

实验 1

常用钢铁材料的组织观察

1. 实验目的

- (1) 了解常用钢铁材料的平衡组织。
- (2) 了解碳的质量分数(即含碳量)和热加工方法对钢铁组织的影响。
- (3) 了解金相显微镜的使用。
- (4) 初步了解金相图像分析方法。

2. 实验内容

- (1) 观察碳的质量分数不同的碳钢的室温平衡组织。
- (2) 观察灰铸铁、球墨铸铁和可锻铸铁的组织(重点观察其中石墨的形态)。
- (3) 观察铸造、锻造、焊接和热处理等热加工方法和工艺对钢铁材料组织的影响。
- (4) 利用计算机金相图像分析系统分析指定材料的组织参数。

3. 实验设备、用品及试样

- (1) 金相显微镜(每人一台)。
- (2) 常用钢铁材料显微组织试样(每组 10 件)。
- (3) 光学显微镜图像分析系统一套。

4. 实验方法和步骤

- (1) 教师概括性讲解,检查预习情况。
- (2) 两个小组先分别进行本实验与钢的热处理实验,然后对换。
- (3) 观察工业纯铁,质量分数 0.40%、0.77%和 1.2%碳钢的室温平衡组织。注意观察铁素体、珠光体和网状渗碳体的组织形态,以及随碳的质量分数的增加各组成物的含量变化。
- (4) 观察指定钢铁材料的金相试样,画出观察到的显微组织并估计材料的碳的质量分数。

(5) 观察灰铸铁、可锻铸铁和球墨铸铁的组织,认识不同铸铁中石墨的形态。

(6) 观察 45 钢经不同热处理后显微组织的差异,了解热处理工艺对钢铁材料显微组织的影响。

(7) 观察并了解铸造、锻造和焊接等热加工条件下金属的宏观组织特征。

(8) 熟悉计算机金相图像分析系统,利用该系统分析球墨铸铁石墨球的组织形貌参数。

(9) 现场完成实验报告。

5. 相关基础知识

1) 金相显微镜简介

(1) 显微镜的构造

本实验使用的 XJP-2 型金相显微镜如图 1-1 所示,它的构造可分为 3 部分:光学系统、机械系统和照明系统。

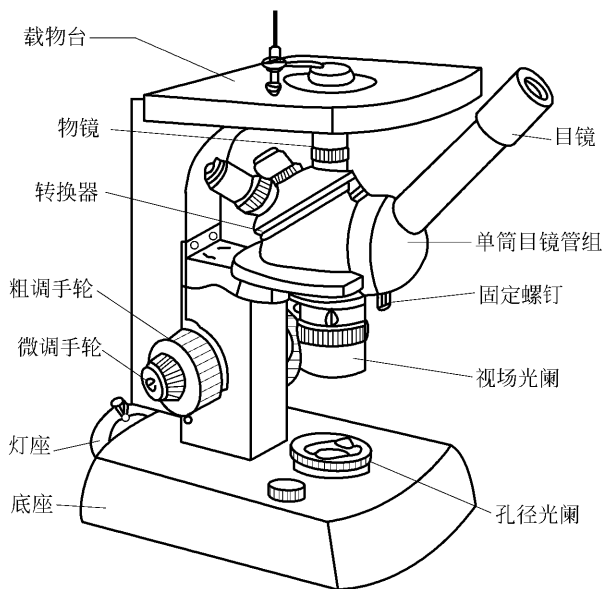


图 1-1 XJP-2 型金相显微镜

① 光学系统由目镜和物镜组成,其中目镜的放大倍数有 $5\times$ 、 $10\times$ 、 $12.5\times$ 3 种,物镜的放大倍数有 $10\times$ 、 $40\times$ 、 $100\times$ 3 种。

② 机械系统由底座(支持整个显微镜体)、载物台(放置试样)、物镜转换器(用以更换不同倍数的物镜)、调焦装置(调节焦距用,分粗调和细调)组成。

③ 照明系统由光源、单筒目镜管组、孔径光阑、视场光阑等组成。 $6\text{ V }15\text{ W}$ 的低压灯泡发出的白色光,经聚光透镜和反光镜后会聚在孔径光阑(可以连续调光)上,然后经过聚

光镜、物镜,使试样表面得到充分均匀的照明。

(2) 显微镜的使用

金相显微镜是精密的光学仪器,使用中一定要爱护,注意下列各点:

① 操作前应了解显微镜的基本原理、构造及各部分的作用。

② 操作时应细心,不能有粗暴和剧烈的动作,不能用手和手帕等去摸、擦镜头的透镜,不要随意拧动各调节螺钉。严禁拆卸显微镜及其附件。

③ 调焦距时,先用粗调手轮将载物台下降,使样品尽量靠近物镜(但不能接触),然后一面从目镜中观察,一面缓慢转动粗调手轮,使载物台上升,待看到组织后,再旋转微调手轮直到图像清晰为止。

④ 选择观察区时,应推动载物台,但不能用手直接移动样品,以免样品表面划伤。

⑤ 使用中出现问题或故障,应立即报告教师,不得自行处理。

⑥ 实验结束后,应将显微镜恢复原位,并登记使用情况。

2) 金属结晶和组织的概念

(1) 金属的结晶过程

不同的固态物质,内部原子的聚集状态不同,其中原子有序排列的称为晶体,否则称为非晶体。金属在固态下都是晶体。金属由液态转变为固态的过程称为结晶。

结晶是由液态物质中出现原子有序排列的微小固态质点开始的,即首先形成晶核,然后晶核长大。结晶过程就是不断形成晶核与晶核不断长大的过程。结晶完成之后,每一个晶核成长为一个晶粒。晶粒之间的界面称为晶界。

(2) 金属的组织

通常,可以将直接用肉眼观察到的或借助于放大镜、显微镜观察到的微观形貌图像统称为组织。用肉眼或放大镜观察到的为宏观组织;用显微镜观察到的为显微组织;用电子显微镜观察到的称为电子显微组织。组织是决定材料性能的一个极为重要的因素。在条件相同的情况下,不同的组织使材料表现出不同的性能。因此,在工业生产中,控制和改变合金的组织具有极为重要的意义。

铁碳合金的室温平衡组织是指合金在极其缓慢的冷却速度(即接近热平衡状态)下冷却至室温所获得的组织。

在实际生产过程中,金属材料所经历的热过程一般都是非平衡热过程,因此金属材料很难得到平衡组织。

(3) 碳钢的基本组织

钢铁材料的两个基本组元为铁(Fe)和碳(C),碳钢在室温下的基本组织有 3 种,分别为铁素体、渗碳体和珠光体。

铁素体:纯铁中溶解了微量的碳(质量分数约 0.0008%)所形成的间隙固溶体。铁素体具有磁性和良好的塑性,硬度较低。经 3%~4% 硝酸酒精溶液腐蚀后,铁素体在显微

镜下呈现亮白色的多边形晶粒。

渗碳体：铁与碳形成的间隙化合物(Fe_3C)，碳的质量分数为 6.69%。渗碳体的力学性能特点是硬而脆，有很高的硬度，但塑性很差，延伸率接近于零。经 3%~4% 硝酸酒精溶液腐蚀后，渗碳体在显微镜下呈亮白色。

珠光体：铁素体和渗碳体的混合物。珠光体的含碳量为 0.77%，其性能综合反映了铁素体和渗碳体的性能，既有较高的强度，又有一定的硬度、塑性和韧性。

这些基本组织的显微组织特征：铁素体为白色均匀的多角形晶粒，晶界呈黑色；自由渗碳体呈亮白色；珠光体中铁素体和渗碳体呈层片状排列。

3) 碳钢的室温平衡组织

关于钢铁的一般知识可参考《金属工艺学实习》(严绍华编写，清华大学出版社出版)第 1 章：金属材料的基本知识。

碳钢的室温平衡组织由铁素体、珠光体和渗碳体 3 种基本组织组成。随着含碳量的不同，碳钢平衡组织中基本组织的含量也相应发生变化。

工业纯铁(碳的质量分数小于 0.0218%)的室温平衡组织是铁素体+三次渗碳体(见图 1-2)。纯铁的塑性和韧性很好，但强度很低。

亚共析钢(碳的质量分数小于 0.77%)的室温平衡组织是铁素体+珠光体。随含碳量的增加，组织中珠光体的量增多(见图 1-3)，钢的强度和硬度提高，塑性和韧性降低。

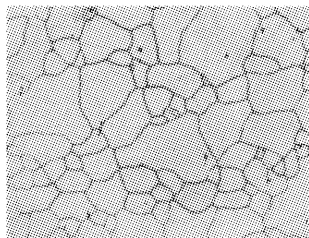


图 1-2 纯铁(铁素体+三次渗碳体)

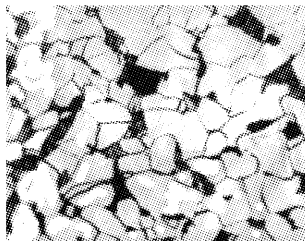


图 1-3 亚共析钢(铁素体+珠光体)

共析钢(碳的质量分数为 0.77%)的室温平衡组织全部是珠光体(见图 1-4)。

过共析钢(碳的质量分数大于 0.77%)的室温平衡组织是珠光体+二次渗碳体(见图 1-5)。渗碳体分布于珠光体晶粒的周围，在金相显微镜下观察呈网状结构，故又称网状渗碳体。碳的质量分数越高，渗碳体层越厚。网状渗碳体割断了珠光体之间的联系，而其本身又呈硬脆性，因此，随碳的质量分数增加，过共析钢的硬度提高，但强度反而下降，同时塑性、韧性很差。

4) 铸铁的显微组织

铸铁是碳的质量分数大于 2.11% 的铁碳合金。铸铁和钢具有相同的金属基体，铸铁中的金属基体相当于纯铁、亚共析钢和共析钢的组织，主要有铁素体、珠光体及铁素体+

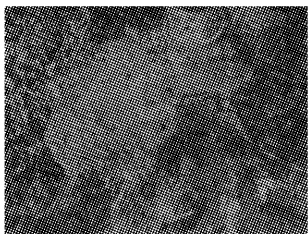


图 1-4 共析钢(珠光体)

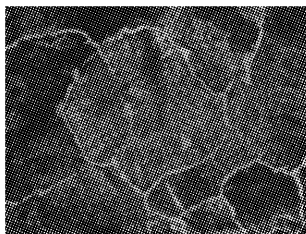


图 1-5 过共析钢(珠光体+二次渗碳体)

珠光体三类。铸铁由于碳的质量分数较高,使其组织中出现游离态的碳,即石墨。除白口铸铁外,各种铸铁之间的区别仅仅在于石墨形态的不同,铸铁与钢的区别仅在于铸铁组织中存在不同形状的游离态石墨。铸铁的组织可以认为是在一定金属基体上分布着不同形态的石墨(见图 1-6~图 1-8)。在普通灰铸铁、可锻铸铁和球墨铸铁中,石墨主要以片状、团絮状和球状的形态分别存在。由于石墨的强度和伸长率都极低($\sigma_b < 20 \text{ MPa}$, $\delta \rightarrow 0$),因此石墨的存在对基体有割裂作用,所以,铸铁的力学性能较差,尤以普通灰铸铁(片状石墨)最差。球墨铸铁因石墨的割裂作用最轻,具有较好的力学性能。

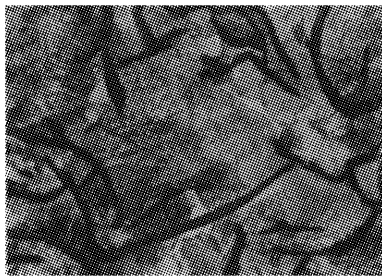


图 1-6 普通灰铸铁(铁素体+珠光体基体)

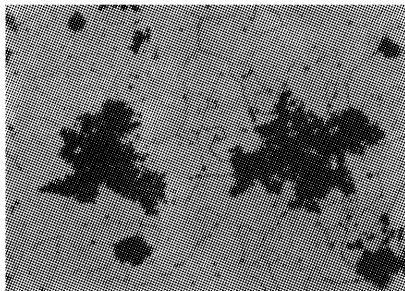


图 1-7 可锻铸铁(铁素体基体)

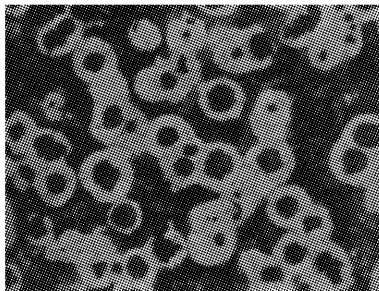
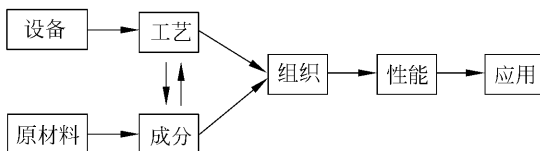


图 1-8 球墨铸铁(铁素体+珠光体基体)

5) 热加工工艺对碳钢组织的影响

在材料加工过程中存在着如下关系:



这个关系在实际生产过程中,表现为设备、工艺条件等的不同决定了热过程的非平衡程度的不同,使得金属结晶和转变过程不同,最终使金属材料的组织呈现多样性,即使同一种金属材料的组织也可呈现不同的形态。可见,正是非平衡过程的多样性,使得工程材料得到不同的组织,具备不同的性能,从而满足各种使用要求。此外,相同的金属组织,晶粒越细小、分布越均匀,其力学性能越高。

与机械制造行业的另一分支机械冷加工工艺相比,机械热加工工艺(铸造、锻造、焊接和热处理等)中上述关系更为明显。热加工过程中其制件不仅发生几何尺寸的变化,而且会发生成分、组织结构及性能的变化。因此,热加工工艺不仅要使制件获得必要的几何尺寸,同时要通过对工艺过程的控制获得一定的化学成分、组织结构和性能,从而保证制件的安全可靠度和寿命。

铸造、锻造、焊接和热处理等热加工工艺都是利用加热—保温—冷却的热过程,达到各自的工艺目的。不同的热加工方法乃至同种加工方法的不同工艺方案决定了不同的非平衡特征,从而使得同一种金属材料经过不同的热加工方法可以得到不同的非平衡组织。正是由于各种加工方法热过程的特点不同,从而对金属的成形和使用性能产生不同的影响,如表 1-1 所示。

表 1-1 不同加工工艺对应的热过程及对应的金属组织和性能特点

工艺	热过程及其特点			成形特点	组织特点	性能或应用
铸造	在熔化设备中熔化金属炉料(熔点以上约 100℃),使满足化学成分要求的金属液体具有流动性	短时间保温静置,使金属熔体中气体、夹杂物上浮	在铸型中较为缓慢地冷却凝固,获得铸件	液态凝固成形	非平衡结晶,一般为粗大的柱状晶。冷却速度越大,晶粒越细小	受压力大的基础件或受力不大的形状复杂件
锻造	在加热设备中加热工件,使其具有良好的塑性,并降低变形抗力	在始锻和终锻温度范围内对工件施以冲击力或压力,使其发生塑性变形,并改善内部组织	在终锻温度以下冷却,得到锻件	固态塑性变形成形	使铸锭原来粗大的晶粒细化,并沿变形方向呈现方向性的特点,减小甚至消除铸锭内部缺陷	受力复杂的形状简单件
焊接	在空气或保护气氛中高能加热,或在加热的同时加压,使构件连接区域快速熔化,形成熔池	基本没保温过程	在熔渣或保护气氛保护下快速冷却凝固,形成焊缝,焊缝以及附近母材冷却速度很不均匀	不可拆卸的连接成形	非平衡结晶特点更为明显,使得焊缝组织的柱状晶的特点更为明显,同时焊缝附近母材金属组织也发生不同程度的变化	接头区域一般为性能薄弱区

续表

工艺	热过程及其特点			成形特点	组织特点	性能或应用
热处理	在加热设备中使工件达到规定温度,工件发生内部组织的变化	工件于加热炉内在规定温度下保温规定时间,使工件热透,或使内部发生组织转变	以不同方式或速度冷却,使工件获得所需要的组织和性能	非 成 形 加工	同种材料经过不同的热处理可得到不同的组织	根据不同的使用要求选用不同的热处理方法

总之,毛坯及热加工方法的选择必须兼顾选材。相同的材料经过不同的加工方法和加工工艺,会形成不同的内部组织,从而具有多种多样的性能,以满足不同的使用要求。另一方面,不同的材料,经过一定的热加工工艺,也可具有相同或相近的性能。尽管各种热加工方法具有自身的特点,但是它们在许多方面是互相渗透、互相交叉的,从工业应用上来说则是互相补充、综合应用的。45 钢经不同热处理后的显微组织如图 1-9~图 1-14 所示。图 1-15~图 1-17 分别为铸钢锭的宏观组织、焊接接头的宏观组织以及轴的锻造组织,从图中可以看出显微组织的明显不同。

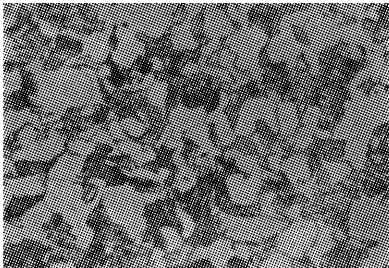


图 1-9 45 钢退火组织

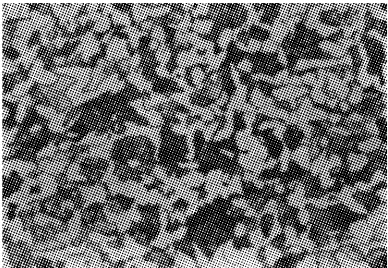


图 1-10 45 钢正火组织

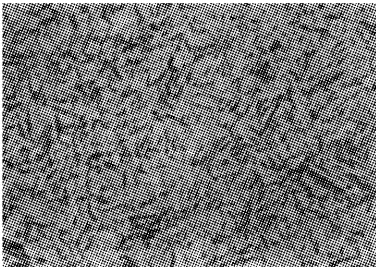


图 1-11 45 钢淬火组织(水淬)

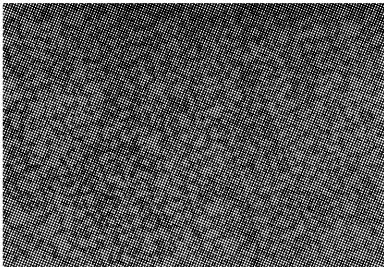


图 1-12 45 钢球化退火组织(720℃)

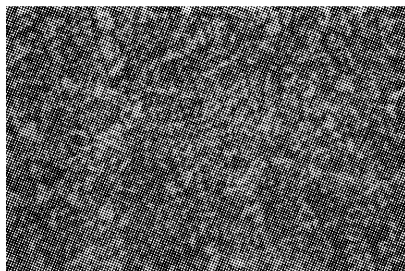


图 1-13 45 钢低温回火组织(200℃)



图 1-14 45 钢高温回火组织(600℃)

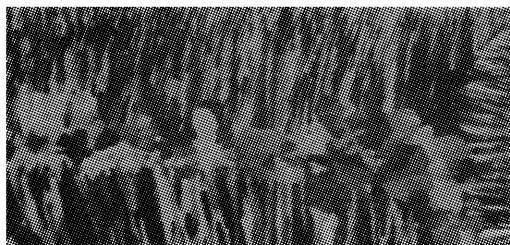


图 1-15 铸钢锭的宏观组织

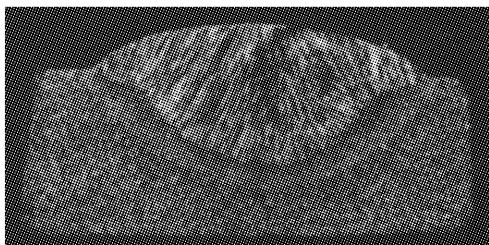


图 1-16 焊接接头的宏观组织

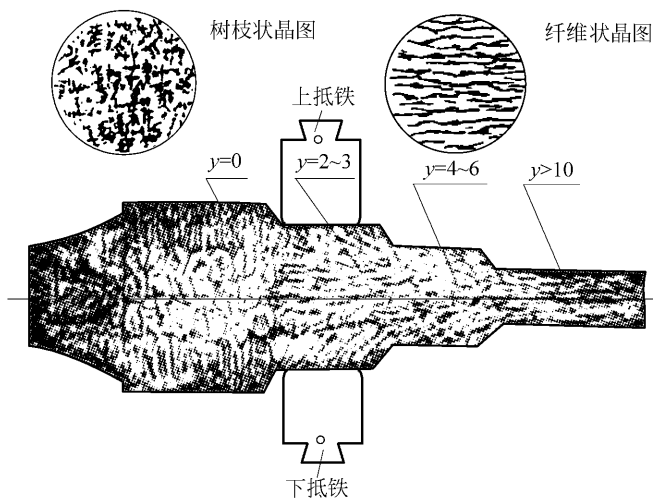


图 1-17 轴的锻造组织

6) 金相图像分析简介

在科学研究和生产质量控制过程中,有大量的图像信息需要进行分析处理,如球墨铸铁中球化率的分析、生物和医学中细胞组织的研究等都需要对图像进行精确的形状描述

以及准确的数字计量。金相图像分析技术是利用定量金相学的体视学有关原理进行图像的分析计算的。现代图像分析装置分析图像的工作都是由计算机完成的。计算机图像分析应用了多种图像处理技术和数学方法,主要包括 3 个方面:①图像的数字化和编码,把图像从连续形式变换为离散形式,以进行计算机处理,并尽量节省存储空间和增大信息容量;②图像的增强和恢复,即改善图像质量,降低噪声;③图像的分割和描述,把图像变换成简化的“图形”,以进行定量参数测量和性质描述。

光学显微镜图像分析系统分为硬件系统和软件系统两部分,如图 1-18 所示。硬件系统主要包括光学显微镜、CCD 摄像头、图像采集卡、高性能计算机、显示器和彩色喷墨打印机。软件系统主要完成显微图像的采集、存储、打印、处理和分析计算等功能。

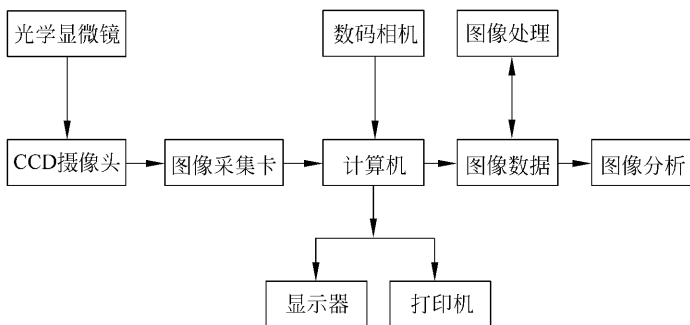


图 1-18 图像分析系统的基本构成

(1) 图像采集：将 CCD 摄像头通过光路转换接口直接连接到显微镜上,CCD 摄像头获得的图像信息通过图像采集卡输入到计算机中。采集到的图像可以在显示器上实时显示。

(2) 图像处理：采集图像冻结后,需要对原始图像进行先期处理,以改善图像质量,为后续的图像分析做准备。主要的图像处理包括：图像复原,消除不属于原图像的杂点,复原模糊的图像;图像增强,对图像进行对比度调整、平滑处理以及尖锐化处理;分割图像,确定阈值,有利于更清晰地查看阈值的合理与否。如果对反显出的图像不满意,可以手动改动阈值的大小。

(3) 图像分析和计算：包括分析计算特征物的当量直径、面积、周长、位置、圆率、长宽比、球率、面积率等,并分别求出它们的最大值、最小值、平均值、标准偏差。

图 1-19 为利用图像分析系统采集的球墨铸铁的显微组织图片。图 1-20 为利用图像分析系统分析球墨铸铁球化率的分析结果。

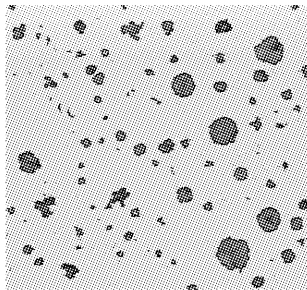


图 1-19 采集的球墨铸铁显微组织照片

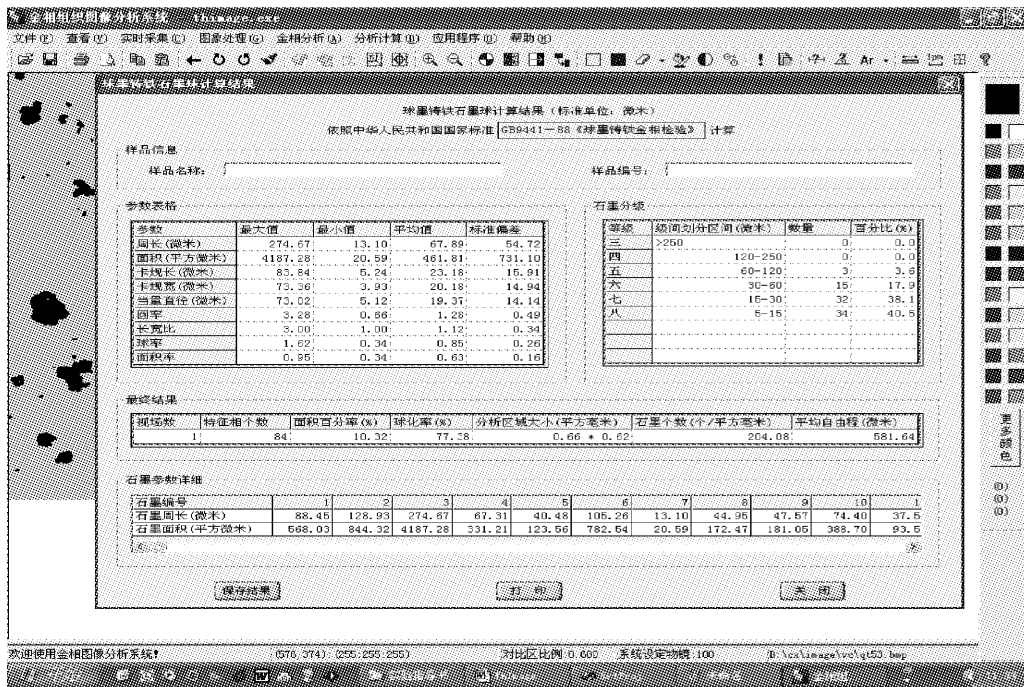


图 1-20 球墨铸铁球化率分析计算结果

6. 思考题

(1) 根据钢的牌号填表回答:

钢的牌号	Q235-A	45	T10A	60Si2Mn	W18Cr4V	1Cr18Ni9Ti
钢种类别						
平均碳的质量分数	×					
各合金元素平均含量	×	×	×			

(2) 碳钢室温平衡组织的组成物有哪几种? 它们的碳的质量分数和力学性能如何?

(3) 亚共析钢、共析钢和过共析钢的室温平衡组织各是什么? 亚共析钢随碳的质量分数增加组织有何变化?

(4) 什么是灰铸铁、可锻铸铁和球墨铸铁? 它们的基体组织是什么? 上述 3 种铸铁中, 哪种力学性能最好? 哪种最差? 为什么?

(5) 为什么铸铁的力学性能比同种基体组织的碳钢低?

附：XJP-2 型金相显微镜安全操作规程

- (1) 使用仪器前必须经指导教师(或本室负责人)许可。
- (2) 使用显微镜时,要做到手、样品清洁,不得有水和腐蚀剂残余。
- (3) 装卸附件要轻拿轻放。
- (4) 严禁用手或其他物品擦镜头,更不要用嘴吹。
- (5) 照明电源电压为 6 V,220 V 电源必须经变压器方可使用。
- (6) 对焦时应先将载物台下降,使样品尽量靠近物镜(但不能接触),然后一边用目镜观察一边转动粗、细调焦手轮使载物台慢慢上升,直到图像清晰,切勿随意调节。
- (7) 使用完毕将仪器放回原处,盖好仪器罩,然后做使用登记。
- (8) 保持实验室清洁,离开本室要关窗、拉闸、锁门。

参考文献

- 1 谢希文等. 金属学实验. 上海:上海科学技术出版社,1987
- 2 崔忠圻等. 金属学与热处理. 北京:机械工业出版社,1989
- 3 邹贵生等. 材料加工系列实验. 北京:清华大学出版社,2005

实验 2

碳钢的热处理及性能分析

1. 实验目的

- (1) 了解热处理的基本操作过程。
- (2) 了解热处理后碳钢的性能特点。
- (3) 了解硬度计的正确使用。

2. 实验内容

(1) 对 45 钢试样分别进行正火、淬火(水淬和油淬)、回火(低温和高温回火)等多项热处理操作。

- (2) 测量 45 钢试样退火、正火、淬火和回火后的洛氏硬度值。

3. 实验设备、用品及试样

- (1) SRJX-4-9 箱式电阻炉 4 台,相应的温度控制系统,HR-150 型洛氏硬度计 4 台。
- (2) 45 钢 $\phi 14\text{ mm} \times 21\text{ mm}$ (每组 5 件)。
- (3) 冷却水,矿物油,试样夹钳,干磨砂布,防护手套等。

4. 实验方法和步骤

- (1) 教师概括性讲解,检查预习情况。

(2) 将 4 件 45 钢试样放入箱式电阻炉中,加热到 $820 \sim 840^{\circ}\text{C}$ 后保温规定时间(根据试样厚度确定)。

(3) 将试样取出,一件放在空气中冷却,一件放入油中淬火,两件放入水中淬火(退火试样因用时长,已提前制备)。各试样的测量面经打磨后,测量并记录洛氏硬度值。

(4) 再将两件完成硬度测量的水淬试样分别进行回火,打磨测量面,测量并记录洛氏硬度值。

(5) 对所测 45 钢试样的硬度值进行分析,分析不同热处理工艺对碳钢力学性能的影响。

(6) 课内完成实验报告。

5. 相关基础知识

1) 钢的热处理简介

钢的热处理是通过钢在固态下的加热、保温和冷却,使钢的内部组织得到改变,进而获得所需性能的一种工艺方法。加热温度、保温时间和冷却方式是热处理的 3 个基本环节,正确选择热处理的工艺参数是保证热处理加工质量的关键。本实验采用 45 钢试样,其热处理规范如下。

(1) 加热温度

退火、正火、淬火的加热温度均为 $820\sim 840^{\circ}\text{C}$ 。回火加热温度分 3 种情况,其中低温回火为 $180\sim 200^{\circ}\text{C}$,中温回火为 $380\sim 400^{\circ}\text{C}$,高温回火为 $540\sim 560^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 保温时间

保温时间根据试样的厚度来确定。在空气介质中加热时,碳钢的保温时间一般按试样厚度每 mm 需 $1\sim 1.5\text{ min}$ 估算。

(3) 冷却方式

退火一般随炉冷却;正火在空气中冷却;淬火时,要根据材质等情况来选用不同的淬火介质,碳钢常采用水冷。

2) 热处理实验炉及其控制系统简介

本实验采用箱式电阻炉,其结构如图 2-1 所示,由炉体、炉体内电热元件和温度控制系统等组成。在通电后以电热体的热效应为热源,在空气介质中以辐射和对流的方式对炉内金属坯料进行加热。

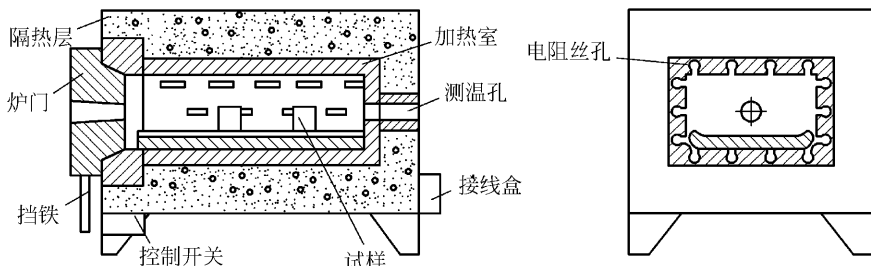


图 2-1 箱式电阻炉结构示意图

通常,改变电热元件的电压或通电时间均可达到升温的目的,以此为原理搭建的电阻炉温度过程控制系统可提高炉膛的加热效率和升温精度。该系统如图 2-2 所示,由电阻

炉、炉温控制箱(内含逻辑过程控制器、温度过程控制器、晶闸管功率器件等)、计算机和打印机构成。工作时,炉膛内的测温热电偶取得温度信号,经补偿导线反馈给温度过程控制器,控制器再通过 PID(比例、积分、微分)控制方法控制功率器件,使其对电阻炉进行可变功率的输出,从而实现较为理想的升温和保温过程。设定温度和过程温度可从温度过程控制器显示面板上直接读取。温度过程控制器通过逻辑过程控制器与计算机进行数据交换,故多台电阻炉的监视和控制也可由计算机集中完成,如常用参数设定、数值显示、温度值曲线显示等。另外,计算机还可进行相关数据文件的存储和打印。

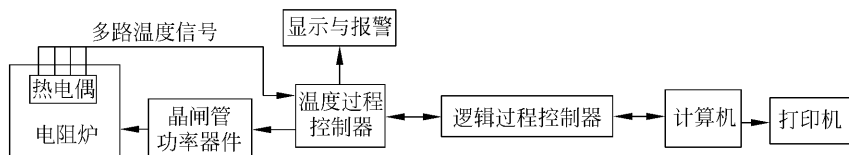


图 2-2 电阻炉温度过程控制系统

电阻炉温度过程控制系统可实现如下功能:①能较准确地达到目标温度;②电阻炉升温速率可调;③电阻炉加热过程可实现自适应 PID 控制;④炉膛热过程的参数和数据的显示;⑤多台箱式电阻炉的集中控制;⑥数据文件的存储和打印。

3) 洛氏硬度计结构简介

图 2-3 为 HR-150 型洛氏硬度计的结构示意图。硬度计由负荷机构、加卸负荷控制机构、测量机构、试样支承机构和机架等部分组成。

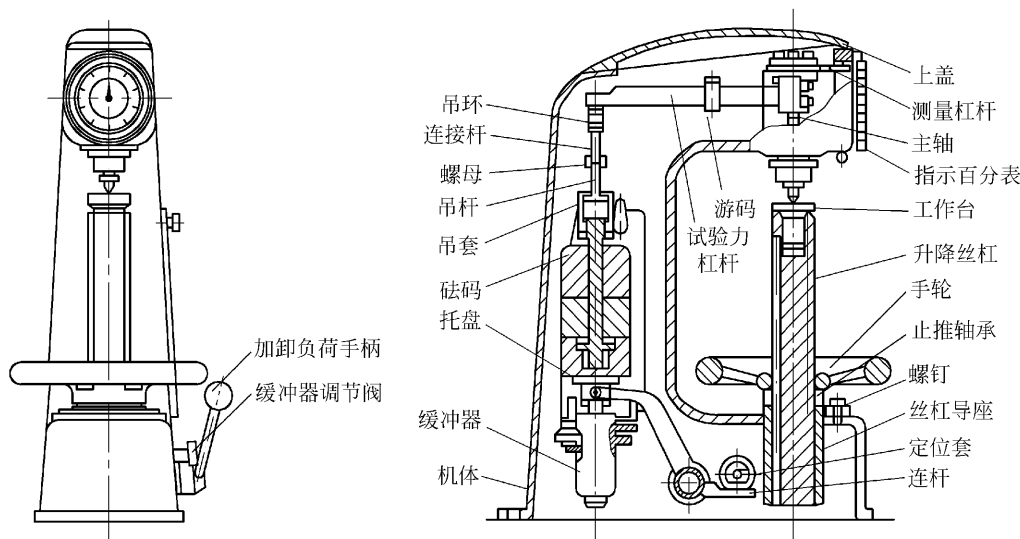


图 2-3 HR-150 型硬度计结构示意图

4) 金属的硬度及洛氏硬度检测

(1) 硬度

金属的硬度是指金属材料对压痕、划痕等局部塑性变形的抵抗能力。硬度是衡量金属软硬程度的判据。当金属受到施加载荷的外物压入或接触摩擦时,金属材料表面的某个区域内会产生抵抗塑性变形的抗力,这种抗力就是金属的硬度。

硬度值是金属材料最常用的力学性能指标之一。硬度值测量中最常用的压入法是施加规定的单向试验力将规定的压头压入金属材料表面,这时金属局部产生塑性变形的压痕。若压痕很小,则金属硬度高,反之金属硬度低(软金属)。

不同的金属材料硬度值的差异很大,其原因是金属材料的化学成分和组织结构有所不同。相同的材料,经过不同的热处理工艺过程后,其内部组织结构发生变化,硬度值也随之改变。由此可知,硬度值的测量是金属材料供货状态和热处理工艺质量控制的检测方法。常用金属硬度试验方法的特征及应用见表 2-1。

(2) 洛氏硬度试验原理

洛氏硬度试验如图 2-4 所示,图中 F_0 为初始试验力; F_1 为主试验力; $F = F_0 + F_1$ 为总试验力;1 为在初试验力 F_0 下的压入深度;2 为由主试验力 F_1 引起的压入深度;3 为卸除主试验力 F_1 后的弹性回复深度;4 为残余压入深度 h ;5 为试样表面;6 为测量基准面;7 为压头位置。洛氏硬度值是无量纲的数值,可直接从硬度计的百分表盘上读出。

洛氏硬度是将压头按图 2-4 分两个步骤压入试样表面,经规定保持时间后卸除主试验力,测量在初始试验力下的残余压痕深度 h 。

根据 h 值及常数 N 和 S ,用式(2-1)计算洛氏硬度:

$$\text{洛氏硬度} = N - \frac{h}{S} \quad (2-1)$$

式中: N 为给定标尺的硬度数;

h 为卸除主试验力后,在初试验力下压痕残留的深度,mm;

S 为给定标尺的单位,mm。

HRB 和 HRC 标尺的硬度测量与计算见下式:

$$\text{HRC} = 100 - \frac{h}{0.002} \quad (2-2)$$

$$\text{HRB} = 130 - \frac{h}{0.002} \quad (2-3)$$

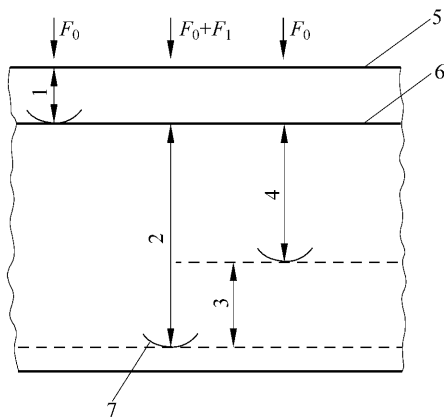


图 2-4 洛氏硬度试验原理图

表 2-1 常用金属硬度试验方法的特征与应用

国家标准号	名称	符号	原理	计算公式	局部变形特征	物理意义	适用范围
GB/T 231.1—2002	金属布氏硬度	HBW	在规定试验力作用下,将硬质合金球形压头压入试样表面,经规定保持时间后卸除试验力,测量试样表面上的压痕直径并计算压痕表面积	$\text{布氏硬度} = \text{常数} \times \frac{\text{试验力}}{\text{压痕表面积}}$ $= 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$	单向静压力作用下局部塑性变形的半球形压痕	压痕单位面积上的抗力变形 (N/mm ² 标识)	铸铁、有色金属及其合金等退火或调质处理的材料供货状态的硬度检测
GB/T 230.1—2004	金属洛氏硬度	HR	在规定试验力作用下将压头(金刚石圆锥、钢球或硬质合金球)分两步压入试样表面,经规定保持时间后,卸除主试验力,得到初始试验力下的残余压痕深度	$\text{洛氏硬度} = N - \frac{h}{S}$ A、C、D 标尺: 洛氏硬度 = $100 - \frac{h}{0.002}$ B、E、F、G、H、K 标尺: 洛氏硬度 = $130 - \frac{h}{0.002}$ N、T 标尺: 洛氏硬度 = $100 - \frac{h}{0.001}$	单向静压力作用下局部塑性变形的圆锥形或球形压痕	给定标尺数值的硬度数 (100/130) 与残余压痕深度算术差	B 标尺适用于测量退火件、正火件; C 标尺适于测量较低硬度淬火件、回火件,其他标尺适用范围见国标
GB/T 4340.1—1999	维氏硬度	HV	在规定试验力作用下,将压头(正四棱锥体金刚石)压入试样表面,经规定保持时间后,卸除试验力,测量压痕对角线长度,并计算压痕表面积	$\text{维氏硬度} = \text{常数} \times \frac{\text{试验力}}{\text{压痕表面积}} \approx 0.1891 \frac{F}{d^2}$	单向静压力作用下局部塑性变形的正四棱锥形压痕	压痕单位面积上的抗力变形 (N/mm ² 标识)	用于材料检测研究和科研,可测量几个至 3000 个硬度单位的材料

本实验仅作 HRB 和 HRC 标尺的硬度值测量,其技术参数见表 2-2。

表 2-2 HRB/HRC 洛氏硬度标尺

洛氏硬度标尺	硬度符号	压头类型	初试验力 F_0 /N	主试验力 F_1 /N	总试验力 F /N	适用范围
B	HRBS	1.5875 mm 直径的钢球	98.07	882.6	980.7	20~100 HRBS
C	HRC	金刚石圆锥	98.07	1373	1471	20~70 HRC

(3) 洛氏硬度检测的操作步骤

检测步骤如下:①选测试点;②预加初始试验力;③调整零点;④加主试验力;⑤卸载读数;⑥返回步骤①。检测过程如图 2-5 所示。

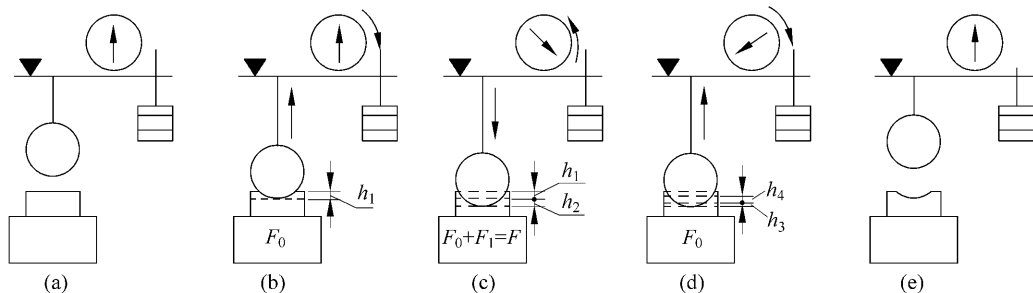


图 2-5 洛氏硬度检测过程示意图

① 选测试点:室温试样应平稳地放在刚性支承物上,压头轴线与试样表面垂直,以避免试样产生位移。两相邻压痕间距不小于 2 mm,压痕中心距边缘不小于 1 mm。每件试样上试验点数不少于 4 点,第 1 点不记。如图 2-5(a)所示。

② 预加初始试验力:顺时针方向旋转手轮,丝杠转动试样台上升,试样表面(图 2-4 所示的位置 5)接触压头后,开始加初始试验力 F_0 ,杠杆向上,百分表大指针顺时针方向旋转,小指针同步转至红点,预加初始试验力保持时间不超过 3 s 完成,如图 2-5(b)所示。在初始试验力 F_0 作用下,试样压入深度 h_1 ,即图 2-4 所示的位置 1。该深度为测量基准面,见图 2-4 所示的位置 6 为基准位置。

③ 调整零点:手动硬度计指示百分表活动表盘,使大指针与 B\C 点重合,零点调整完成。

④ 加主试验力:手动右下侧加载手柄,加主试验力 F_1 后,杠杆向下,压头进一步压入试样,此时压入的深度由试样的软硬所决定。百分表指针逆时针旋转到某一位置为止,如图 2-5(c)所示。在主试验力 F_1 作用下压头压入深度 $h_1 + h_2$,即图 2-4 所示位置 2。

⑤ 卸载读数:手动右下侧卸载手柄,卸除主试验力 F_1 ,初始试验力 F_0 仍保留。由于试验材料的弹性回复,使压头上移,上移高度由该材料的弹性回复量(图 2-4 中的位置 3)决定。此时,试验力杠杆向上,百分表指针顺时针转到某一刻度,如图 2-5(d)所示,该数值即是给定标尺的硬度数 N 与残余压痕深度(残余压痕深度 h_4 见图 2-4 的位置 4)的算术差 h_4 。

⑥ 返回步骤①:逆时针方向旋转手轮,丝杠转动试样台下降,如图 2-5(e)所示。循环步骤①至⑤,可完成多个硬度值测试。

示例:59HRC 表示用 C 标尺测得的洛氏硬度值为 59。即 C 标尺给定的硬度值数 100 与残余压痕深度 41 的差值为 59。这样符合硬度高、数值大的读数习惯。

6. 思考题

- (1) 相同材料(如 45 钢),经不同热处理后,其硬度值有何不同?
- (2) 碳钢力学性能的主要影响因素有哪些?有何影响?
- (3) 退火和正火工艺在材料加工过程中有何用途?
- (4) 试列举“淬火+低温回火”工艺的应用实例,经该工艺处理后的制件其力学性能特点是什么?
- (5) 试列举“淬火+高温回火”工艺的应用实例,经该工艺处理后的制件其力学性能特点是什么?

附 A: HR-150 型洛氏硬度计安全操作规程

- (1) 本硬度计用于测量金属材料的洛氏硬度值。
- (2) 未经许可,不准测量其他材料的硬度,以保护压头。
- (3) 试样的上下表面要磨平、并清除氧化物后方可使用。
- (4) 选择总载荷时,必须在卸载手柄位于“后极限位置”时,方可扳动“变换载荷手柄”。
- (5) 读数:采用金刚石压头时,按读数盘外圈黑体字读取数值;采用钢球压头时,按读数盘内圈红体字读取数值(精确至 0.5HR)。
- (6) 取试样时,按逆时针方向转动工作台手柄,使工作台下降。
- (7) 操作时发现异常情况,需要马上停止使用,并报告值班人员。
- (8) 未经本设备管理人员许可,不准使用该设备。

附 B: SRJX-4-9 型箱式电阻炉安全操作规程

- (1) 使用时切勿超过本电阻炉最高温度。
- (2) 装取试样时一定要切断电源,以防触电。

- (3) 装取试样时炉门开启时间应尽量短,以延长电炉使用寿命。
- (4) 禁止向炉膛内灌注任何液体。
- (5) 不得将沾有水和油的试样放入炉膛;不得用沾有水和油的夹子装取试样。
- (6) 装取试样时要戴手套,以防烫伤。
- (7) 试样应放在炉膛中间,整齐放好,切勿乱放。
- (8) 不得随便触摸电炉及周围的试样。
- (9) 使用完毕后应切断电源。
- (10) 未经管理人员许可,不得操作电炉。

参考文献

- 1 张学政,李家枢. 金属工艺学实习教材. 北京:高等教育出版社,2003
- 2 严绍华,张学政. 金属工艺学实习. 北京:清华大学出版社,2006
- 3 韩德伟. 金属硬度检测技术手册. 长沙:中南大学出版社,2003

实验 3

消失模铸造

1. 实验目的

- (1) 了解消失模铸造工艺及其造型设备。
- (2) 比较消失模铸造工艺与粘土砂湿型铸造工艺的异同点。

2. 实验内容

- (1) 消失模模样的制作(板材切割与黏结)；
- (2) 消失模模样涂料的浸涂与烘干；
- (3) 震动填砂造型与浇注；
- (4) 落砂并观察消失模铸件质量；
- (5) 了解消失模铸造系统的组成及其功能。

3. 实验方法和步骤

- (1) 学生每两人一组,按自己设计的铸件图切削泡沫塑料板材并进行黏结成形；
- (2) 为铸件设计浇注系统；
- (3) 制作模样及浇注系统；
- (4) 将模样和浇注系统一起黏结好、浸涂料,挂在架上晾干,然后放入烘箱内烘干,温度为 $50\pm 2^{\circ}\text{C}$,时间为 8 h；
- (5) 将模样放入砂箱,填砂并震动紧实；注意要边震动边加砂,直浇口顶面与砂箱内最后填砂高度在同一水平面上；
- (6) 在砂箱上表面盖上泡沫塑料薄膜,放上浇口杯砂型；
- (7) 将砂箱从震实台上吊下放在地面上,然后接上抽真空管道；
- (8) 在浇注铁水前 5 min 开始对砂箱抽真空,使真空度达到 0.5 MPa；浇注结束后 10 min 停止抽真空；