

# 实验一 铁碳合金的显微组织观察及性能分析

## 一、实验目的：

- 1) 了解金相显微镜的成像基本原理、构造、主要部件及作用；
- 2) 熟悉金相显微镜的使用和其注意事项；
- 3) 掌握分析铁碳合金在平衡状态下及不同工艺热处理后的显微组织形态；
- 4) 加深理解铁碳合金组织与性能之间的关系。

## 二、实验原理：

### 一）、金相显微镜基本理论

金相分析是研究材料内部组织和缺陷的主要方法之一，主要利用金相显微镜将试样放大100~1500倍来研究、鉴别和分析材料内部的组织结构，是研究金属材料微观结构最基本的一种实验技术。通过显微分析可以研究材料内部的组织与其化学成分的关系；可以确定各类材料经不同方式加工及热处理后的显微组织；可以判断材料质量的优劣，如金属材料中诸如氧化物、硫化物等各种非金属夹杂物在显微组织中的大小、数量、分布情况以及晶粒度的大小等。

金相显微镜的种类很多，按功能可分为教学型、生产型和科研型。按结构可分为台式、立式和卧式三大类。其构造均由照明系统、光学系统和机械系统三大部分组成。在工业生产过程中，原材料的检验、铸造、压力加工、热处理等一系列生产过程的质量检测与控制均需使用金相显微镜，同时新材料、新技术的开发以及跟踪世界高科技前沿的研究工作也需要使用金相显微镜，因此，金相显微镜是材料科学领域研究金相组织的重要工具。

### 1、金相显微镜的成像原理：

众所周知，放大镜是最简单的一种光学仪器，它实际上是一块会聚透镜（凸透镜），利用它可以将物体放大。其成像光学原理如图1所示。当物体AB置于透镜焦距 $f$ 以外时，得到倒立的放大实像A'B'（如图1（a））。若将物体AB放在透镜焦距内，就可看到一个放大正立的虚象A'B'（如图1（b））。映象的长度与物体长度之比（ $A'B'/AB$ ）就是放大镜的放大倍数（放大率）。若放大镜到物体之间的距离 $a$ 近似等于透镜的焦距（ $a \approx f$ ），而放大镜到像间的距离 $b$ 近似相当于人眼明视距离（250mm），则放大镜的放大倍数为： $N=b/a=250/f$ 。由上式知，透镜的焦距越短，放大镜的放大倍数越大。一般采用的放大镜焦距在10~100mm范围内，因而放大倍数在2.5~25倍之间。若进一步提高放大倍数，将会由于透镜焦距缩短和表面曲率过分增大而使所形成的映

象变得模糊不清。因此为了得到更高的放大倍数，就要采用显微镜，显微镜放大倍数可以达到1500~2000倍。

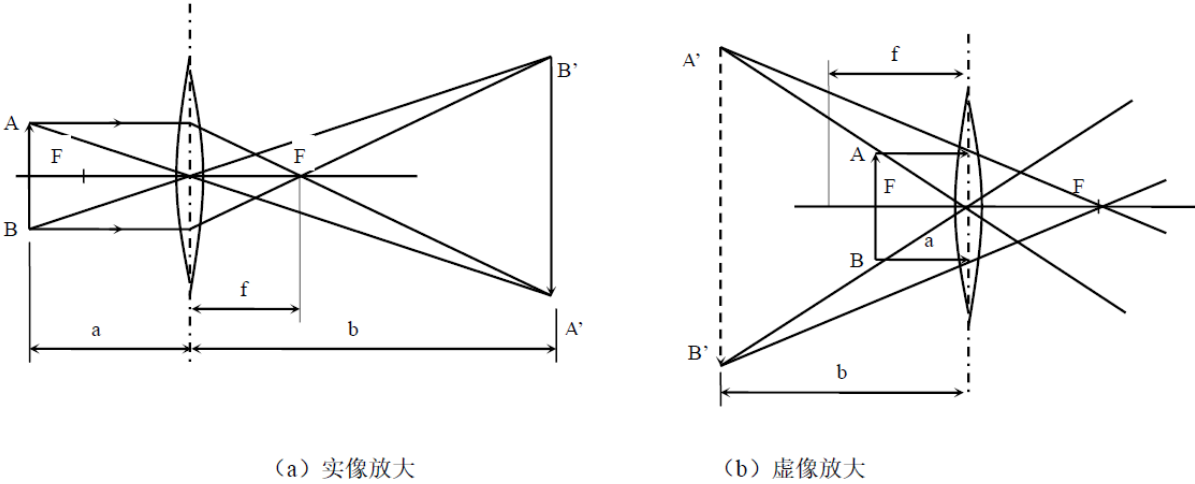


图1：放大镜光学原理图

显微镜不似放大镜那样由单个透镜组成，而是由两级特定透镜所组成。靠近被观察物体的透镜叫做物镜，而靠近眼睛的透镜叫做目镜。借助物镜与目镜的两次放大，就能将物体放大到较高的倍数（~2000倍）。图2所示是在显微镜中得到放大物像的光学原理图。被观察的物体AB放在物镜之前距其焦距略远一些的位置，由物体反射的光线穿过物镜，经折射后得到一个放大的倒立实像A'B'，目镜再将实像A'B'放大成倒立虚像A''B''，这就是我们在显微镜下研究实物时所观察到的经过二次放大后的物像。在设计显微镜时，让物镜放大后形成的实像A'B'位于目镜的焦距 $f_{目}$ 之内，并使最终的倒立虚像A''B''在距眼睛250mm处成像，这时观察者看得最清晰。此时A''B''的放大倍数是物镜放大倍数与目镜放大倍数的乘积。

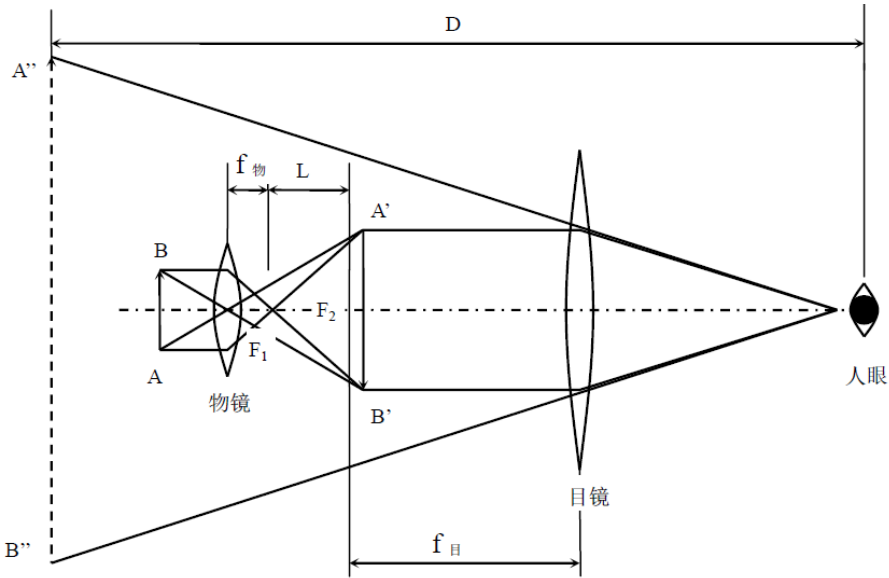


图2：显微镜光学原理图

显微镜的放大倍数为

$$M = M_{\text{物}} \cdot M_{\text{目}} \approx \frac{\Delta}{f_1} \cdot \frac{D}{f_2}$$

式中： $M_{\text{物}}$ -物镜的放大倍数；

$M_{\text{目}}$ -目镜的放大倍数；

$f_1$ -物镜的焦距；

$f_2$ -目镜的焦距；

$\Delta$ -显微镜的光学镜筒长（即物镜后焦点到所成实像的距离）；

D-人眼明视距离，约为250mm。

## 2、金相显微镜的主要性能参数：

**（1）物镜的数值孔径：**物镜的数值孔径表示物镜的聚光能力，数值孔径大的物镜聚光能力强，能吸收更多的光线，使物像更清晰，数值孔径NA越大，分辨率越高。数值孔径为：

$$NA = n \cdot \sin\theta$$

式中： $n$ 表示物镜与观察物之间介质的折射率；

$\theta$ 表示物镜的孔径半角，即通过物镜边缘的光线与物镜轴线所成夹角。

由于 $\sin\theta < 1$ ，所以以空气为介质的干燥系统物镜的数值孔径 $NA < 1$ 。在物方介质为油的情况下 $n \approx 1.5$ ，其数值孔径范围可在 $n \cdot \sin\theta \approx 1.25 \sim 1.35$ 之间，所以高倍物镜通常设计为油镜。较常用松柏油做介质，松柏油的 $n \approx 1.515$ ，最大数值孔径可达 $NA=1.40$ 。

**（2）分辨率（横向分辨率）：**显微镜的分辨率通常用可以分辨出相邻两个物点的最小间距来衡量。这个距离越小，分辨率越高。分辨率为：

$$d = \frac{\lambda}{2NA}$$

式中： $\lambda$ -照明入射光的波长；

NA-物镜的数值孔径，表征物镜的聚光能力。

上式说明显微镜的分辨率与照明光源波长成正比，与透镜数值孔径成反比。即入射光的波长越短，分辨率越高。光源的波长可通过加滤色片来改变。蓝光的波长为0.44um，黄绿光的波长为0.55um，前者比后者的分辨率高25%左右。所以使用黄、绿、蓝等滤色片，可提高显微镜的分辨率。

**（3）焦深（垂直分辨率）：**物镜的分辨率是横向的分辨能力和清晰度，即鉴别相邻组织细节的能力。焦深是物镜对高低不平的物体能够清晰成像的能力，即沿光轴方向能把物体的细节观

察得相当清晰的距离大小。当显微镜准确聚焦于某一平面时，如果位于前面及后面的物面仍能被观察清楚，则该最远两平面之间的距离就是焦深。物镜的焦深为：

$$d_L = \lambda [n^2 - (NA)^2]^{\frac{1}{2}} / (NA)^2$$

式中： $\lambda$ -照明入射光的波长；

$n$ -目的物所在介质的折射率；

$NA$ -物镜的数值孔径。

由上式可知：物镜的数值孔径越大，其焦深越小。在物镜的数值孔径特别大的情况下，显微镜可以有很好的分辨率，但焦深很小。如果要求焦深较大，最好选用数值孔径小的物镜，但这会降低显微镜的分辨率，因此工作时需要根据具体情况进行取舍。

### 3、金相显微镜的构造：

#### (1) 金相显微镜的构造

金相显微镜由照明系统、光学系统和机械系统三部分组成。另有一些显微镜还配有照相装置等附件。

- ① **照明系统**：在显微镜底座内装有一个低压灯泡作为光源，与聚光镜、孔径光阑、视场光阑及反光镜组成显微镜的照明系统，使样品表面获得充分均匀的照明。
- ② **显微镜调焦装置**：显微镜体两侧有粗调及微动调焦旋钮。转动粗调焦旋钮可使载物台迅速升降，微动调焦旋钮可使物镜缓慢地上下运动，以便精确调焦。
- ③ **孔径光阑（AS）**：光路中装有两个光阑。孔径光阑的作用是控制入射光束的大小，缩小孔径光阑可以减小像差，增大景深和衬度，使映像清晰。但随着孔径角的缩小，物镜的数值孔径降低，进而会使物镜的分辨能力降低；增大孔径光阑，入射光束变粗，物镜的孔径角增大，可使光线充满物镜的后透镜，数值孔径可达到物镜体上标刻的 $NA$ 值，分辨率会随之提高。但由于球面像差的增加以及镜筒内部反射及炫光的增加，成像质量将降低。因此孔径光阑使用时需做适当的调节，实际操作中以在目镜筒内看到孔径光阑在物镜后焦面上成像达物镜孔径的80-90%时为好。更换物镜后，孔径光阑需做适当调节。另外，不应用它来调节视场的亮度。
- ④ **视场光阑（FS）**：通过调整视场光阑，可改变显微镜视场大小，可提高映像衬度而不影响物镜的分辨能力。适当调节视场光阑的大小还可减少镜筒内的反射及炫光，提高成像质量。但需注意视场光阑缩得太小，会使观察范围太窄，一般应调节到与目镜视场大小相同。
- ⑤ **滤色片**：滤色片是显微镜的辅助部件，通过合理选用可适当提高成像质量。滤色片是由不

同颜色的光学玻璃片制成的透明薄片，目的是只允许一定波长的光线通过。其主要有以下几个作用：配合消色差物镜使用黄绿色滤色片，可使像差得到最大限度的校正；对复消色差物镜，可采用蓝色滤色片，由于蓝光波长较黄绿光短，因而可提高物镜的分辨率；减弱光源的强度等。

- ⑥ **载物台**：用于放置金相样品，观察面向下。通过调整纵向和横向移动手柄可使载物台在水平面上做一定范围的十字定向运动，以改变试样的观察部位。
- ⑦ **物镜转换器**：转换器可安装不同放大倍数的物镜，旋动转换器可使各物镜镜头进入光路，与不同的目镜搭配使用，以获得各种放大倍数。

MDS400 倒置式金相显微镜的外形构造请见图3。

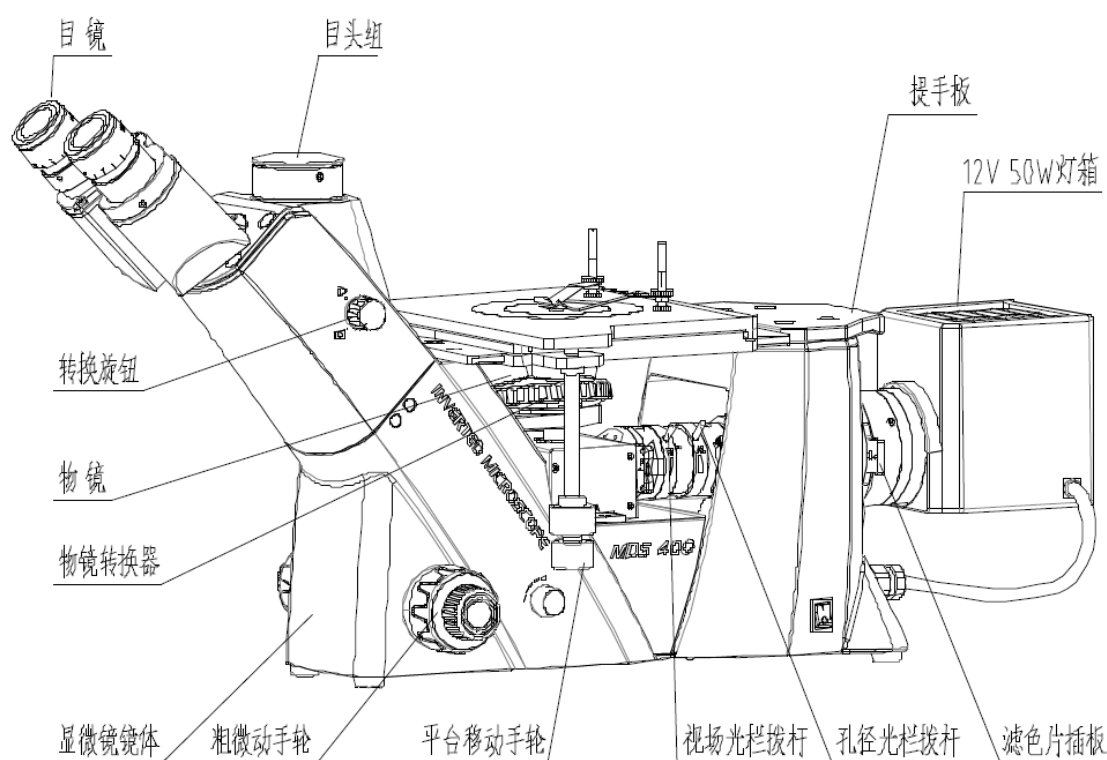


图3 MDS400 倒置式金相显微镜的外形构造

## (2) 金相显微镜的使用方法、注意事项和维护

- ① 使用显微镜前必须保证手、样品干燥整洁，不得残留有水、腐蚀剂、抛光膏等。
- ② 检查显微镜电源连接、目镜和物镜配置、粗调及微调旋钮、光阑、载物台移动等正常后开电源。
- ③ 调整目镜和物镜的倍数组合，一般在**100倍**和**500倍**的放大倍数下进行金相显微观察，试样的观察应从低倍开始，再逐渐转为高倍。

- ④ 将待观察的试样放置于载物台上，调节显微镜粗调手轮缓慢调节物镜与载物台的距离，使物镜与样品之间达到观察所需最小距离(调节过程必须缓慢，避免物镜直接撞击接触到试样)。此时观察目镜，目镜中出现影像，再调节微调手轮，直至影像清晰；
- ⑤ 通过调节孔径光阑、视场光阑，得到最佳观察亮度。
- ⑥ 通过调节载物台纵向和横向移动手柄以移动试样，改变观察区域，不得直接用手移动试样(对于倒置显微镜，如需观察工作台通光孔以外区域时可以提起试样，悬空转动试样，将该区域放置在通光孔中央，继续观察或者调整工作台位置后再进行观察)。
- ⑦ 若要转换放大倍数，首先必须用粗调手轮增大物镜与载物台之间的距离，再将物镜座调至所需的物镜。物镜调到位置后，重复步骤④-⑥进行操作。
- ⑧ 在观察结束后，用粗调手轮增大物镜与载物台之间的距离，而后取下试样。
- ⑨ 每一次离开显微镜工位转入其他操作前，转换物镜座至低倍物镜(初始状态)，调节载物台纵向和横向移动手柄将载物台对中(初始状态)，关闭显微镜电源。
- ⑩ 在整个显微镜观察操作过程中，手、试样等不能触碰物镜、目镜镜头。

## 二)、铁碳合金基础理论

铁碳合金是研究钢铁材料的基础。工程上广泛应用的碳钢、铸铁都属于铁碳合金。铁碳合金是以铁为主，加入少量的碳而形成的合金。平衡组织是指合金在极为缓慢的冷却条件下(如退火状态)所得到的组织。

### 1、Fe-Fe<sub>3</sub>C相图：

Fe-Fe<sub>3</sub>C相图是铁碳合金组织分析、工艺制定、性能预测的依据，在工程实际中有重要的实用价值。我们可以根据Fe-Fe<sub>3</sub>C相图来分析铁碳合金在平衡状态下的显微组织。Fe-Fe<sub>3</sub>C相图如图4所示。铁碳合金平衡组织的相变过程均按Fe-Fe<sub>3</sub>C相图进行。所有碳钢和铸铁在室温下的组织均由铁素体(F)和渗碳体(Fe<sub>3</sub>C)这两个基本相组成。只是因含碳量不同，铁素体和渗碳体的相对数量、析出条件以及分布情况各有所不同，因而呈不同的组织形态。铁碳合金共分为三大类：工业纯铁、碳钢及白口铸铁，进一步分类如图4。

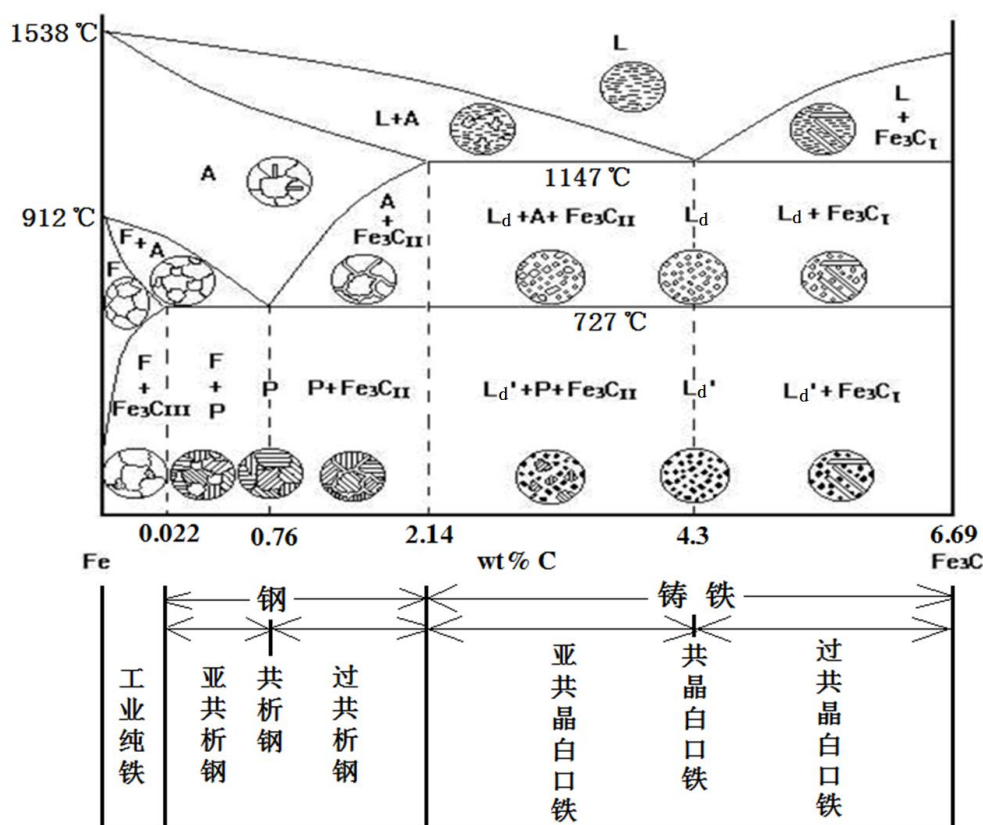


图4: Fe-Fe<sub>3</sub>C相图

## 2、铁碳合金常见金相组织形态

(1) **铁素体 (F)**：碳溶于 $\alpha$ -Fe中的间隙固溶体，体心立方晶格。727℃时含碳量最大，为0.0218%。显微组织浸蚀后呈白色多边形晶粒，晶界呈黑色网络状。亚共析钢中铁素体呈块状分布，当含碳量接近于共析成分时，铁素体则呈断续的网状分布于珠光体周围。铁素体的力学性能特点是强度、硬度低，塑性、韧性好，硬度为50-80HB。

(2) **渗碳体 (Fe<sub>3</sub>C)**：渗碳体是具有复杂晶格结构的间隙化合物，含碳量为6.69%。渗碳体的显微组织形态与形成条件有关。从液相中析出的为一次渗碳体 (Fe<sub>3</sub>C<sub>I</sub>)，呈粗大板条状（如过共晶白口铸铁中）；从奥氏体中析出的为二次渗碳体 (Fe<sub>3</sub>C<sub>II</sub>)，呈网状分布在珠光体边界上（如过共析钢中）；从铁素体中析出的为三次渗碳体 (Fe<sub>3</sub>C<sub>III</sub>)，沿铁素体晶界断续分布，呈断续的条状（如工业纯铁中），由于数量少于0.3%，可忽略不计；共析转变形成的渗碳体为共析渗碳体，呈层片状（如珠光体中）；共晶转变形成的渗碳体为共晶渗碳体，呈块状（如莱氏体基体）。渗碳体抗蚀能力很强，经质量分数为3%~4%硝酸酒精溶液浸蚀后，呈亮白色。力学性能特点是硬而脆。硬度为800HB,伸长率（塑性）约为0，冲击韧度（韧性） $\alpha \approx 0$ 。

(3) **珠光体 (P)**：珠光体是铁素体与渗碳体组成的机械混合物，在平衡状态下，其含碳量为



0.77%。显微组织是片层状，经质量分数为3%~4%硝酸酒精溶液浸蚀后，在不同放大倍数的显微镜下可以看到不同特征的珠光体组织。在高倍放大时能清晰地看到珠光体中平行相间的宽条铁素体和细条渗碳体；当放大倍数较低时，由于显微镜的鉴别能力小于渗碳体片的厚度，这时，珠光体中的渗碳体就只能看到是一条黑线；当组织较细，且放大倍数较低时，珠光体的片层不能分辨，珠光体呈现黑色块状。力学性能特点是综合力学性能好，硬度为180HB。

**(4) 低温莱氏体 ( $L'_d$ ):**低温莱氏体是珠光体和渗碳体组成的机械混合物。在平衡状态下，其含碳量为4.3%。其显微组织呈豹纹状，白色的共晶渗碳体基体上分布着黑色粒状珠光体或黑色棒状珠光体。珠光体的片层因为无法分辨而成黑色。

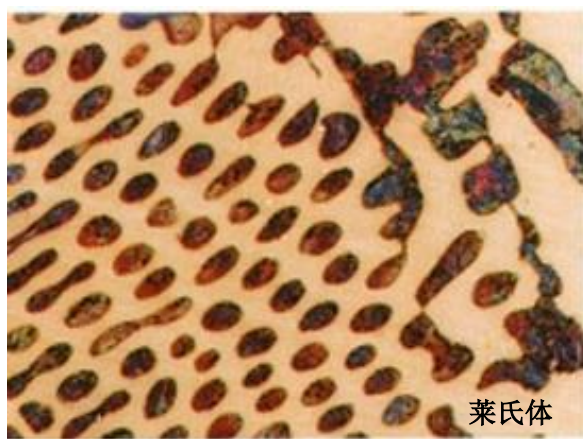


图5: 莱氏体组织

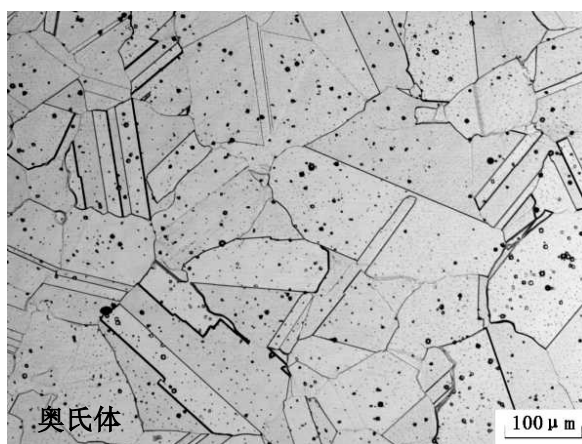


图6: 奥氏体组织

**(5) 奥氏体 (A):**奥氏体是碳溶于 $\gamma$ -Fe中所形成的间隙固溶体，常以A表示。奥氏体存在于727~1495℃的温度区间，是一种高温相，不易腐蚀。若先用4%硝酸酒精溶液腐蚀，再用10%过硫酸铵溶液腐蚀，则奥氏体可染成黑色。高温下奥氏体显微组织为：晶粒呈多边形，与铁素体的显微组织相近似，但晶界较铁素体平直，且晶粒内常有孪晶带出现。

**(6) 马氏体 (M):**马氏体是碳在 $\alpha$ -Fe 晶格中的过饱和固溶体，马氏体组织是奥氏体（溶有充足的碳原子）过冷到低温区（如 240℃ 以下）在连续冷却过程中形成，与其他固态相变所不同的是：较变无孕育期，属于无扩散型相变，当奥氏体快冷到 $M_s$  点（马氏体开始转变的临界温度）以下，立即（爆发式）形成，其形成数量与等温时间无关，只随温度的不断降低而增加。低、中碳钢中的板条状马氏体和高碳钢中的片状马氏体为常见的两种形态。板条状马氏体是由许多马氏体板条集合而成，马氏体板条的立体形态可以是扁条状，也可以是薄板状。相邻板条如不呈孪晶关系，则在其间夹有厚约200Å的薄壳状残余奥氏体，一个奥氏体晶粒可以转变成几个板条束；片状马氏体的立体外形呈双凸透镜状，与试样磨面相截呈针状或竹叶状，又称针状马氏体。马氏体硬度很高，并与含碳量有关，如T8 钢的马氏体硬度可达62~65HRC。



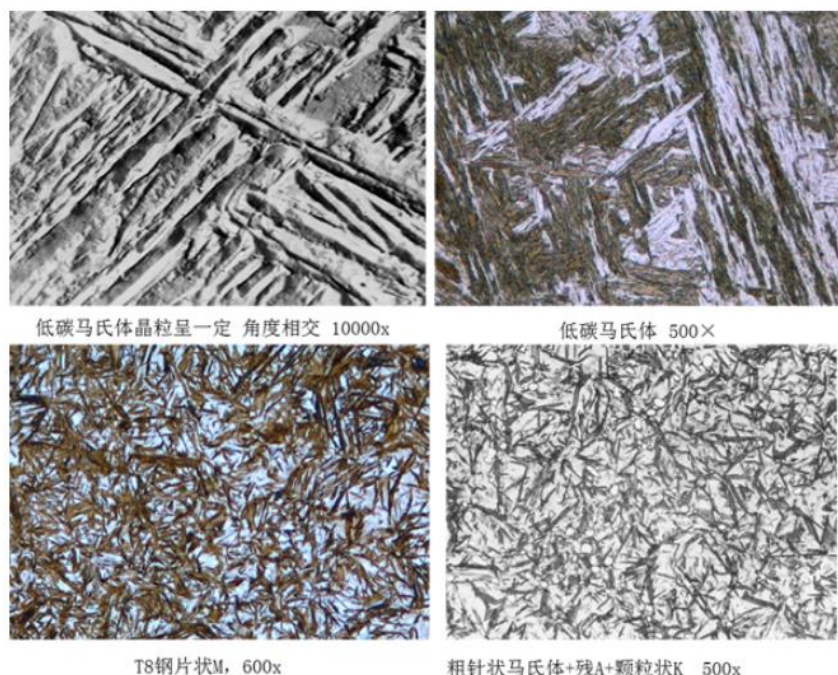
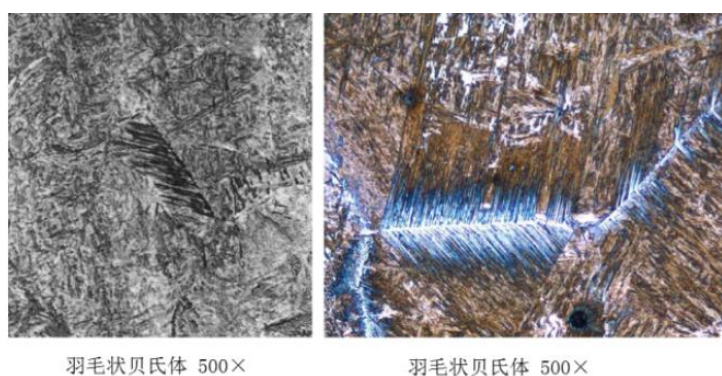


图7：马氏体组织

**(7) 贝氏体 (B)：**贝氏体是钢的奥氏体在珠光体转变温度以下、马氏体转变温度以上的中温区转变的产物。贝氏体乃是铁素体 (F) 和渗碳体 ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) 的机械混合物，介于珠光体和马氏体之间的一种组织。贝氏体由于形成条件不同而具有多种形态：如上贝氏体 (B<sub>上</sub>) 为过冷奥氏体 (A) 在 550~400℃ 温度区间等温所形成，成束的、大致平行的铁素体板条自奥氏体晶界的一侧或两侧向奥氏体晶粒内部长大，渗碳体 (有时还有残留奥氏体) 分布于铁素体板条之间，在光学显微镜下观察，整体呈羽毛状。其硬度为 35~45HRC；下贝氏体 (B<sub>下</sub>) 是过冷奥氏体 (A) 于 400~200℃ 温区所形成。其形核部位大多数在奥氏体晶界上，但也有相当数量在奥氏体晶粒内部。在光学显微镜下，高碳钢的下贝氏体呈针状或竹叶状，互成一定角度。下贝氏体一般一束平行片状的情况较少，绝大多数是以“分枝”的形式分布，且各片下贝氏体之间有一定的交角，其硬度为 45~50HRC。贝氏体还有粒状、柱状、反常贝氏体等结构形态。



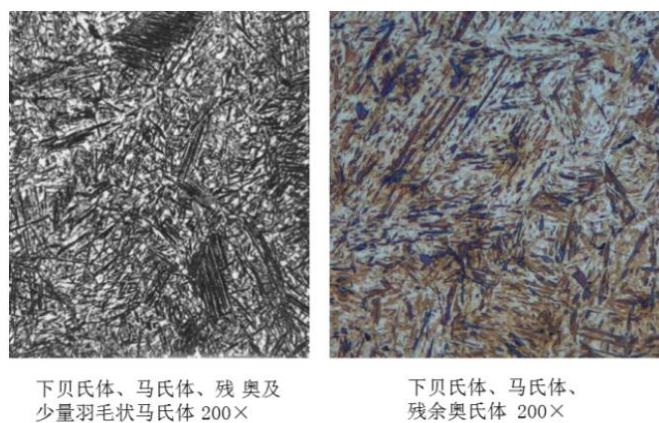


图8：贝氏体组织

**(8) 回火马氏体：**钢经淬火后在250℃以下进行低温回火时，所形成的组织叫回火马氏体，其组织中马氏体针状晶的特征依旧保存。析出的碳化物具有 $\text{Fe}_{2-2.5}\text{C}$ 成分，叫 $\epsilon$ 碳化物。回火马氏体经4%硝酸酒精溶液腐蚀后比淬火马氏体要深，在光学显微镜下，形貌与下贝氏体（B下）相似，马氏体内析出的 $\epsilon$ —碳化物，呈无规则分布。

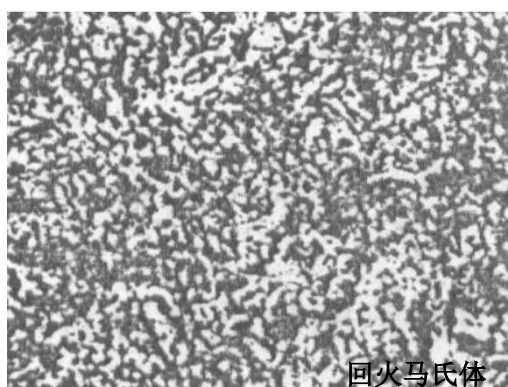


图9：回火马氏体组织

**(9) 回火屈氏体：**钢经淬火后，在400℃左右回火时所形成的极易腐蚀的组织叫做屈氏体。这时，马氏体针状形态消失，但仍隐约可见，回火时析出的碳化物细小，在光学显微镜下难以分辨清楚。

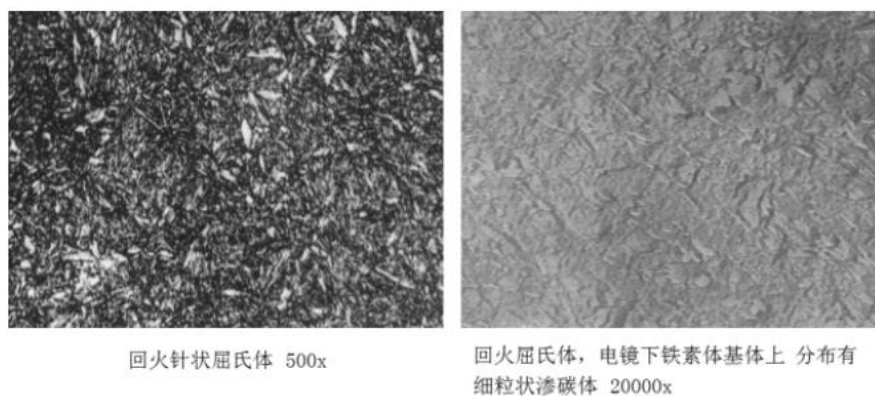


图10：回火屈氏体组织



**(10): 回火索氏体 (S):** 淬火钢在 600℃ 以上回火时, 所形成的组织叫索氏体, 这种组织特点是索氏体基体上中弥散分布着细小的球 (颗粒) 状渗碳体, 在光学显微镜下能分辨清楚。索氏体硬度一般在 280HV 左右。

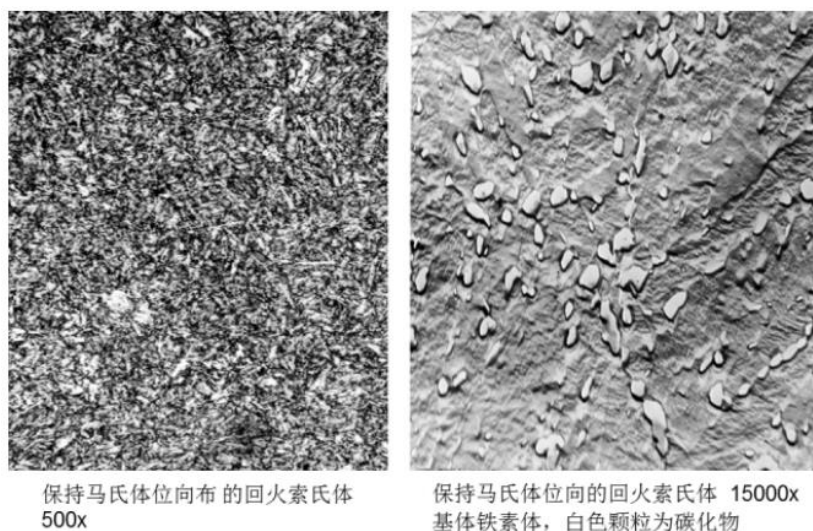


图11: 回火索氏体组织

### 3、七种典型铁碳合金及其平衡组织:

#### (1) 工业纯铁

工业纯铁含碳量小于0.0218%, 室温下的显微组织由白色块状铁素体和极少量的三次渗碳体构成。由于三次渗碳体最多只能达到0.3%, 通常可忽略不计。用硝酸酒精浸蚀后, 显微组织特征呈白色多边形晶粒, 晶界呈黑色网络状, 如图5所示。

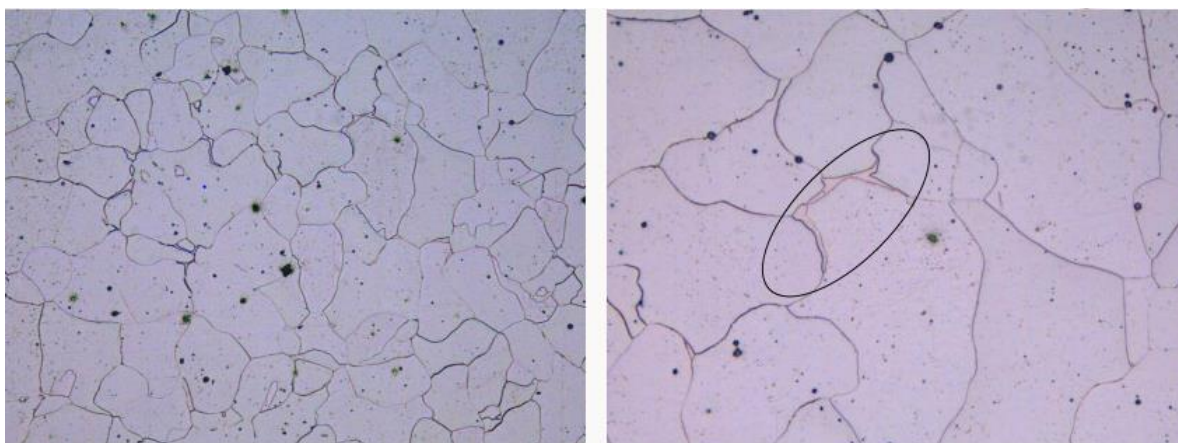


图12: 工业纯铁显微组织。200×, 500×。

#### (2) 亚共析钢

亚共析钢的含碳量为0.0218%~0.77%, 室温下的显微组织由白色块状铁素体 (F) 和珠光

体(P)构成。在显微镜下观察时,若珠光体的层片间距较大或者放大倍数较高时其呈片层状,且可清楚地看到珠光体中平行相间的宽条铁素体和细条渗碳体;若珠光体在层片间距较小或者放大倍数较低时,则其片层结构不能分辨,呈暗黑色。另随着含碳量的增加,珠光体含量增加,铁素体含量减少,两者的相对量可由杠杆定律求得,也可以通过直接在显微镜观察下珠光体和铁素体各自所占面积的百分数,近似地计算出钢的含碳量,即 $\omega(C) \approx S(P) \times 0.77\%$ ,其中S(P)为珠光体所占面积百分数。综合力学性能好,硬度为180HB。图6和图7分别为20钢和45钢室温下的显微组织,其中亮白色为铁素体,暗黑色为珠光体。

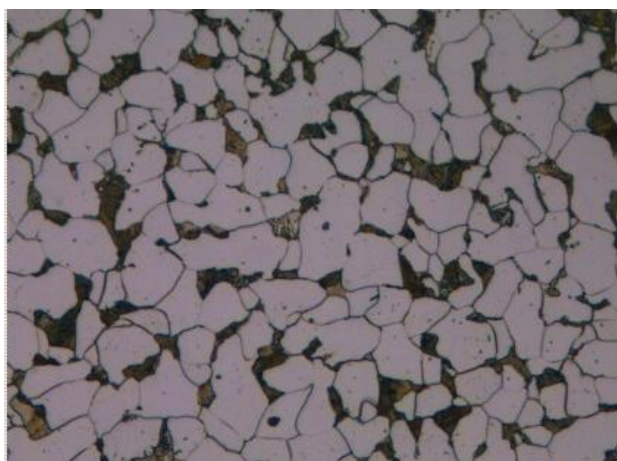


图13: 20钢, 200×

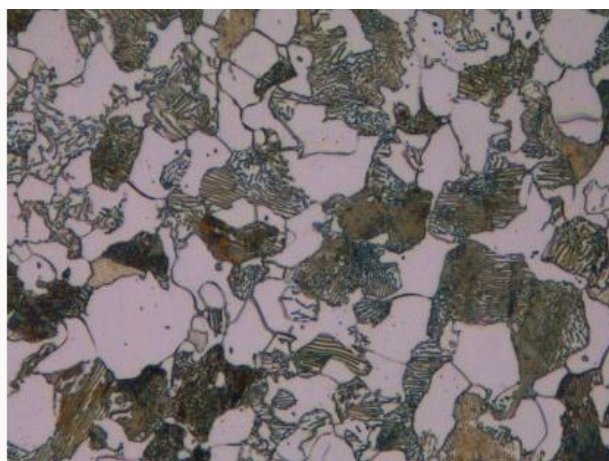


图14: 45钢, 500×

### (3) 共析钢

共析钢含碳量为0.77%, 室温下的显微组织全部由层片状珠光体(P)组织构成, 即片状铁素体和渗碳体的机械混合物。根据杠杆定理计算可知珠光体中铁素体与渗碳体的质量比约为7.9: 1, 因此铁素体厚, 渗碳体薄。用硝酸酒精浸蚀后, 珠光体中铁素体与渗碳体都呈白亮色, 只有相界呈黑色。如图8所示。

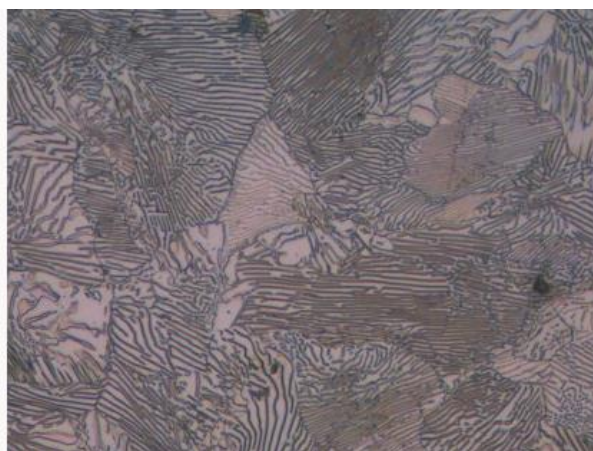


图15: 共析钢(T8)显微组织。200×, 500×。



#### (4) 过共析钢

过共析钢含碳量为0.77~2.11%，室温下的显微组织由白亮色网状二次渗碳体和层片状珠光体（P）构成。随着钢中含碳量增加，二次渗碳体数量也增加。用硝酸酒精浸蚀后，二次渗碳体呈亮白色网分布在珠光体的周围，如图9所示。

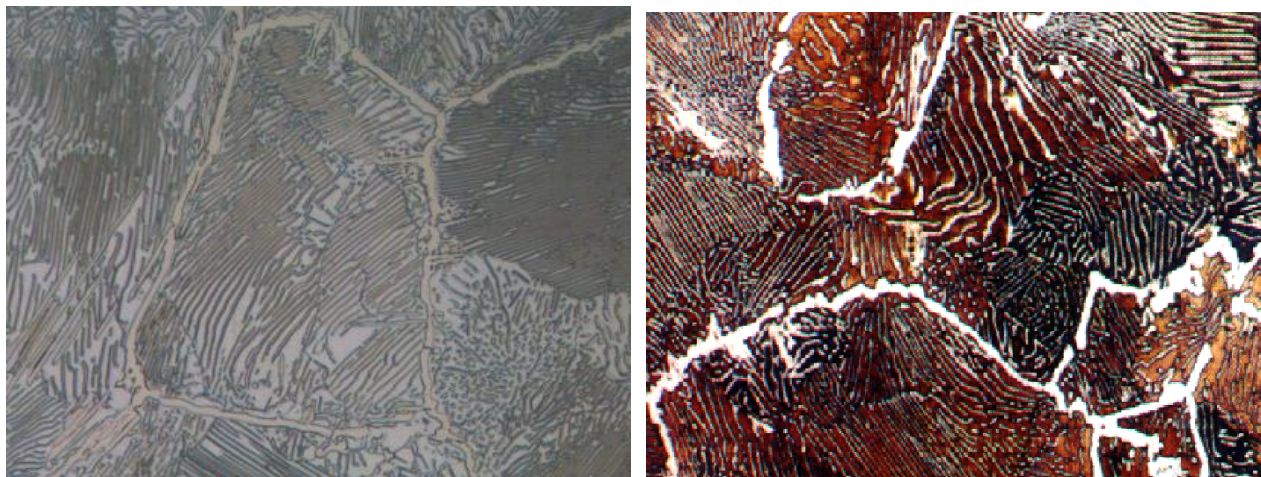


图16：过共析钢（T10，T12）显微组织。 500 ×。

#### (5) 亚共晶白口铸铁

亚共晶白口铸铁含碳量为2.11~4.3%，室温下的显微组织由黑色树枝状珠光体（P）、二次渗碳体 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ 和豹皮状低温莱氏体 $L'_d$ 构成。二次渗碳体在珠光体周围析出，与 $L'_d$ 中的渗碳体连在一起难以分辨，如图10所示。

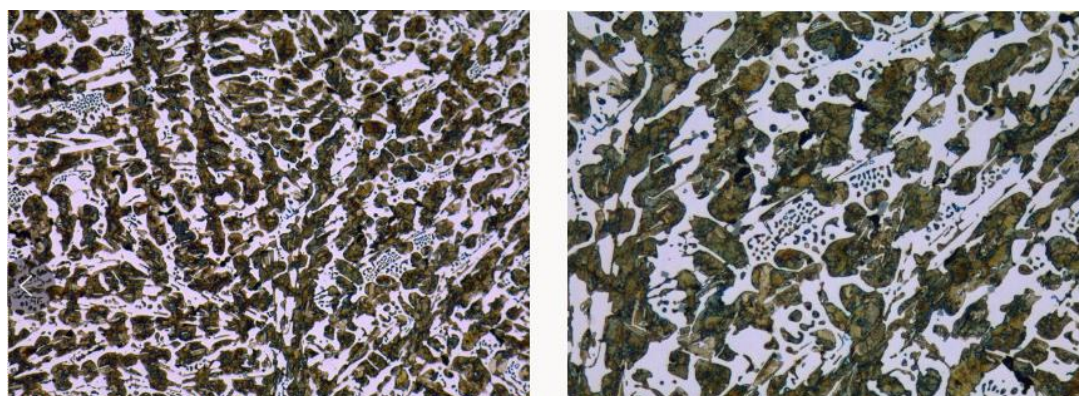


图17：亚共晶白口铸铁，100×，200×

#### (6) 共晶白口铸铁

共晶白口铸铁含碳量为4.3%，室温下的显微组织由豹皮状低温莱氏体 $L'_d$ 构成，其中的白色基体为共晶渗碳体，黑色粒状或棒状组织为珠光体，珠光体的片层状无法分辨而成黑色，如图11所示。低温莱氏体 $L'_d$ 是珠光体和渗碳体组成的机械混合物。



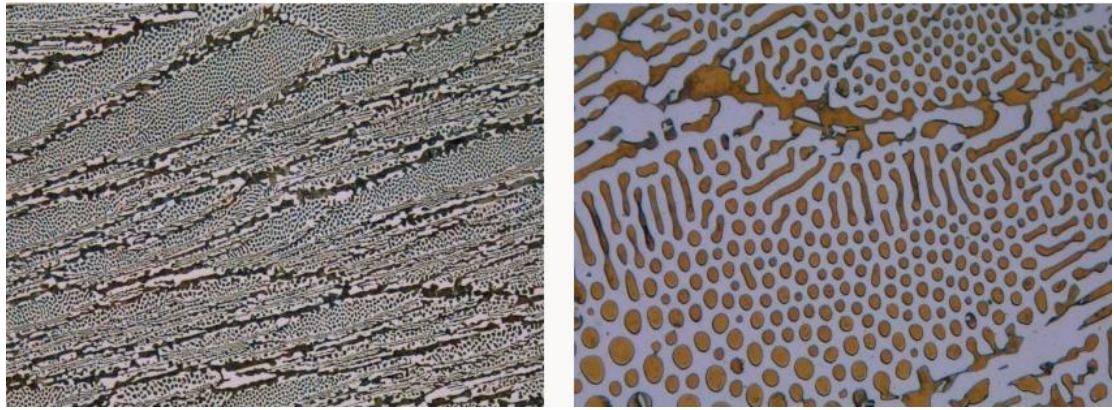


图18：共晶白口铸铁，200×，500×

#### (7) 过共晶白口铸铁

过共晶白口铸铁含碳量为4.3~6.69%，室温下的显微组织由一次渗碳体 $\text{Fe}_3\text{C}_I$ 和低温莱氏体 ( $L'_d$ ) 构成，其中的一次渗碳体呈白亮色板条状分布在低温莱氏体中，如图12所示。

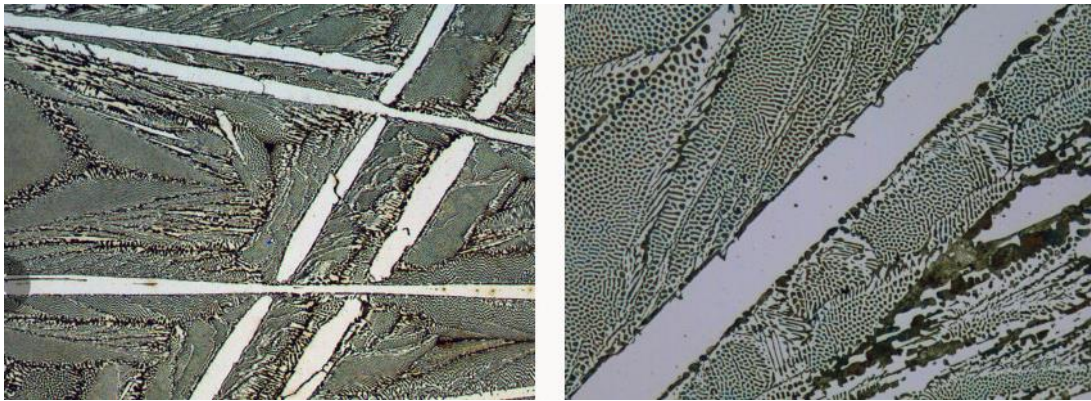


图19：过共晶白口铸铁，50×，200×

### 4、平衡组织的成分、组织、性能之间的关系

#### (1) 含碳量对铁碳合金平衡组织的影响

含碳量与缓慢冷却后相及组织组成物之间的定量关系如图13所示。

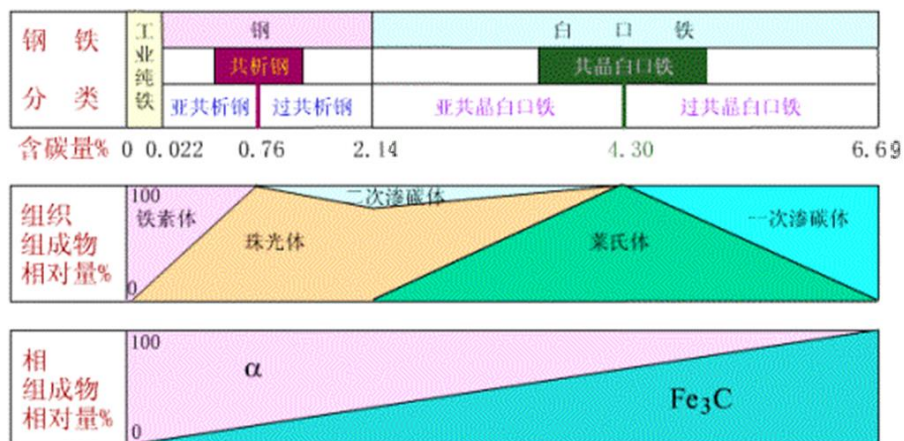


图20：含碳量与相及组织定量关系示意图

## (2) 含碳量对力学性能的影响

- ① **强度**：强度对组织形态很敏感。含碳量小于0.77%时，随含碳量的增加，珠光体量增多，强度增加；含碳量在0.77~0.9%时，由于网状 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ 的出现，强度增加变慢；含碳量达到0.90%时，强度出现峰值；含碳量大于0.90%时， $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ 沿晶界形成完整的网，强度迅速降低，随着碳质量分数的进一步增加，强度不断下降；含碳量超过2.11%后，合金中出现 $L'_d$ 时，强度已降到很低的值。再增加含碳量时，由于合金基体都为脆性很高的 $\text{Fe}_3\text{C}$ ，强度变分不大且值很低，趋于 $\text{Fe}_3\text{C}$ 的强度（约20-30MPa）。
- ② **硬度**：硬度主要取决于组织组成物的硬度和质量分数，随含碳量的增加，合金的硬度呈直线关系增大，由全部为铁素体（F）的硬度约80HB，增大到全部为渗碳体 $\text{Fe}_3\text{C}$ 时的硬度约为800HB。
- ③ **塑性**：铁碳合金的塑性全部由铁素体（F）提供，渗碳体（ $\text{Fe}_3\text{C}$ ）是极脆的相，没有塑性。所以随含碳量的增大，铁素体（F）量不断减少时，合金的塑性连续下降。到合金成为白口铸铁时，塑性接近于零。
- ④ **韧性**：韧性对组织十分敏感，随着合金含碳量的增加，韧性下降。当出现网状 $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$ 时，韧性急剧下降，下降趋势要大于塑性。

## 四、实验仪器及材料：

MDS400倒置式金相显微镜，铁碳合金平衡状态金相试样一套、多种热处理方式之后的碳钢试样一套。

## 五、实验内容及要求：

### 一）实验内容：

- 1、由指导教师结合图例讲解Fe-C合金平衡态的基本组织组成、组织的形态特征及金相显微镜的主要结构部件及其作用、基本操作过程及注意事项。
- 2、学生领取一套铁碳合金平衡组织标准试样，按照金相显微镜的操作步骤，在显微镜下观察表中七种铁碳合金平衡组织试样，识别碳钢和铸铁组织形态的特征，建立成分、组织之间相互关系的概念。认真体会整个操作过程，并将观察图像拍照存储。
- 3、学生领取一套经不同热处理工艺的45钢及T12钢标准试样（21#-27#），在显微镜下观察经不同热处理工艺的45钢及T12试样。理解并分析不同热处理工艺条件下试样的组织变化，认真体会整个操作过程，并将观察图像拍照存储。



其中：

**21#为45钢860℃水淬+中温回火；**

**22#为45钢860℃水淬+高温回火；**

**23#为45钢780℃水淬；**

24#为45钢1100℃水淬；

**25#为T12钢球化退火；**

26#为T12钢780℃水淬+低温回火；

27#为T12钢1100℃水淬+低温回火。

## 二) 实验要求：

- 1、通过观察金相样品的实际操作过程，学会正确的操作方法，包括物镜和目镜的选择与匹配、调焦、孔径光阑和视场光阑的调节、放大倍数的计算；
- 2、总结金相显微镜的操作要点及必须注意的事项；
- 3、给出所观察试样的显微组织图（显微镜拍摄图及手绘图），手绘图要求画出所观察显微组织示意图，显微组织画在直径为25-30mm的圆内，并标出材料、组织名称及放大倍数。
- 4、分析含碳量对铁碳合金的组织 and 性能的影响。

## 三) 实验注意事项：

- 1、操作时必须特别谨慎，不能有任何剧烈的动作，不允许自行拆卸光学系统。
- 2、在旋转粗调或微调旋钮时动作要慢，碰到某种障碍时应立即停止操作，报告指导教师查找原因，不得用力强行转动，否则会损坏机件。
- 3、要爱护已制备好的金相试样。不能用手触摸试样的观察面，如有尘埃等脏物不能用嘴吹，也不能随意擦，要用吸耳球吹除或用无水酒精冲洗并干燥。
- 4、试样观察完毕后要放入干燥箱中保存。

## 六、实验思考与讨论

- 1、使用金相显微镜的一般步骤及注意事项是什么？
- 2、在铁碳合金中观察到的渗碳体有几种形态？它们分别在什么情况下存在？
- 3、以 $\omega_{\text{C}} = 0.45\%$ 的铁碳合金为例，画出其缓慢冷却时的冷却曲线，并分析其组织变化过程。
- 4、论述含碳量对铁碳合金的力学性能的影响。