**机械工程基础实验**

**实 验 报 告**

****

|  |  |
| --- | --- |
| 姓 名： | 徐屹寒 |
| 学 院： | 机械工程学院 |
| 专 业： | 机械工程 |
| 学 号： | 3230103743 |
| 分 组： | 第3组 |

浙江大学机械工程实验教学中心

2025年9月

# 工程材料实验

## 实验一 铁碳合金及常用铸铁的定量金相显微分析实验

### 一、实验目的

 1. 熟悉室温下碳钢与白口铸铁平衡状态下的显微组织特征，并利用定量分析软件分析其成分与组织之间的关系 。

 2. 了解和鉴别常用铸铁（灰铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁、蠕墨铸铁）的显微组织特征；利用定量分析软件对球墨铸铁的球化率及石墨大小、灰口铸铁的石墨长度进行分析和记录 。

### 二、实验原理

1. 金相显微分析基础：利用金相显微镜观察金属及合金内部组织。试样制备需经过取样、磨制抛光成镜面、浸蚀（如化学浸蚀法）等步骤，利用各相电极电位不同造成腐蚀程度差异，从而在显微镜下显示不同明暗的组织形貌。

2. 定量显微测量：通过测定组织的特征参数（如点、线、面）来建立组织与性能的定量关系。现代方法采用计算机图像分析系统（如NK系列），通过图像采集、数字化、分割和处理，自动测量面积分数、晶粒度、球化率等参数。

3. 铁碳合金显微组织特征：

碳钢：根据含碳量分为亚共析钢（）、共析钢（）和过共析钢（）。含碳量越高，珠光体（）越多，铁素体（）越少。

白口铸铁：组织中不含石墨。分为亚共晶（）、共晶（）和过共晶（）。

常用铸铁：碳主要以石墨形态存在。灰铸铁为片状石墨；球墨铸铁为球状石墨；可锻铸铁为团絮状石墨；蠕墨铸铁为蠕虫状石墨。基体通常为铁素体、珠光体或二者混合。

### 三、实验内容（含设备、步骤）

1. 实验设备与材料

设备：金相电子显微镜、计算机辅助定量金相分析系统（含摄像头、图像采集卡、分析软件等） 。

材料：碳钢和白口铸铁平衡组织试样、常用铸铁金相试样一套、金相图谱 。

2. 实验步骤

（1）组织观察

领取试样和图谱，在显微镜下仔细观察每只金相试样的显微组织特征 。

（2）金相摄像（图像采集）

1. 打开NK金相分析软件及电子显微镜。

2. 分别放置 20号钢、45号钢、灰口铸铁、球墨铸铁 试样。

3. 调节焦距至清晰，每个试样选取 3个不同视场进行拍摄并保存图像。

（3）金相定量分析

利用分析软件对采集的图像进行处理。

多相含量分析（针对20号、45号钢）：

1. 打开图像，点击“双阈值二值化”，进行去噪处理。
2. 单击目标测定铁素体/珠光体含量，记录3次评级结果。

灰铸铁分析：

1. 打开灰铸铁图像，点击“石墨分析形状及长度”。
2. 调整阈值至最佳效果，自动分析石墨长度，记录3次评级结果。

球墨铸铁分析：

1. 打开球铁图像，点击“球墨球化与大小级别”（手动分析）。
2. 进行二值化、修正（填充小孔、去除杂质），进行球化评级，记录3次评级结果。

### 四、实验结果

抄录多相含量分析、球墨铸铁分析、灰铸铁分析的评级表格（每种试样各三次），并依此得出最后评级结果。

根据金相试验报告，将实验结果记录于表中

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试 样 材 料 | 实验次数 | α相百分含量  （珠光体） | β相百分含量  （铁素体） | 理论值（杠杆公式） | 平均值 |
| 20 | 1 | 23.98% | 76.02% |  | 24.07% |
| 2 | 24.66% | 75.34% | 23.82% |
| 3 | 23.56% | 76.44% |  |
| 45 | 1 | 56.21% | 43.79% |  | 57.33% |
| 2 | 57.67% | 42.33% | 57.23% |
| 3 | 58.12% | 41.88% |  |
| 试 样 材 料 | 实验次数 | 平均球化率 | 球化级别 | 球墨大小、级别 | 备注 |
| QT | 1 | 0.779 | 4级 | 1.05 8级 |  |
| 2 | 0.777 | 4级 | 1.00 8级 |  |
| 3 | 0.781 | 4级 | 1.01 8级 |  |
| 试 样 材 料 | 实验次数 | 石墨平均长度 | 石墨长度级别 | 石墨形态、面积（%） | 备注 |
| HT | 1 | 9.455 | 5级 石长9 | 片状A 33.75 |  |
| 2 | 7.860 | 5级 石长9 | 片状A 21.98 |  |
| 3 | 7.077 | 5级 石长9 | 片状A 38.56 |  |

### 五、思考题

1. 在所观察的铁碳合金的组织中，渗碳体有几种形态（可用组织图样表示）？对材料的性能有什么影响？

形态：

条状/短杆状（三次渗碳体）： 在工业纯铁中，三次渗碳体沿铁素体晶界析出，呈条状或短杆状 。

层片状（共析渗碳体）： 在珠光体组织中，渗碳体与铁素体片层相间分布，呈层片状 。

网状（二次渗碳体）： 在过共析钢中，二次渗碳体沿奥氏体晶界析出，呈网状分布于珠光体周围 。

基体/连续状（共晶渗碳体）： 在白口铸铁（莱氏体）中，渗碳体作为连续的基体存在 。

长条状（一次渗碳体）： 在过共晶白口铸铁中，由液态直接结晶出的一次渗碳体呈粗大的白色长条状 。

颗粒状（球化渗碳体）： 在球化退火后的组织中，渗碳体呈颗粒状分布在铁素体基体上 。

性能影响：

数量影响：渗碳体数量越多，材料的硬度越高，脆性越大，塑性和韧性越低。

形态影响：

1. 片状/网状：当渗碳体呈网状分布在晶界时，会严重割裂基体，使钢的脆性显著增加，极易沿晶界断裂。
2. 颗粒状：相比于片状，颗粒状渗碳体对基体的割裂作用最小，因此在硬度相同的情况下，具有更好的塑性和韧性（如球化退火后的组织）。
3. 利用铁碳合金平衡状态图的杠杆定律计算20、45号钢的组织组成物百分含量，与实验结果对照；分析误差产生的原因。

**20号钢（含碳量）：**

珠光体含量 

铁素体含量 

实验结果略低于理论值。

**45号钢（含碳量）：**

珠光体含量 

铁素体含量 

实验结果略低于理论值。

误差产生的原因分析：

1. 在使用定量分析软件（如双阈值二值化）时，阈值的选取会直接影响铁素体和珠光体的分割效果，如果去噪或杂质去除不彻底，会引入误差 。
2. 实际钢材存在成分偏析，取样部位不同（如表面与中心），含碳量和组织分布可能不均匀 。
3. 试样表面可能有划痕、水迹或浸蚀过度/不足，会影响图像分析软件对颜色（灰度）的识别，导致面积计算偏差 。
4. 分析灰铸铁、球墨铸铁中石墨形状对铸铁性能的影响。

灰铸铁（片状石墨）：

形状影响：石墨呈片状，相当于在钢的基体中存在许多微小裂纹。它对金属基体有严重的割裂作用，且片状石墨尖端会产生显著的应力集中 。

性能结果：抗拉强度低，塑性和韧性很差，但具有良好的减振性、耐磨性和切削加工性 。石墨片越粗大、数量越多，性能越差 。

球墨铸铁（球状石墨）：

形状影响：石墨呈球状，其表面积最小，对金属基体的割裂作用最小，且消除了片状石墨尖端的应力集中现象 。

性能结果：强度显著提高，塑性和韧性也有较大改善，综合机械性能接近中碳钢，是性能最好的铸铁 。

1. 根据测量的结果判别石墨级别的大小，分析球化率对材料的力学性能的影响。

石墨级别的大小如实验记录。

球化率对力学性能的影响：

球化率高说明石墨大部分呈圆整的球状，对基体的割裂作用小，应力集中小，材料的抗拉强度、屈服强度、延伸率（塑性）和冲击韧性均较高。

球化率低说明存在大量蠕虫状或团絮状甚至片状石墨，这些形态的石墨会像灰铸铁那样割裂基体，导致材料的力学性能（特别是强度和韧性）急剧下降。

## 实验二 钢经热处理后不平衡组织的显微分析实验

### 一、实验目的

1. 观察碳钢经不同热处理（如正火、淬火、回火等）后的显微组织，深入理解热处理工艺对钢组织与性能的影响 。
2. 熟悉碳钢几种典型不平衡组织（如索氏体、贝氏体、马氏体等）的形态与特征 。
3. 观察高速钢（如W18Cr4V）在不同状态下的显微组织特征 。

### 实验原理

钢经加热并快速冷却后获得的非平衡组织，需结合C曲线（过冷奥氏体等温转变曲线）进行分析。主要观察的组织特征如下：

1. 球化体（球化退火）：过共析钢（如T10）经球化退火后，渗碳体呈颗粒状分布在铁素体基体上。
2. 索氏体（S）与屈氏体（T）：均为铁素体与渗碳体的机械混合物。索氏体层片较细（如45钢正火组织），屈氏体极细，光学显微镜下呈黑色团状。
3. 贝氏体（B）：

上贝氏体（550~350℃形成）：羽毛状特征，由成束的铁素体条和条间断续分布的渗碳体组成。

下贝氏体（350℃~形成）：黑色针状特征（实为含碳过饱和铁素体片内分布短杆状碳化物）。

1. 马氏体（M） ：

板条状马氏体：低碳钢（如20钢）淬火形成，马氏体条平行排列成束。

针（片）状马氏体：高碳钢（如T10）淬火形成，呈竹叶状或针状，互成60°或120°角，常伴有残余奥氏体。

1. 回火组织：淬火马氏体经低温回火形成回火马氏体（黑色针状），随回火温度升高可转变为回火屈氏体或回火索氏体 。
2. 高速钢组织：

铸态：含莱氏体（鱼骨状碳化物）。

锻造退火态：索氏体基体+颗粒状碳化物。

淬火态：隐晶马氏体+残余奥氏体+未溶碳化物。

回火态：回火马氏体+少量残余奥氏体+弥散碳化物（二次硬化）。

### 三、实验内容（含设备、步骤）

* 1. 实验设备与试样

设备：金相电子显微镜、计算机辅助分析系统 。

资料：金相图谱。

试样：碳钢和白口铸铁平衡组织及热处理后金相试样一套 。

* 1. 实验步骤
     1. 领取包含不同热处理状态的碳钢及高速钢金相试样。
     2. 在金相显微镜下仔细观察各个试样（如T10球化退火、45钢正火、T8等温淬火、20钢/T12钢淬火及回火、20钢渗碳、高速钢各阶段组织）的显微组织特征。
     3. 在电脑中截取指定序号（如XD14, XD15等）的显微组织图。画出显微组织示意图，并用引线标注出铁素体、渗碳体、马氏体、残余奥氏体等组成物的名称。
     4. 填写实验结果表，记录材料、热处理工艺、浸蚀剂及观察到的显微组织组成物 。

### 四、实验结果

1．观察各个试样的显微组织特征，画出下列序号为主的显微组织示意图，并用引线标注出组成物名称和观察倍率。**（除XD25为20x10，其他试样观察倍率均为20x40）**

板条状马氏体

马氏体和

残余奥氏体

下贝氏体

XD14 XD15

颗粒状渗碳体

铁素体

索氏体

铁素体

颗粒状渗碳体

回火马氏体

XD17 XD25

未溶碳化物

残余奥氏体

XD26 XD33

隐晶马氏体 + 残余奥氏体

2．观察金相组织，在表中写出以下材料热处理后的组织组成物

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序 号 | 图谱对照号 | 试样材料 | 热 处 理 工 艺 | 浸蚀剂 | 显 微 组 织 |
| XD25 | Ⅱ-10 | T10 | 球化退火 |  | 铁素体 + 颗粒状渗碳体 (或球状珠光体) |
| XD17 | Ⅱ-03 | 45 | 正火 |  | 铁素体 + 索氏体 |
| XD13 | Ⅱ-08 | T8 | 400℃等温水淬 | 4％ | 上贝氏体 (铁素体条 + 条间渗碳体) |
| XD14 | Ⅱ-09 | T8 | 300℃等温水淬 |  | 下贝氏体 + 马氏体 + 残余奥氏体 |
| XD15 | Ⅱ-02 | 20 | 淬火 | 硝 | 板条状马氏体 |
|  | Ⅱ-12 | T12 | 高温淬火 | 酸 | 淬火针状马氏体+残余奥氏体 |
| XD27 | Ⅱ-13 | T12 | 高温淬火+低温回火 | 酒 | 回火马氏体 + 残余奥氏体 |
| XD26 | Ⅱ-11 | T12 | 淬火+低温回火 | 精 | 回火马氏体 + 颗粒状渗碳体 + 残余奥氏体 |
| XD39 | Ⅱ-14 | 20 | 渗碳后缓冷 | 溶 | 表层：珠光体 + 网状渗碳体；  过渡区：珠光体；  心部：铁素体 + 珠光体 |
| XD31 | Ⅲ-04 | W18 Cr4V | 铸态 | 液 | 莱氏体 (屈氏体 + 骨骼状碳化物) |
| XD32 | Ⅲ-05 | W18 Cr4V | 锻造+退火 |  | 索氏体 + 颗粒状碳化物 |
| XD33 | Ⅲ-06 | W18 Cr4V | 淬火 |  | 隐晶马氏体 + 残余奥氏体 + 未溶碳化物 |
| XD34 | Ⅲ-07 | W18 Cr4V | 淬火+三次560℃回火 |  | 回火马氏体 + 碳化物 + 少量残余奥氏体 |

### 五、思考题

1. 分析45钢分别进行完全退火、正火、淬火与调质处理后的组织及性能。根据实验结果，若发现45钢淬火后硬度偏低（与正常淬火后，45钢应有的硬度相比），如何根据显微组织来判别其硬度偏低的原因？

（1）45钢不同热处理后的组织及性能分析

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **热处理工艺** | **显微组织** | **性能特点** |
| **完全退火** | **铁素体 (F) + 珠光体 (P)** | **硬度低，塑性和韧性好，消除内应力，便于切削加工。** |
| **正火** | **铁素体 (F) + 索氏体 (S)** | **强度和硬度比退火态高，综合机械性能较好。** |
| **淬火** | **马氏体 (M)** | **硬度最高，强度高，但脆性大，塑性和韧性很低，内应力大。** |
| **调质 (淬火+高温回火)** | **回火索氏体** | **具有良好的强度、塑性和韧性的配合** |

（2）45钢淬火后硬度偏低的原因

1. 加热不足：

显微特征：如果在淬火组织（马氏体基体）中观察到白色的块状或网状铁素体。

原因：加热温度过低（低于线），导致奥氏体化不完全，部分铁素体未溶入奥氏体中，淬火后保留下来。铁素体硬度极低，导致整体硬度下降。

1. 冷却速度不够：

显微特征：如果在组织中观察到黑色的团块状屈氏体 (T)。

原因：冷却速度小于临界冷却速度，导致过冷奥氏体在高温区发生了非马氏体转变，形成了硬度较低的屈氏体组织。

1. 比较表中序号XD26、XD27试样T12的显微组织，分析产生的原因及性能上的差别。
2. 显微组织对比

XD26：回火马氏体 + 颗粒状渗碳体 + 少量残余奥氏体。

XD27：粗大的针状回火马氏体 + 大量残余奥氏体。

1. 产生原因分析

XD26：加热温度适当（约760℃），即以上，以下。此时奥氏体晶粒细小，且保留了部分未溶的二次渗碳体颗粒。淬火后获得细小的马氏体，且因碳化物未完全溶解，奥氏体中碳含量适中，残余奥氏体量较少。

XD27：加热温度过高（如1000℃），超过了线。高温导致奥氏体晶粒急剧长大，淬火后形成粗大的针状马氏体。二次渗碳体全部溶入奥氏体，导致奥氏体中碳含量极高，降低了和点，致使淬火后残余奥氏体量显著增加。

1. 性能差别

XD26：具有高硬度、高耐磨性，且由于晶粒细小，韧性较好。

XD27：

1. 脆性大：粗大的针状马氏体容易导致微裂纹，显著增加脆性。
2. 耐磨性降低：硬度极高的粒状渗碳体消失，且软的残余奥氏体增多，降低了耐磨性。
3. 硬度可能偏低：虽然马氏体含碳量高硬度高，但大量残余奥氏体的存在可能会导致整体硬度下降。