥氏体完成向珠光体的转变,随后出炉或冷却至 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右时出炉。等温退火与普通退火相比可大大缩短时间。

3)球化退火

球化退火是将钢件加热到 A_{c1} 以上 $20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$,保温一定时间后随炉缓慢冷却至 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后出炉空冷。同样为缩短退火时间,生产上常采用等温球化退火,它的加热工艺与普通球化退火相同,只是冷却方法不同。通过球化退火,使层状渗碳体和网状渗碳体变为球状渗碳体,球化退火后的组织是由铁素体和球状渗碳体组成的球状珠光体;这样可降低工件硬度,改善切削加工性,并为以后淬火做准备。

球化退火主要用于共析或过共析成分的碳钢及合金钢。对于有网状二次渗碳体存在的过共析钢,在球化退火之前应先进行正火来打碎渗碳体网状化组织。

4) 均匀化退火

均匀化退火是把钢加热到略低于固相线(固相线以下 $100\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$) 的温度, 长时间保温($10\sim 15\text{ h}$), 然后缓冷至室温的工艺。其目的是消除晶内偏析, 使成分均匀化。均匀化退火的实质是使钢中各元素的原子在奥氏体中进行充分扩散。

工件经扩散退火后, 奥氏体的晶粒十分粗大, 因此, 必须进行完全退火或正火处理来细化晶粒, 消除过热缺陷。

5) 去应力退火(低温退火)

去应力退火是把钢加热到低于 A_{c1} 的某一温度, 通常为 $500\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 650\text{ }^{\circ}\text{C}$, 保温后随炉缓冷的工艺。其主要目的是消除铸件、锻件、焊接件、冷冲压件(或冷拔件)及机加工件的残余内应力。这些应力若不消除会导致随后的切削加工或使用中钢的变形开裂, 降低机器的精度, 甚至会发生事故。在去应力退火中不发生组织转变。

2. 钢的正火

将工件加热到 A_{c3} 或 A_{cm} 以上 $30\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, 使钢转变为奥氏体, 保温后从炉中取出在空气中冷却的热处理工艺称为正火。正火与退火的差别是冷却速度不同, 正火的冷却速度较快, 获得的珠光体类组织较细, 因而强度与硬度也较高。

正火后的力学性能和生产效率都较高, 成本也低, 因而一般情况下尽可能地用它来代替退火。正火主要应用于以下方面。

- (1) 正火用于普通结构零件, 作为最终热处理, 细化晶粒, 提高力学性能。
- (2) 正火用于低、中碳钢, 作为预备热处理, 获得合适的硬度, 便于切削加工。
- (3) 正火用于过共析钢, 消除网状 Fe_3C_{II} , 有利于球化退火的进行。

综上所述, 为改善切削加工性能, 中、低碳钢宜用正火; 高碳结构钢则宜用退火; 过共析钢用正火消除网状渗碳体后, 因硬度偏高, 还需球化退火。中、低碳钢进行冷挤、冷铆、冷镦以前, 为获得良好的塑性, 也要采用退火。

四、钢的淬火

淬火就是将钢件加热到 A_{c3} 或 A_{c1} 以上 $30\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, 保温一定时间, 然后快速冷却(大于零件冷却速度, 一般为油冷或水冷), 从而使奥氏体转变为马氏体(或下贝氏体)的一种操作。

淬火的目的是获得马氏体或贝氏体, 提高钢的力学性能。淬火是钢最重要的热处理工艺, 也是热处理中应用最广泛的工艺之一。但淬火必须和回火相配合, 否则淬火后虽然得到了高硬度、高强度, 但韧性、塑性低, 不能得到优良的综合力学性能。

1. 淬火工艺

1) 淬火温度

通常亚共析钢的淬火温度应在 A_{c3} 以上 $30\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, 淬火后可得到细小均匀的马氏体组织, 碳的质量分数超过 0.5% 时, 还伴有少量残留奥氏体出现。如在 A_{c3} 以下淬火, 在淬火组织中将出现铁素体, 造成硬度与强度不足。

共析钢和过共析钢的淬火温度为 A_{c1} 以上 $30\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, 淬火后得到的是细小均匀的马氏体、粒状二次渗碳体和少量残留奥氏体的混合组织, 粒状渗碳体可提高淬火马氏体的硬度和耐磨性, 如果加热温度超过 A_{cm} , 则淬火后会获得粗大片状马氏体和较多的残留奥氏体, 这不仅会降低钢的硬度、耐磨性和韧性, 还会增大淬火变形、开裂的倾向。

除了 Mn 外的大多数合金元素都会阻碍奥氏体晶粒长大,为了使合金元素充分溶入奥氏体中,淬火温度应稍高于根据临界点所确定的加热温度。各种钢的具体加热温度可查有关热处理手册。

2) 保温时间

为了使工件各部分均完成组织转变,需要在淬火加热温度下保温一定的时间,通常将工件升温和保温所需的时间计算在一起统称为加热时间。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。生产中往往要通过试验确定合理的加热及保温时间,以保证工件质量。

3) 淬火冷却

淬火冷却是决定淬火质量的关键,为了使工件获得马氏体组织,淬火冷却速度必须大于临界冷却速度 v_k ,而快速冷却会产生很大的内应力,容易引起工件的变形和开裂。因此,淬火工艺中最重要的一个问题是既要保证淬火钢件获得马氏体组织,又要使钢件减小变形和防止开裂。为此,合理选择冷却介质和冷却方法是十分重要的。

(1) 理想淬火冷却速度。淬火冷却速度既不能过大又不能过小。经研究发现,要获得马氏体并非在整个冷却过程中都要快速冷却,理想的淬火冷却速度如图 1-29 所示。在 C 曲线“鼻尖”附近(550 °C~650 °C)的过冷奥氏体最不稳定区域要快速冷却,使奥氏体不发生珠光体转变,而在 650 °C 到淬火温度之间,以及 400 °C 以下,特别是 200 °C~300 °C 不需要快速冷却,否则会因淬火应力引起工件变形与开裂。

(2) 常用的淬火冷却介质。到目前为止还没有找到十分理想的冷却介质能符合上述理想淬火冷却速度的要求。实际生产中常用的冷却介质是水、水溶性盐类和碱类、有机物的水溶液,以及油、熔盐、空气等。

水是目前应用最广泛的淬火冷却介质。水在 550 °C~650 °C 具有很大的冷却速度,可防止发生珠光体的转变。但是,水在 200 °C~300 °C 时冷却速度仍然很快(约为 270 °C/s),这时正发生马氏体转变,如此高的冷却速度必然会引起淬火钢的变形和开裂。若在水中加入 10% 的盐(NaCl)或碱(NaOH),可将 550 °C~650 °C 的冷却速度提高到 1 100 °C/s,但在 200 °C~300 °C 时冷却速度基本不变。因此,水及盐水或碱水常被用作碳钢的淬火冷却介质,但都容易引起材料变形和开裂。

各种矿物油也是应用很广泛的淬火冷却介质。油在 200 °C~300 °C 的冷却速度(约为 20 °C/s)较慢,可减少钢在淬火时的变形和开裂倾向。但油在 550 °C~650 °C 的冷却速度(约为 150 °C/s)不够大,不易使碳钢淬火成马氏体。因此,生产中用油作为淬火冷却介质,只适用于过冷奥氏体稳定性较大的合金钢淬火冷却,不适用于碳钢淬火冷却。

熔化的 NaNO_3 、 KNO_3 等液体也可作为淬火冷却介质,以减少工件淬火时的变形,主要用于贝氏体等温淬火冷却、马氏体分级淬火冷却。其特点是沸点高,冷却能力介于水和油之间,常用于处理形状复杂、尺寸较小和变形要求严格的工件。

2. 淬火方法

为保证淬火效果,减少淬火变形和开裂,应根据钢的材料、大小和种类,合理选择淬火方

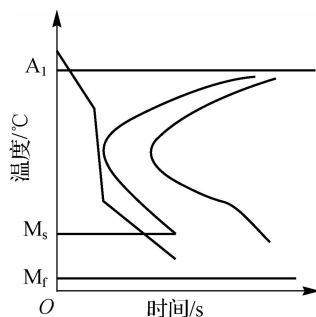


图 1-29 钢的理想淬火冷却速度

法。常用的淬火方法有单介质淬火法、双介质淬火法、分级淬火法和等温淬火法四种,如图 1-30 所示。

1) 单介质淬火法

单介质淬火法是将奥氏体化后的工件放入一种淬火介质中连续冷却获得马氏体组织的淬火方法,如碳钢在水中淬火,合金钢在油中淬火。这种方法操作简单,生产率高,成本低,易于实现自动化;但不符合理想淬火冷却速度的要求,水淬容易产生变形和裂纹,油淬容易产生硬度不足或硬度不均匀等缺陷。

2) 双介质淬火法

双介质淬火法是将奥氏体化的钢先在冷却能力强的介质中冷却至 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$,跳过等温转变曲线“鼻尖”部分后,再在另一种冷却能力较弱的介质中冷却,发生马氏体转变的淬火方法,如水淬油冷、油淬空冷。其优点是产生的内应力小,有利于减少变形和开裂;缺点是不容易掌握两种介质的转换时间。这种方法多用于形状复杂的碳钢件及大型合金碳钢件。

3) 分级淬火法

分级淬火法是将奥氏体化后的钢先浸入温度在马氏体点附近的盐浴或碱浴中,保温 $2\sim 5\text{ min}$,待工件内外温度均匀后,再取出空冷的淬火方法。这种方法可以减少工件内外的温差和减慢马氏体转变时的冷却速度,从而有效地减少内应力,防止产生变形和开裂。但由于盐浴或碱浴的冷却能力低,分级淬火法只能适用于零件尺寸较小、要求变形小、尺寸精度高的工件,如模具、刀具等。

4) 等温淬火法

等温淬火法是将奥氏体化后的工件放入温度稍高于 M_s 温度的盐浴或碱浴中,等温冷却以获得下贝氏体组织的淬火方法。这种淬火方法能显著降低内应力,淬火变形小。得到的下贝氏体与回火马氏体相比,在含碳量相近、硬度相当的情况下,前者比后者具有较高的塑性与韧性,而且等温淬火后一般不需进行回火。等温淬火法适用于尺寸较小、形状复杂、要求变形小、具有高硬度和强韧性的工具、模具等。

3. 钢的淬透性和淬硬性

淬透性是钢热处理的重要工艺性能,也是合理选材和正确制定热处理工艺的重要依据之一。

钢在一定的冷却条件下淬火时获得马氏体组织的能力称为钢的淬透性。它是钢材本身固有的一个属性。淬透性的大小反映了钢在淬火后转变为马氏体的能力,通常用规定条件下得到淬透层(淬硬层)的深度来表示。

淬透性与实际工件的淬透层深度是完全不同的,淬透性是钢的一种工艺性能,它是在规定条件下得到的淬透层深度,对于一种钢来说它是确定的。而实际淬透层深度是在某种具体条件下淬火得到马氏体层的厚度,它是可变的,与淬透性及许多外界因素有关。淬透性与淬硬性也是两个不同的概念,淬硬性是指钢淬火时能够达到的最高硬度,主要取决于马氏体中碳的质量分数。淬透性好,淬硬性不一定好;同样淬硬性好,淬透性也不一定好。

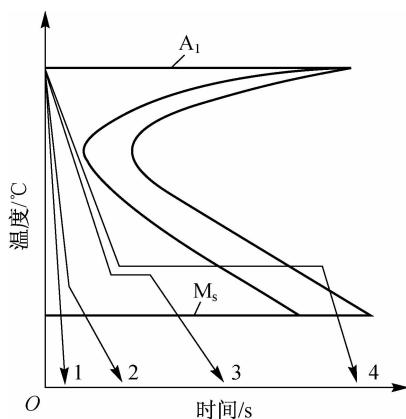


图 1-30 常用淬火方法

1—单介质淬火法; 2—双介质淬火法;
3—分级淬火法; 4—等温淬火法

钢的淬透性实质上取决于过冷奥氏体的稳定性,也就是临界冷却速度 v_k 。 v_k 愈小,过冷奥氏体愈稳定,则钢的淬透性愈好,因此,凡影响奥氏体稳定的因素都会影响钢的淬透性。

五、钢的回火

回火是将淬火钢重新加热到 A_1 点以下的某一温度,保温一定时间后,冷却到室温的一种操作。

1. 回火的目的

(1)改善淬火钢的性能,达到要求的力学性能。例如,工具要求有高硬度、高耐磨性,轴类零件要求有良好的韧性,弹簧要求有较高的弹性极限和屈服强度及一定的塑性、韧性等。

(2)稳定工件尺寸。由于淬火钢硬度高,脆性大,存在着淬火内应力,且淬火后的组织马氏体和残留奥氏体都处于非平衡状态,是一种不稳定的组织,在一定条件下,经过一定的时间后,组织会向平衡组织转变,导致工件的尺寸形状改变,性能发生变化。为克服淬火组织的这些缺点而采取回火处理,使淬火组织充分转变为稳定组织,就可保证钢件在使用过程中不再发生尺寸和形状的变化。

(3)消除或减小淬火内应力,降低马氏体脆性,防止工件的变形和开裂。钢淬火后必须立即进行回火,以防止工件在放置过程中变形与开裂。淬火钢不经回火一般是不能使用的,所以淬火一回火处理是钢热处理工艺中最重要的复合热处理方法。

2. 回火的分类

淬火钢回火后的组织与性能由回火温度决定,钢的回火按回火温度不同可分为以下三种。

1) 低温回火

低温回火的回火温度为 $150\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}$,回火后的组织为回火马氏体。内应力和脆性有所降低,但保持了马氏体的高硬度和高耐磨性。低温回火主要应用于高碳钢或高碳合金钢制造的工具、模具、滚动轴承及渗碳和表面淬火的零件。回火后的硬度一般为 $58\sim 64\text{ HRC}$ 。

2) 中温回火

中温回火的回火温度为 $350\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$,回火后的组织为回火托氏体,硬度为 $35\sim 45\text{ HRC}$,具有一定的韧性和较高的弹性极限及屈服强度。中温回火主要应用于各类弹簧和模具等。

3) 高温回火

高温回火的回火温度为 $500\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 650\text{ }^{\circ}\text{C}$,回火后的组织为回火索氏体,其硬度为 $25\sim 35\text{ HRC}$,具有较高的强度和硬度、较好的塑性和韧性。高温回火广泛应用于汽车、拖拉机、机床等机械中的重要结构零件,如轴、连杆、螺栓、齿轮等。

通常在生产上将淬火与高温回火相结合的热处理称为调质处理。应当指出,工件回火后的硬度主要与回火温度、回火时间有关,而与回火后的冷却速度关系不大。因此,在实际生产中回火件出炉后通常采用空冷。

淬火钢回火时,总的变化趋势是随着回火温度的升高,碳钢的硬度、强度降低;随着回火温度的升高,塑性提高,但回火温度太高,塑性会有所下降;冲击韧性随着回火温度的升高而增大,但在 $250\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $450\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ 回火,会出现冲击韧性显著降低的现象,这种随回火温度的升高而冲击韧性下降的现象称为回火脆性。

六、钢的表面热处理

在实际生产中,对于一些在弯曲、扭转、冲击载荷、摩擦条件下工作的齿轮等机器零件,要求具有表面硬、耐磨,而心部韧,抗冲击的特性,仅从选材方面和采用前述的普通热处理方法去考虑是很难满足此要求的。若用高碳钢,虽然硬度高,但心部韧性不足;若用低碳钢,虽然心部韧性好,但表面硬度低,不耐磨。因此,工业上广泛采用表面热处理来满足上述要求,使零件达到“表硬心韧”的效果。

仅对钢件表层进行热处理,以改变其组织和性能的工艺,称为表面热处理。常用的表面热处理工艺可分为两类:一类是只改变表面组织而不改变表面化学成分的表面淬火;另一类是同时改变表面化学成分和组织的表面化学热处理。

1. 钢的表面淬火

仅对工件表层进行淬火的工艺称为表面淬火。它是利用快速加热使钢件表面奥氏体化,而中心尚处于较低温度时即迅速予以冷却,表层被淬硬为马氏体,而中心仍保持原来退火、正火或调质状态的组织。

表面淬火一般适用于中碳钢($w_c=0.4\% \sim 0.5\%$)和中碳低合金钢(40Cr、40MnB等),也可用于高碳工具钢、低合金工具钢(如T8、9Mn2V、GCr15等)及球墨铸铁等。

根据加热方法的不同,表面淬火方法大致可分为火焰加热表面淬火、感应加热表面淬火、电接触加热表面淬火、电解加热表面淬火等。目前生产中应用最广泛的是感应加热表面淬火和火焰加热表面淬火。

1) 感应加热表面淬火

感应加热表面淬火是在工件中引入一定频率的感应电流(涡流),使工件表面层快速加热到淬火温度后立即喷水冷却的方法。

感应加热透入工件表层的深度主要取决于电流频率。电流频率越高,感应加热深度越浅,即淬硬层越浅。根据电流频率的不同,感应加热表面淬火可分为以下三类。

(1)高频感应加热。电流频率范围为200~300 kHz,淬硬层深度一般为0.5~2 mm,高频感应加热适用于要求淬硬层较浅的中小型零件,如小模数齿轮的表面淬火。

(2)中频感应加热。电流频率范围为2.5~8 kHz,淬硬层深度一般为2~10 mm,中频感应加热适用于要求淬硬层较深的大中型零件,如直径较大的轴和大中型模数的齿轮的表面淬火。

(3)工频感应加热。工频感应加热是用工业频率(50 Hz)电流通过感应器加热工件。工频感应加热的淬硬层深度可达10~15 mm,适用于要求深淬硬层的大型零件,如直径大于300 mm的轧辊及轴类零件的表面淬火等。

感应加热表面淬火的优点是加热速度快,生产率高;淬火后表面组织细,硬度高(比普通淬火高2~3 HRC);加热时间短,氧化脱碳少;淬硬层深度易控制,变形小,产品质量好;生产过程易实现自动化。其缺点是设备昂贵、维修和调整困难、形状复杂的感应圈不易制造,不适于单件生产。感应加热表面淬火最适宜的钢种是中碳钢和低合金中碳钢,如40钢、45钢、40Cr和40MnB等。在某些条件下,感应加热表面淬火也可应用于高碳工具钢、低合金工具钢以及铸铁等零件。

感应加热表面淬火的一般工艺路线为锻造—退火或正火—粗加工—正火或调质—精加工—感应加热表面淬火—低温回火—磨削加工。

2) 火焰加热表面淬火

火焰加热表面淬火是用乙炔—氧或煤气—氧的混合气体燃烧的火焰喷射至零件表面,

快速加热,当达到淬火温度时立即喷水冷却,从而获得预期的硬度和淬硬层深度的一种表面淬火方法。

火焰加热表面淬火零件的选材,常用中碳钢(如 35 钢、45 钢)及中碳合金结构钢(如 40Cr、65Mn)等。如果含碳量太低,则淬火后硬度较低;若碳和合金元素含量过高,则易淬裂。火焰加热表面淬火法还可用于对铸铁件如灰铸铁、合金铸铁进行表面淬火。火焰加热表面淬火的淬硬层深度一般为 2~6 mm,若要获得更深的淬硬层,往往会引起零件表面严重过热,且易产生淬火裂纹。

火焰加热表面淬火方法因其简便,无需特殊设备,故适用于单件或小批生产的大型零件和需要局部淬火的工具和零件,如大型轴类、大模数齿轮、锤子等。但火焰加热表面淬火容易过热,淬火质量往往不够稳定,工作条件差,因此,限制了它在机械制造业中的广泛应用。

2. 钢的化学热处理

化学热处理是将工件置于活性介质中加热和保温,使介质中的活性原子渗入工件表层,以改变其表面层的化学成分、组织结构和性能的热处理工艺。根据渗入元素的类别,化学热处理可分为渗碳、渗氮、碳氮共渗等。

化学热处理不仅可以改变钢的组织,还可以改变它的成分,从而使钢表面获得特殊的力学性能和物理、化学性能,这对提高产品质量、满足特殊要求、发挥材料潜能、节约贵重金属具有重要意义。由于化学热处理不受工件形状的限制,所以化学热处理的应用也越来越广泛,各种新工艺、新技术也相继涌现。

1) 钢的渗碳

将低碳工件放在渗碳介质中加热、保温,使其表面层渗入碳原子的一种化学热处理工艺称为渗碳。

(1) 渗碳的目的及渗碳用钢。渗碳的目的是提高工件表层含碳量。经过渗碳及随后的淬火和低温回火,可提高工件表面的硬度、耐磨性和疲劳强度,而心部仍保持良好的塑性和韧性。工业生产中渗碳钢一般是碳的质量分数为 0.10%~0.25% 的低碳钢和低碳合金钢,如 15 钢、20 钢和 20Cr 等。渗碳层深度一般为 0.5~2.5 mm。

(2) 渗碳方法。根据所采用的渗碳剂不同,渗碳可分为气体渗碳、液体渗碳、固体渗碳。目前常用的是气体渗碳,其次是固体渗碳。不论是气体渗碳还是固体渗碳,渗碳后的零件都要进行淬火和低温回火处理,只有这样才能达到所要求的使用性能。

近年来,渗碳工艺有了很大的进展,出现了高温渗碳、真空渗碳、高频渗碳等,有的已经开始用于生产,渗碳过程也在逐渐采用自动化和机械化来控制。

2) 钢的渗氮

向钢件表面渗入氮原子,形成含氮硬化层的化学热处理过程称为渗氮。渗氮实质就是利用含氮的物质分解产生活性氮原子,渗入工件的表层,以提高工件表层硬度、耐磨性、耐蚀性及疲劳强度。

渗氮处理有气体渗氮、离子渗氮等。目前应用较广泛的是气体渗氮。渗氮用钢通常是含 Al、Cr、Mo 等合金元素的钢,如 38CrMoAlA 是一种比较典型的渗氮用钢,此外 35CrMo、18CrNiW 等也经常作为渗氮用钢。渗氮层由碳、氮溶于 α -Fe 的固溶体和碳、氮与铁的化合物组成,还含有高硬度、高弥散度的稳定的合金氮化物如 AlN、CrN、MoN、TiN 和 VN 等,这些氮化物的存在对渗氮钢的性能变化起着主要的作用。

与渗碳相比,渗氮工件具有以下特点。

- (1) 渗氮前需经调质处理,以使心部组织具有较高的强度和韧性。
- (2) 表面硬度、耐磨性、疲劳强度及热硬性均高于渗碳层。
- (3) 渗氮表面形成由致密氮化物组成的连续薄膜,具有一定的耐蚀性。
- (4) 渗氮处理温度低,渗氮后不需再进行其他热处理,因此工件变形小。

渗氮处理适用于耐磨性和精度都要求较高的零件或要求耐热、耐蚀、耐磨的工件,如发动机的气缸、排气阀、高精度传动齿轮等。

3) 碳氮共渗

碳氮共渗是向钢的表面同时渗入碳和氮,并以渗碳为主的化学热处理工艺,习惯上又称为氰化。目前以中温气体碳氮共渗和低温气体碳氮共渗(即气体软氮化)应用较为广泛。

中温气体碳氮共渗的主要目的是提高钢的硬度、耐磨性和疲劳强度;低温气体碳氮共渗以渗氮为主,其主要目的是提高钢的耐磨性和抗咬合性。

任务实施

为了满足金属零件“表硬心韧”的性能要求,实际生产中一般先通过选材和常规热处理满足心部的力学性能,然后再通过表面热处理等表面强化技术来强化零件的表面力学性能。

任务五 常用金属材料

任务描述

牌号为 Q235 的碳素结构钢主要有什么用途?

任务分析

碳钢是一种金属材料,金属材料的牌号是给每一种具体的金属材料所取的名称。钢的牌号又叫钢号。我国金属材料的牌号,一般都能反映出化学成分。牌号不仅证明金属材料的具体品种,而且根据它还可以大致判断其质量。这样牌号就简便地提供了具体金属材料质量的共同概念,从而为生产、使用和管理等工作带来很大方便。要完成此项任务,必须要首先了解金属材料的分类,并了解它们的牌号、性能以及选用方法。

知识准备

在工程材料中,钢铁材料是应用最为广泛的材料之一。据统计,在汽车制造业中,钢铁材料占 72%,铝合金占 5.3%,塑料占 8.5%。

钢按化学成分可分为非合金钢(简称碳钢)和合金钢两大类。从钢的生产来说,世界各国生产的碳钢约占 80%,合金钢约占 20%。碳钢是指以铁、碳为主要成分,还含有少量锰、硅、硫、磷等常存杂质元素的钢。碳钢的价格低廉,便于获得,容易加工,具有较好的力学性能和工艺性能,可以满足一般工程结构、普通机械零件及工具的使用要求。因此,碳钢在工业生产中得到了广泛的应用。合金钢是在碳钢的基础上有意加入某些合金元素而得到的钢种。与碳钢相比,合金钢的性能有显著提高和改变,能提供多种性能,满足不同的用途,因而合金钢的用量逐年增长。

一、碳钢

碳钢是指碳的质量分数小于 2.11%，并含有少量硅、锰、磷、硫等杂质的铁碳合金。工业上应用的碳钢中碳的质量分数一般不超过 1.4%。因为碳的质量分数超过 1.4% 后，钢会表现出很大的硬脆性，且加工困难，失去生产和使用价值。

1. 碳钢的分类

1) 按碳的质量分数分

碳钢根据其碳的质量分数可分为低碳钢 ($w_C < 0.25\%$)、中碳钢 ($0.25\% \leq w_C \leq 0.6\%$) 和高碳钢 ($w_C > 0.6\%$)，碳的质量分数越高，硬度、强度越大，但塑性越低。

2) 按碳钢的质量分

碳钢的质量是以磷、硫的含量来划分的，可分为普通碳钢 ($w_S \leq 0.045\%$, $w_P \leq 0.045\%$)、优质碳钢 ($w_S \leq 0.035\%$, $w_P \leq 0.035\%$) 和高级优质碳钢 ($w_S \leq 0.030\%$, $w_P \leq 0.030\%$) 等。

3) 按用途分

按用途可将碳钢分为碳素结构钢和碳素工具钢等。碳素结构钢 ($w_C < 0.70\%$) 主要用于制造各种机械零件和工程构件，如桥梁、船舶、建筑构件、机器零件等。碳素工具钢 ($w_C > 0.70\%$) 主要用于制造各种刀具、模具、量具等。

2. 常用碳钢的牌号、性能和用途

1) 碳素结构钢

碳素结构钢一般在供应状态下使用，必要时可进行锻造、焊接等热加工，也可通过热处理调整其力学性能，较典型的牌号是 Q235。常用碳素结构钢的牌号、化学成分和用途见表 1-8。常用碳素结构钢的力学性能见表 1-9。

表 1-8 常用碳素结构钢的牌号、化学成分和用途

牌 号	质量等级	厚度(或直径) /mm	脱氧方法	化学成分/%			用 途	
				w_C	w_S	w_{Mn}		
Q195	—	—	F、Z	≤ 0.12	≤ 0.30	≤ 0.50	Q195 钢和 Q215 钢的塑性好，用于承载不大的桥梁建筑等金属构件，也在机械制造中制作铆钉、螺钉、垫圈、地脚螺栓、冲压件及焊接件等	
Q215	A	—	F、Z	≤ 0.15	≤ 0.35	≤ 1.20		
	B							
Q235	A	—	F、Z	≤ 0.22	≤ 0.35	≤ 1.40	Q235 钢的强度较高，塑性也较好，用于制作承载较大的金属构件等，也可制作转轴、心轴、拉杆、摇杆、吊钩、螺栓、螺母等。Q235C 钢和 Q235D 钢可用作重要的焊接件	
	B			≤ 0.20				
	C		Z	≤ 0.17				
	D		TZ	≤ 0.17				
Q275	A	—	F、Z	≤ 0.24	≤ 0.35	≤ 1.50	Q275 钢的强度更高，可制作链、销、转轴、轧辊、主轴、链轮等承受中等载荷的零件	
	B			≤ 40				Z
			> 40	≤ 0.22				
	C		—	TZ				≤ 0.20
D	—	≤ 0.20						

表 1-9 常用碳素结构钢的力学性能

牌号	质量等级	下屈服强度 R_{eL} /MPa						抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A /%				
		厚度(或直径)/mm							厚度(或直径)/mm				
		≤ 16	16~40	40~60	60~100	100~150	150~200		≤ 40	40~60	60~100	100~150	150~200
Q195	—	≥ 195	≥ 185	—	—	—	—	315~430	≥ 33	—	—	—	—
Q215	A	≥ 215	≥ 205	≥ 195	≥ 185	≥ 175	≥ 165	335~450	≥ 31	≥ 30	≥ 29	≥ 27	≥ 26
	B												
Q235	A	≥ 235	≥ 225	≥ 215	≥ 215	≥ 195	≥ 185	370~500	≥ 26	≥ 25	≥ 24	≥ 22	≥ 21
	B												
	C												
	D												
Q275	A	≥ 275	≥ 265	≥ 255	≥ 245	≥ 225	≥ 215	410~540	≥ 22	≥ 21	≥ 20	≥ 18	≥ 17
	B												
	C												
	D												

2) 碳素工具钢

碳素工具钢一般用于制造刀具、模具和量具。碳素工具钢为高碳钢($0.65\% \leq w_C \leq 1.35\%$),随着碳的质量分数的提高,碳素工具钢中碳化物增加,耐磨性提高,但韧性下降。常用碳素工具钢的牌号、化学成分、热处理和用途见表 1-10。

表 1-10 常用碳素工具钢的牌号、化学成分、热处理和用途

牌 号	化学成分/%			热 处 理		用 途		
	w_C	w_{Si}	w_{Mn}	淬火温度	硬度 HRC			
T7	0.65~0.74	≤ 0.35	≤ 0.40	800℃~820℃	≤ 62	T7、T8、T8Mn 钢用于制作受冲击,且硬度和耐磨性要求较高的工具,如木头用刨、冲头、钻头、模具等		
T8	0.75~0.84			水淬				
T8Mn	0.80~0.90		0.40~0.60	780℃~800℃				
T9	0.85~0.94		≤ 0.40	760℃~780℃			水淬	T9、T10 钢用于制作受中等冲击的工具和耐磨机件,如刨刀、冲模、丝锥、板牙、手工锯条、卡尺等
T10	0.95~1.04							
T11	1.05~1.14							
T12	1.15~1.24							
T13	1.25~1.35				T11~T13 钢用于制作不受冲击,且硬度要求极高的工具和耐磨机件,如钻头、铁锉刀、刮刀、量具等			

二、合金钢

合金钢种类繁多。为了便于生产、选材、管理及研究,合金钢按用途可分为合金结构钢、合金工具钢和特殊性能钢。

1. 合金结构钢

合金结构钢是用于制造各类工程结构件和各种机械零件的钢。按用途不同,合金结构钢可分为低合金高强度结构钢和机械制造用钢两类。合金结构钢是目前市场上品种最多、

用途最广、用量最大的一类钢材。通常按用途和热处理特点不同,合金结构钢又可分为低合金高强度结构钢、合金渗碳钢、合金调质钢、合金弹簧钢及滚动轴承钢等几类。

1) 低合金高强度结构钢

低合金高强度结构钢有较高的强度,可以大幅度减轻结构重量,节约钢材,在工程结构中推广使用。

常用低合金高强度结构钢的牌号、化学成分、力学性能和用途见表 1-11。

表 1-11 常用低合金高强度结构钢的牌号、化学成分、力学性能和用途

牌号	质量等级	化学成分/%			力学性能			用途
		ω_C	ω_S	ω_{Mn}	下屈服强度 R_{eL}/MPa	抗拉强度 R_m/MPa	断后伸长率 $A/\%$	
Q345	A	≤ 0.20	≤ 0.50	≤ 1.70	265~345	450~630	17~21	Q345 钢具有良好的综合力学性能,塑性和焊接性良好,冲击韧性较好,一般在热轧或正火状态下使用,用于制造桥梁、船舶、车辆、管道、锅炉、各种容器、油罐、电站、厂房结构、低温压力容器等结构件
	B							
	C							
	D							
	E	≤ 0.18						
Q390	A	≤ 0.20	≤ 0.50	≤ 1.70	310~390	470~650	18~20	Q390 钢具有良好的综合力学性能,焊接性及冲击韧性较好,一般在热轧状态下使用,用于制造锅炉汽包,中高压石油化工容器、桥梁、船舶、起重机、较高负荷的焊接件、连接构件等
	B							
	C							
	D							
	E							
Q420	A	≤ 0.20	≤ 0.50	≤ 1.70	340~420	500~680	18~19	Q420 钢具有良好的综合力学性能,优良的低温韧度,焊接性好,冷热加工性良好,一般在热轧或正火状态下使用,用于制造高压容器、重型机械、桥梁、船舶、机车车辆、锅炉及其他大型焊接结构件等
	B							
	C							
	D							
	E							
Q460	C	≤ 0.20	≤ 0.60	≤ 1.80	380~460	530~720	16~17	Q460 钢适用于制造中温高压容器(低于 120℃)、锅炉、化工、石油高压厚壁容器(低于 100℃),经过淬火、回火后可用于制造大型挖掘机、起重运输机械、钻井平台等
	D							
	E							

2) 合金渗碳钢

合金渗碳钢主要用来制造承受较强烈的冲击作用和磨损条件下工作且截面尺寸较大的渗碳零件,如制作承受动载荷和重载荷的汽车变速箱齿轮和汽车后桥齿轮等。凡是要求表面具有高的硬度和耐磨性、心部具有较高的强度和足够韧性的零件,都可采用合金渗碳钢。

按淬透性不同,合金渗碳钢可分为低淬透性钢、中淬透性钢及高淬透性钢三类。常用合金渗碳钢的牌号、热处理、力学性能及用途见表 1-12。

表 1-12 常用合金渗碳钢的牌号、热处理、力学性能及用途

类别	牌号	热处理/°C			力学性能(≥)			用途
		渗碳	第一次 淬火	回火	R_m /MPa	R_{d1} /MPa	A /%	
低淬透性	20Cr	930	880 水、油	200 水、空	835	540	10	用于制造截面不大的机床变速齿轮箱、凸轮、滑块、活塞、活塞环、联轴器等
	20Mn2	930	850 水、油	200 水、空	785	590	10	代替 20Cr 制造渗碳小齿轮、小轴、汽车变速箱操纵杆等
	20MnV	930	880 水、油	200 水、空	785	590	10	用于制造活塞销、齿轮、锅炉、高压容器等焊接结构件
中淬透性	20CrMn	930	850 油	200 水、空	930	735	10	用于制造截面不大、承受中高载荷的齿轮、轴、蜗杆、调速器的套筒等
	20CrMnTi	930	880 油	200 水、空	1 108	850	10	用于制造截面直径小于 30 mm, 承受调速、中或重载荷及冲击、摩擦的渗碳零件, 如齿轮、爪形离合器等
	20MnTiB	930	860 油	200 水、空	1 130	930	10	代替 20CrMnTi 制造汽车、拖拉机上的小截面、中等载荷的齿轮
高淬透性	12Cr2Ni4	930	860 油	200 水、空	1 080	835	10	用于制造在高载荷下工作的齿轮、蜗轮、蜗杆、转向轴等
	18Cr2Ni4WA	930	950 空	200 水、空	1 180	835	10	用于制造大齿轮、曲轴、花键轴、蜗轮等

3) 合金调质钢

合金调质钢主要用来制造在多种载荷下工作, 承受载荷情况复杂的一些重要零件, 如车床的主轴、汽车底盘的半轴、柴油机连杆螺栓等, 要求零件具有良好的综合力学性能。由于合金元素能强化铁素体, 特别是能提高淬透性, 所以合金调质钢综合力学性能高于碳素调质钢。合金调质钢的主要牌号、热处理、力学性能及用途见表 1-13。

表 1-13 常用合金调质钢的牌号、热处理、力学性能及用途

类别	牌号	热处理/°C		力学性能(≥)			用途
		淬火	回火	R_m /MPa	R_{d1} /MPa	A /%	
低淬透性	40Cr	850 油	520 水、油	980	785	9	用于制造中等载荷、中等转速机械零件, 如汽车的转向节, 机床上的齿轮、轴、蜗杆等。经表面淬火处理后可制造耐磨零件, 如套筒、芯轴、销、连杆螺钉、进气阀等
	35SiMn	900 水	570 水、油	885	735	15	用于制造中等载荷、中等转速零件, 如传动齿轮、主轴、转轴、飞轮等, 可代替 40Cr

续表

类别	牌号	热处理/°C		力学性能(≥)			用途
		淬火	回火	R_m /MPa	R_{eL} /MPa	A /%	
中淬透性	40CrNi	820 油	500 水、油	980	785	10	用于制造截面尺寸较大的轴、齿轮、连杆、曲杆、圆盘等
	40CrMn	840 油	550 水、油	980	835	9	用于制造在高速及弯曲载荷下工作的轴、连杆等,在高载荷和无冲击载荷下工作的齿轮轴、离合器等
	42CrMo	850 油	560 水、油	1 080	930	12	用于制造机车牵引用的大齿轮、增压器传动齿轮、发动机气缸、载荷极大的连杆及弹簧类等
	38CrMoAl	940 水、油	640 水、油	980	835	14	用于制造镗杆、磨床主轴、自动车床主轴、精密丝杠、精密齿轮、高压阀杆、气缸套等
高淬透性	40CrNiMoA	850 油	600 水、油	980	835	12	用于制造重型机械的高载荷的轴类、大直径的汽轮机轴、直升机的旋翼轴、齿轮喷气发动机的蜗轮轴等
	40CrMnMo	850 油	600 水、油	980	785	10	40CrNiMoA 的代用钢

4) 合金弹簧钢

合金弹簧钢主要用于制造弹性元件,如汽车、拖拉机、坦克、机动车车辆的减振板簧和螺旋弹簧、大炮的缓冲弹簧、钟表的发条等。常用合金弹簧钢的牌号、热处理、力学性能及用途见表 1-14。

表 1-14 常用合金弹簧钢的牌号、热处理、力学性能及用途

牌 号	热处理/°C		力学性能(≥)				用途
	淬火	回火	R_m /MPa	R_{eL} /MPa	A /%	Z /%	
65Mn	830,油	540	980	785	8	30	用于制造各种小尺寸扁、圆弹簧,阀弹簧,制动器弹簧等
60Si2Mn	870,油	480	1 275	1 180	5	25	用于制造汽车、拖拉机、机车上的板弹簧、螺旋弹簧、安全阀弹簧,以及在 230 °C 以下使用的弹簧等
60Si2MnA	870,油	440	1 570	1 375	5	20	
60Si2CrVA	850,油	410	1 860	1 665	6	20	用于制造 250 °C 以下工作的弹簧、油封弹簧、碟形弹簧等
50CrVA	850,油	500	1 275	1 130	10	40	用于制造 210 °C 以下工作的弹簧、气门弹簧、喷油嘴管、安全阀弹簧等
60CrMnBA	830~860, 油	460~530	1 275	1 080	9	20	

5) 滚动轴承钢

滚动轴承钢主要用来制造各种滚动轴承元件,如轴承内外圈、滚动体(滚珠、滚柱、滚

针),但保持架通常为 08 钢或 10 钢板冲制而成,也可用作其他用途,如形状复杂的工具、冷冲模具、精密量具以及要求硬度高、耐磨性高的结构零件。常用滚动轴承钢的牌号、成分、热处理和主要用途见表 1-15。

表 1-15 常用滚动轴承钢的牌号、成分、热处理及用途

牌 号	化学成分/%				热处理/℃		回火后硬度 HRC	用 途
	C	Cr	Si	Mn	淬火	回火		
GCr4	0.95~ 1.05	0.35~ 0.50	0.15~ 0.30	0.15~ 0.30	810~830 水、油	150~ 170	62~ 64	用于制造直径小于 20 mm 的滚珠、滚柱、 滚针
GCr15	0.95~ 1.05	1.40~ 1.65	0.15~ 0.35	0.25~ 0.45	810~830 水、油	150~ 160	62~ 64	用于制造壁厚小于 12 mm、外径小于 250 mm 的套圈,直径 为 25~50 mm 的 钢球,直径小于 22 mm 的滚子
GCr15SiMo	0.95~ 1.05	1.40~ 1.70	0.65~ 0.85	0.20~ 0.40	820~846 水、油	150~ 160	62~ 64	用于制造壁厚小于 12 mm、外径小于 250 mm 的套圈,直径 大于 50 mm 的钢球,直 径大于 22 mm 的滚子
GCr15SiMn	0.95~ 1.05	1.40~ 1.65	0.45~ 0.75	0.95~ 1.25	820~846 水、油	150~ 170	62~ 64	

2. 合金工具钢

合金工具钢用于制造刀具、模具和量具,也可用于制造柴油机燃料泵的活塞、阀门、阀座以及燃料阀喷嘴等。与碳素工具钢比,它具有淬透性好、耐磨性好、热硬性高和热处理变形小等优点。其按用途大致可分为刀具钢、模具钢和量具钢三类。

1) 刀具钢

刀具钢是用来制造各种切削刀具的钢种。刀具包括车刀、铣刀、钻头、丝锥等,刀具硬度必须大于被切材料的硬度,一般要求其硬度大于 60 HRC。刀具钢经过适当热处理后应具有高的硬度和耐磨性、高的热硬性、足够的塑性和韧性。此外,刀具钢还要求具有良好的淬透性,使刀具经过淬火、回火处理后,整体具有均匀一致的力学性能,以延长其使用寿命。

2) 模具钢

模具是使金属材料或非金属材料成形的工具,其工作条件及性能要求与被成形材料的性能、温度及状态等有密切的关系。由于各种模具用途不同,工作条件复杂,因而对于模具钢,按其制造模具的工作条件应具有高的硬度、强度、耐磨性,足够的韧度,以及高的淬透性、淬硬性和其他工艺性能。

模具钢大致可分为冷作模具钢、热作模具钢和塑料模具钢三类,用于锻造、冲压、切型、压铸等。

3) 量具钢

量具钢用于制造各种测量工具,如千分尺、游标卡尺、量块、样板等。量具在使用过程中与被测零件接触,经常受到磨损和碰撞。因此,要求量具钢必须具备高硬度、高耐磨性、高的尺寸稳定性及足够的强度和韧性,同时还要求其热处理变形小等。量具钢属于高碳钢($0.9\% \leq w_c \leq 1.5\%$),且加入了提高淬透性的元素 Cr、W、Mn 等。量具钢热处理的关键

键在于保证量具的尺寸稳定性,因此,应尽量降低淬火温度,以减少残余奥氏体量;淬火后立即进行 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}\sim-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冷处理,然后进行低温回火;精度要求高的量具,在淬火、冷处理和低温回火后还需进行时效处理。

3. 特殊性能钢

特殊性能钢是指具有特殊物理性能、化学性能的钢。这类钢不论在成分、组织和热处理工艺上都与一般钢有明显的不同,属于这类钢的主要有不锈钢、耐热钢和耐磨钢。

(1) 不锈钢。不锈钢主要是指在空气、水、盐水溶液、酸及其他腐蚀性介质中具有高度化学稳定性的钢。不锈钢是不锈钢和耐酸钢的统称。能抵抗大气腐蚀的钢称为不锈钢,而在一些化学介质(酸类)中能抵抗腐蚀的钢称为耐酸钢。不锈钢不一定耐酸,而耐酸钢一般有良好的耐蚀性。

常用的不锈钢按其组织状态主要分为马氏体型不锈钢、铁素体型不锈钢和奥氏体型不锈钢三大类,其牌号、成分、热处理、力学性能及用途见表 1-16。

表 1-16 常用不锈钢的牌号、成分、热处理、力学性能及用途

类别	牌 号	化学成分/%		热处理/ $^{\circ}\text{C}$	力学性能			用 途
		C	Cr		R_{m1} /MPa	A/%	HBW	
					\geq	\geq	\leq	
马氏体型	12Cr13	≤ 0.15	11.5~13.5	950~1 000 油冷 700~750 回火	539	25	187	用于制造汽轮机叶片、水压机阀、螺栓、螺母等,以及承受冲击的结构零件
	20Cr13	0.16~0.25	12.0~14.0	920~980 油冷 600~750 回火	588	16	187	
	30Cr13	0.26~0.40	12.0~14.0	920~980 油冷 600~750 回火	735	12	217	
铁素体型	10Cr17	≤ 0.12	16.0~18.0	750~850 空冷或缓冷	400	20	187	耐蚀性良好的通用钢种,用于建筑装潢、家用电器、家庭用具等
	008Cr27Mo	≤ 0.1	28.5~32.0	900~1 050 快冷	450	22	187	耐蚀性很好,制造苛性碱及有机酸设备
奥氏体型	12Cr18Ni9	≤ 0.15	17.0~19.0	1 010~1 150 快冷	520	40	187	用于制造硝酸、化工、化肥等工业设备零件
	06Cr19Ni10N	≤ 0.08	18.0~20.0	1 010~1 150 快冷	550	35	217	在 06Cr19Ni10 中加入氮,强度提高,塑性基本不降低,作为硝酸、化工等工业设备结构用强度零件
	022Cr19Ni10N	≤ 0.03	17.0~19.0	1 010~1 150 快冷	550	40	217	化学、化肥及化纤工业用的耐蚀材料
	06Cr18Ni11Nb	≤ 0.08	17.0~19.0	980~1 150 快冷	520	40	187	用于制造铬镍钢焊芯、耐酸容器、抗磁仪表、医疗机械等

(2) 耐热钢。金属材料的耐热性包含高温抗氧化性和高温强度两方面的综合性能。高温抗氧化性是金属材料在高温下对氧化作用的抗力;而高温强度是金属材料在高温下对机械负荷作用的抗力。因此耐热钢就是在高温下不发生氧化(不起皮),并对机械负荷作用具

有较高抗力的钢。

(3)耐磨钢。一般来说,耐磨钢主要是指在冲击载荷下发生冲击硬化的高锰钢,其化学成分特点是高碳、高锰。高碳可以提高耐磨性,高锰可以保证热处理后得到单相奥氏体。实践证明,高锰钢只有在全部获得奥氏体组织时才呈现出最为良好的韧性和耐磨性。由于高锰钢极易冷变形强化,使切削加工困难,故基本上是铸造成形后使用。

三、铸铁

铸铁是碳的质量分数大于 2.11%(一般碳的质量分数为 2.5%~5.0%)并含有硅、锰、硫、磷等元素的多元铁基合金。与钢相比,铸铁虽然抗拉强度、塑性、韧性较低,但具有优良的铸造性、切削加工性和减振性,生产成本也较低,因此在工业上得到了广泛的应用。铸铁的性能与其组织中所含石墨状态密切相关。

铸铁中的碳主要以渗碳体和石墨两种形式存在,根据碳存在的形式不同,铸铁可以分为白口铸铁、麻口铸和铁灰铸铁。根据灰铸铁中石墨的形态,铸铁可分为:①普通灰铸铁(普通灰铸铁中石墨以片状形式存在);②可锻铸铁(可锻铸铁中石墨以团絮状存在);③球墨铸铁(球墨铸铁中石墨以球状存在);④蠕墨铸铁(蠕墨铸铁中石墨以蠕虫状存在)。

1. 灰铸铁

普通灰铸铁俗称灰铸铁,是一种价格便宜的结构材料,其生产工艺简单,铸造性能优良,是生产中应用最多的一种铸铁。在铸铁生产中,灰铸铁产量约占 80%以上。灰铸铁的强度与铸件壁厚大小有关,同一牌号的灰铸铁,随着壁厚的增加,其抗拉强度和硬度降低。因此,根据工件的性能要求去选择铸铁牌号时,必须考虑铸件壁厚的影响。

灰铸铁的牌号由“HT”和数字组成。其中,“HT”是“灰铁”两字的汉语拼音首字母,数字表示最小抗拉强度,如 HT250 表示抗拉强度 $R_m \geq 250$ MPa 的普通灰铸铁。

常用灰铸铁的牌号、力学性能及适用范围见表 1-17。

2. 可锻铸铁

可锻铸铁俗称玛钢、马铁,它是白口铸铁通过石墨化退火,使渗碳体分解而获得团絮状石墨的铸铁。由于石墨呈团絮状,减轻了石墨对金属基体的割裂作用和应力集中,因此,与灰铸铁相比,可锻铸铁具有较高的强度,塑性和韧性也有很大的提高,故得名可锻铸铁,实际上可锻铸铁并不能锻造。

由于可锻铸铁中的石墨呈团絮状,对基体的切割作用小,故可锻铸铁强度、塑性和韧性均比灰铸铁高,尤其是珠光体可锻铸铁可与铸钢媲美。可锻铸铁通常用于铸造形状复杂、要求承受冲击载荷的薄壁工件,如汽车、拖拉机的前后轮壳、减速器壳、转向节壳等。但由于其生产周期长、工艺复杂、成本高,不少可锻铸铁工件已逐渐被球墨铸铁代替。

3. 球墨铸铁

球墨铸铁是 20 世纪 50 年代发展起来的一种新型铸铁,它是由普通灰铸铁熔化的铁液经过球化处理得到的。球化处理的方法是在铁液出炉后,浇注前加入一定量的球化剂(稀土镁合金等)和等量的孕育剂(硅铁合金或硅钙合金),凝固后得到石墨呈球状的铸铁。

球墨铸铁的牌号由“QT”和两组数字组成。其中,“QT”是“球铁”的汉语拼音首字母,代表球墨铸铁,两组数字分别表示最低抗拉强度和最低断后伸长率,如 QT400-18 表示最低抗拉强度为 400 MPa、最低断后伸长率为 18%的球墨铸铁。

表 1-17 常用灰铸铁的牌号、力学性能及适用范围

牌 号	类 别	铸件壁厚/mm		最小抗拉强度 R_m (强制性值) (min)		铸件本 体预期 抗拉强度 R_m (min)	适用范围
		>	≤	单铸试棒 /MPa	附铸试棒或 试块/MPa		
HT100	铁素体灰铸铁	5	40	100	—	—	用于制造低载荷和不重要零件,如盖、外罩、手轮、支架、重锤等
HT150	珠光体+铁素体灰铸铁	5	10	150	—	155	用于制造承受中等应力(抗弯应力小于 100 MPa)的零件,如支柱、底座、齿轮箱、工作台、刀架、端盖、阀体、管路附件及一般无工作条件要求的零件
		10	20		—	130	
		20	40		120	110	
		40	80		110	95	
		80	150		100	80	
		150	300		90	—	
HT200	珠光体灰铸铁	5	10	200	—	205	用于制造承受较大应力(抗弯应力小于 300 MPa)和较重要零件,如气缸体、齿轮、机座、飞轮、床身、缸套、活塞、刹车轮、联轴器、齿轮箱、轴承座、液压缸等
		10	20		—	180	
		20	40		170	155	
		40	80		150	130	
		80	150		140	115	
		150	300		130	—	
HT225	珠光体灰铸铁	5	10	225	—	230	
		10	20		—	200	
		20	40		190	170	
		40	80		170	150	
		80	150		155	135	
		150	300		145	—	
HT250	孕育铸铁	5	10	250	—	250	
		10	20		—	225	
		20	40		210	195	
		40	80		190	170	
		80	150		170	155	
		150	300		160	—	
HT275	孕育铸铁	10	20	275	—	250	
		20	40		230	220	
		40	80		205	190	
		80	150		190	175	
		150	300		175	—	
HT300	孕育铸铁	10	20	300	—	270	
		20	40		250	240	
		40	80		220	210	
		80	150		210	195	
		150	300		190	—	
HT350	孕育铸铁	10	20	350	—	315	
		20	40		290	280	
		40	80		260	250	
		80	150		230	225	
		150	300		210	—	

注:1. 当铸件壁厚超过 300 mm 时,其力学性能由供需双方商定。

2. 当某牌号的铁液浇注壁厚均匀、形状简单的铸件时,壁厚变化引起抗拉强度的变化,可从本表查出参考数据;当铸件壁厚不均匀或有型芯时,此表只能给出不同壁厚处大致的抗拉强度值,铸件的设计应根据关键部位的实测值进行。

3. 表中斜体字数值表示指导值,其余抗拉强度值均为强制性值,铸件本体预期抗拉强度值不作为强制性值。

四、有色金属及其合金

金属通常分为黑色金属和有色金属。工业上,将铁、锰、铬及其合金称为黑色金属,而把除黑色金属以外的其他金属称为有色金属。有色金属与黑色金属的特性不同,如铝、镁、钛及其合金的密度小,铜、铝及其合金的导电性好,钨、钼及其合金的耐高温性好等。因此,在机械制造、电器制造、航空航天及国防等工业部门,除大量使用黑色金属外,有色金属也得到广泛应用。

1. 铝及铝合金

1) 铝

纯铝具有银白色金属光泽,密度为 2.7 g/cm^3 ,熔点为 $660 \text{ }^\circ\text{C}$,具有面心立方晶格结构,无同素异构转变,具有良好的导电性和导热性,电导率仅次于银、铜、金,具有良好的耐大气腐蚀能力,但不耐酸、碱、盐的腐蚀。纯铝的强度较低(仅为 $80\sim 100 \text{ MPa}$),但塑性极高,易进行冷热变形及切削加工。其比强度比一般的高强度钢大得多。

工业纯铝可分为变形纯铝和铸造纯铝两种。变形纯铝的纯度不低于 99.00% ,其牌号采用四位字符体系,即用 $1\times\times\times$ 表示。该牌号最后两位数字表示最低铝百分含量,从左至右第二位的字母表示原始纯铝的改型情况(字母 A 表示原始纯铝,其他字母表示原始纯铝的改型),如 1A30 表示铝的质量分数不低于 99.30% 的原始纯铝。铸造纯铝的牌号由 Z 和 Al 及表明铝纯度百分含量的数字组成,如 ZA199.5 表示铝的质量分数不低于 99.50% 的铸造纯铝。

2) 铝合金

纯铝的力学性能不高,不宜用作承受较大载荷的结构零件。为了提高纯铝的力学性能,有效的方法是在纯铝中加入适量的硅、铜、镁、锰等合金元素,以制成铝合金。像钢一样,铝合金可借助热处理进行强化,但与钢的热处理不同,固态铝无同素异构转变,只能通过热处理提高其力学性能,并且这些铝合金仍具有纯铝原有的密度小、耐腐蚀性好、导热性好等特点。

铝合金按其成分和工艺特点不同可分为变形铝合金和铸造铝合金。变形铝合金又分为防锈铝合金、硬铝合金、超硬铝合金和锻造铝合金,主要用于制造各类型材和结构件;铸造铝合金又分为铝—硅系铸造铝合金、铝—铜系铸造铝合金、铝—镁系铸造铝合金、铝—锌系铸造铝合金。

2. 铜及铜合金

1) 铜

纯铜又称为紫铜,其密度为 8.96 g/cm^3 ,熔点为 $1083 \text{ }^\circ\text{C}$,具有面心立方晶格结构,无同素异构转变,无磁性,具有良好的导电性、导热性及耐大气腐蚀性,是重要的导电材料,广泛用作电工导体、防磁器械及传热体(如锅炉、制氧机中的冷凝器、散热器、热交换器等)。纯铜的强度低,塑性好,具有良好的压力加工性能和焊接性能,易采用冷、热加工成形。

工业纯铜中的杂质元素主要有 Pb、Bi、O、S、P 等,它们对纯铜的性能影响极大,其中, Pb、Bi 可引起纯铜的热脆性, O、S 可引起纯铜的冷脆性。因此,纯铜必须严格控制杂质元素的含量。工业纯铜的牌号有 T1、T2、T3。T 为“铜”的汉语拼音首字母,其后的数字越大,纯

度越低。如 T1 中铜的质量分数为 $w_{\text{Cu}}=99.95\%$ ，而 T3 中铜的质量分数为 $w_{\text{Cu}}=99.70\%$ 。

2) 铜合金

机械制造生产中广泛使用铜合金。按合金成分不同，铜合金可分为黄铜、白铜和青铜。黄铜是纯铜和锌的合金，主要用于制造转向节衬套、轴套等耐磨件，也可用于制造散热器、冷凝器；白铜是纯铜和镍的合金，主要用于制造精密机械与仪表的腐蚀件及电阻器、热电偶等；青铜是除黄铜和白铜以外的铜合金，青铜根据主加元素 Sn、Al、Be 等的不同，分别形成锡青铜、铝青铜、铍青铜。锡青铜主要用于制造耐蚀承载件，如弹簧、轴承、齿轮轴、蜗轮、垫圈等；铝青铜主要用于制造强度及耐磨性要求较高的摩擦零件，如齿轮、蜗轮、轴套等；铍青铜主要用于制造精密仪器、仪表中各种重要用途的弹性元件，耐蚀、耐磨件，如仪表中齿轮，航海罗盘仪中零件及防爆工具等。

3. 轴承合金

轴承合金是滑动轴承中用于制造轴瓦及其内衬的耐磨合金。为了减少轴承对轴颈的磨损，确保机器的正常运转，轴承合金应具有以下性能：

(1) 在工作温度下具有足够的强度、硬度，特别是抗压强度、疲劳强度和冲击韧性，承受轴的压力和在交变载荷下不产生疲劳损坏。

(2) 具有较小的摩擦系数，减摩性好，储油性好，以减少轴的磨损。

(3) 具有较高的磨合性能和抗咬合能力，具有足够的塑性及韧度，可使负荷均匀分布，并能承受冲击和振动。

(4) 具有良好的耐蚀性、导热性和较小的膨胀系数，可保证轴承不因温度升高而软化或熔化。

为满足上述性能要求，轴承合金的组织应在软的基体上分布硬的质点，或在硬的基体上分布软的质点。当轴旋转时，软的基体(或质点)被磨损而凹陷，减少了轴颈与轴瓦的接触面积，有利于储存润滑油以及轴与轴瓦间的磨合，硬的基体(或质点)支承着轴颈，起承载和耐磨作用。此外，软的基体(或质点)还能起到嵌藏外来硬杂质颗粒的作用，以避免擦伤轴颈。

根据所含合金元素的不同，常用轴承合金可分为锡基轴承合金、铅基轴承合金、铜基轴承合金和铝基轴承合金。锡基轴承合金常用于制造重要的轴承，如汽轮机、发动机、压气机、汽车等巨型机器的高速轴承等；铅基轴承合金常用于制造承受中、低载荷的中速轴承，如汽车、拖拉机的曲轴、连杆、轴承及电动机轴承等；铜基轴承合金常用于制造高速、重载条件下工作的轴承，如航空发动机、高速柴油机、汽轮机上的轴承等；铝基轴承合金本身硬度高，容易损伤轴，因此，只用于制造低速、不重要的轴承。

4. 硬质合金

硬质合金是用粉末冶金方法制成的，具有极高的硬度(可达 86~93 HRA，相当于 69~81 HRC)、很好的耐磨性和热硬性(800℃~1000℃时硬度仍可保持不变)。

硬质合金主要用来制造高速切削刀具的刀片，有时也可用来制造冷作模具或受冲击小、振动小的耐磨零件等。

典型硬质合金的牌号、成分和性能见表 1-18。牌号中的前两位字母“YG”表示“硬、钴”；“YT”表示“硬、钛”；“YW”表示“硬、钨”，后面的数字为特性元素(或化合物)含量的百分数。

对于用来制造刀片的硬质合金,其代号在 2007 年又有新的规定,请见 GB/T 2075—2007。

表 1-18 典型硬质合金的牌号、成分和性能

类别	牌号	主要化学成分				物理、力学性能		
		WC	TiC	TaC	Co	密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	硬度 HRA	强度/MPa
							不小于	
钨钴类合金	YG3X	96.5	—	<0.5	3	15.0~15.3	91	1 079
	YG6	94.0	—	—	6	14.6~15.0	89.5	1 422
	YG8	92.0	—	—	8	14.5~14.9	89.0	1 471
	YG15	85.0	—	—	15	13.0~14.2	87	2 060
	YG4C	96.0	—	—	4	14.9~15.2	89.5	1 422
钨钴钛类合金	YT5	85.0	5	—	10	12.5~13.2	89.5	1 373
	YT14	78.0	14	—	8	11.2~12.0	90.5	1 177
	YT30	66.0	30	—	4	9.3~9.7	92.5	883
通用合金 (万能合金)	YW1	84~85	6	3~4	6	12.6~13.5	91.5	1 177
	YW2	82~83	6	3~4	8	12.4~13.5	90.5	1 324

注:牌号末尾字母的含义为:“X”表示细颗粒合金,“C”表示粗颗粒合金。



任务实施

根据表 1-8 可知,牌号为 Q235 的碳素结构钢强度较高,塑性也较好,用于制作承载较大的金属构件等,也可制作转轴、心轴、拉杆、摇杆、吊钩、螺栓、螺母等。Q235C 和 Q235D 钢可用作重要的焊接件。

任务六 非金属材料



任务描述

在机械制造中,代号为 PC 的塑料有何用途?



任务分析

PC 即聚碳酸酯,是一种塑料,在机械制造中广泛被使用,要完成此任务,需要了解其牌号、性能特点和主要用途等信息。



知识准备

一、高分子材料

通常将金属材料以外的其他材料称为非金属材料。非金属材料的原料来源广泛,成形工艺简单,往往具有金属材料不具备的某些特殊性能,还可与其他材料组成复合材料,使其

兼有两种材料的性能,从而获得更加广泛的应用。

高分子材料是以高分子化合物为主要成分的材料,可分为天然高分子化合物和合成高分子化合物两类。蛋白质、天然橡胶、蚕丝、皮革、木材等属于天然高分子化合物。而塑料、合成橡胶、黏结剂等属于合成高分子化合物。在机械工业中主要应用合成高分子化合物。

1. 塑料

塑料是指以合成树脂高分子化合物(有时用单体直接在加工过程中聚合)作为主要成分,加入某些添加剂后且在一定温度、压力下塑制成形的材料或制品的总称。它具有质量轻、摩擦系数小、耐磨、吸振、耐蚀、绝缘、可以着色、易加工成形等优点,因此,被广泛应用。常用塑料的性能特点和用途见表 1-19。

表 1-19 常用塑料的性能特点和用途

塑料名称	代 号	性能特点	用 途
环氧塑料	EP	EP 为热固性塑料,强度高,韧性好,化学稳定性好,绝缘性、耐热性、耐寒性好	EP 常用于制造塑料模具、精密量具、电气和电子元件等
酚醛塑料	PF	PF 为热固性塑料,强度、刚度大,变形小,耐热性、耐蚀性好,电性能好	PF 常用于制造电气绝缘件、齿轮、轴承、耐酸泵、刹车片、滑轮、仪表外壳等
聚四氟乙烯	F-4	F-4 为热塑性塑料,化学稳定性极好,又称为塑料王,加工成形性差,流动性差,只能采用粉末模压	F-4 常用于制造化工管道、泵、内衬、电气设备隔离防护屏、腐蚀介质过滤器等
聚碳酸酯	PC	PC 为热塑性塑料,抗拉、抗弯、冲击韧性强,有良好的耐热、耐寒性,耐疲劳性不及 PA 和 POM	PC 常用于制造齿轮、齿条、蜗轮、蜗杆、防弹玻璃、电容器等
聚甲醛	POM	POM 为热塑性塑料,具有高密度和高结晶性,性能优于 PA	POM 常用于制造轴承、齿轮、凸轮及仪表外壳、表盘等
聚酰胺	PA	PA 即尼龙或锦纶,为热塑性塑料,力学性能好	PA 常用于制造轴承、齿轮、凸轮、导板、轮胎帘布等
ABS 塑料	ABS	ABS 为热塑性塑料,具有良好的综合力学性能,冲击强度和低温强度高,表面硬度和耐磨性好	ABS 常用于制造减摩耐磨及传动件,齿轮、叶轮、机械设备外壳,化工设备的容器、管道等
聚苯乙烯	PS	PS 为热塑性塑料,耐蚀性、高频绝缘性好,耐冲击及耐热性差,易燃、易脆、无色、透明	PS 常用于制造高频绝缘件,耐蚀件及日用装饰品、食品盒;泡沫 PS 可用于制造隔音、包装等材料
聚丙烯	PP	PP 为热塑性塑料,力学性能优于 PE,且具有良好的耐热性	PP 常用于制造医疗器械、一般机械零件、高频绝缘件
聚氯乙烯	PVC	PVC 为热塑性塑料,力学性能好,且具有良好的耐蚀性	PVC 常用于制造耐蚀构件、一般绝缘薄膜等
聚乙烯	PE	PE 为热塑性塑料。低压 PE 具有良好的耐磨性、耐蚀性、绝缘性,且无毒	PE 常用于制造一般机械构件、化工管道、电线电缆包皮、茶杯、奶瓶、食品袋等

2. 橡胶

橡胶是高聚物中具有高弹性的一种高分子材料,其所处的高弱态温度范围很宽,在较小外力作用下能产生很大的变形,取消外力后又能很快恢复原状。橡胶常用于制造高弹性、密封、减振、防振零件。橡胶以生胶为原料,其主要性能特点如下:

- (1)高弹性。橡胶受外力作用而发生的变形属于可逆弹性变形,当外力去除后,只需要千分之一秒便可恢复原状。
- (2)耐磨性。耐磨性是指橡胶抵抗磨损的能力。橡胶的强度越高,耐磨性越好。
- (3)老化。老化的主要表现形式为变脆、龟裂或变软。

二、陶瓷

陶瓷是一类无机非金属材料,现代陶瓷材料主要是一些金属或非金属的氧化物、氮化物、碳化物及硼化物等。陶瓷材料的性能取决于晶体结构、晶界性质和显微组织。

按所用原料和用途将陶瓷分为普通陶瓷和特种陶瓷两大类。普通陶瓷又称为传统陶瓷,按性能和用途又可分为日用陶瓷、建筑陶瓷、电绝缘陶瓷、化工陶瓷、多孔陶瓷等。它是以黏土、长石、石英等天然材料为原料,经加工、成形、高温烧结而成。特种陶瓷具有特殊的物理、化学、力学性能,可满足多种工程结构和工具材料的要求。

三、复合材料

经人工组合使两种或两种以上不同性质或不同组织的材料形成的多相固体材料,称为复合材料。复合材料可以是非金属与金属的复合,也可以是非金属与非金属的复合或金属与金属的复合。复合材料能充分发挥组成材料的特点,克服或改善单一材料的性能缺点,使其成为具有特殊性能的工程材料。

复合材料的种类较多,根据结构的不同将其分为纤维增强复合材料、层叠复合材料、细粒增强复合材料和骨架复合材料四种。纤维增强复合材料是目前应用最广泛、消耗量最大的一类复合材料,这类材料以纤维增强树脂为主,其中玻璃纤维—树脂复合材料通常称为玻璃钢,质轻而硬,不导电,机械强度高,回收利用少,耐腐蚀。可以代替钢材制造机器零件和汽车、船舶外壳等。

任务实施

根据表 1-19 的相关内容,PC 为热塑性塑料,抗拉、抗弯、冲击韧性高,有良好的耐热、耐寒性,耐疲劳性不及聚甲醛和聚酰胺,常用于制造齿轮、齿条、蜗轮、蜗杆、防弹玻璃、电容器等。

思考与练习

一、填空题

1. 金属材料的常用力学性能指标主要包括_____、_____、_____、_____、_____。
2. 金属晶格的基本类型有_____、_____和_____三种。

3. 铁碳合金组织中有_____、_____、_____、_____和_____五种基本组织。

4. 所谓热处理是将_____或_____在一定介质中_____、_____和_____，以改变材料整体或表面_____，以获得所需_____的一种加工工艺。

5. 合金钢按用途可分为_____、_____和_____三类，按合金元素总的质量分数分类可分为_____、_____和_____三类。

二、选择题

1. 拉伸试验时，试样拉断前能承受的最大应力称为材料的()。

A. 屈服强度 B. 抗拉强度 C. 弹性极限

2. 金属的强度越低、塑性越好，其()越好。

A. 铸造性 B. 压力加工性 C. 焊接性

3. 金属在固态下随温度的改变由一种晶格转变为另一种晶格的现象称为()。

A. 再结晶 B. 同素异构转变 C. 共晶转变

4. 能够完整地反映晶体特征的最小几何单元称为()。

A. 晶胞 B. 晶格常数 C. 晶格

5. 铁碳合金随着碳的质量分数的增加，其强度、硬度()，塑性、韧性降低，原因是其组织中的渗碳体的质量分数增高。

A. 增高 B. 降低 C. 关系不大

三、简答题

1. 画出低碳钢的拉伸曲线，并简述拉伸变形的几个阶段。

2. 何谓金属的同素异构转变？试画出纯铁的结晶冷却曲线和晶体结构变化图。

3. 钢在热处理时加热的目的是什么？钢在加热时的奥氏体化过程分为哪几步？

4. 不锈钢有哪几种分类方法？碳的质量分数对不锈钢的耐蚀性有何影响？

5. 塑料的种类有哪些？他们各具有什么样的特点及应用？