



## 第四章 铁碳合金

4-1 分析  $W_c=0.2\%$ ,  $W_c=0.6\%$ ,  $W_c=1.2\%$ , 的铁碳合金从液态平衡冷却至室温的转变过程, 用冷却曲线和组织示意图说明各阶段的组织, 并分别计算室温下的相组成物及组织组成物的含量。

答:

### 1、 $W_c=0.2\%$ 的转变过程及相组成物和组织组成物含量计算

转变过程:

- 1) 液态合金冷却至液相线处, 从液态合金中按匀晶转变析出  $\delta$  铁素体,  $L \rightleftharpoons \delta$ , 组织为液相+  $\delta$  铁素体
- 2) 液态合金冷却至包晶温点 ( $1495^\circ\text{C}$ ), 液相合金和  $\delta$  铁素体发生包晶转变, 形成奥氏体  $\gamma$ ,  $L + \delta \rightleftharpoons \gamma$ , 由于  $W_c=0.2\%$  高于包晶点  $0.17\%$ , 因此组织为奥氏体加部分液相。
- 3) 继续冷却, 部分液相发生匀晶转变析出奥氏体  $\gamma$ , 直至消耗完所有液相, 全部转变为奥氏体组织。
- 4) 当合金冷却至与铁素体先共析线相交时, 从奥氏体中析出先共析铁素体  $\alpha$ , 组织为奥氏体+先共析铁素体
- 5) 当合金冷却至共析温度时, 奥氏体碳含量沿铁素体先共析线变化至共析点碳含量, 发生共析转变  $\gamma \rightleftharpoons \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ , 此时组织为先共析铁素体+珠光体
- 6) 继续冷却, 先共析铁素体和珠光体中的铁素体都将析出三次渗碳体, 但数量很少, 可忽略不计。所以室温下的组织为: 先共析铁素体+珠光体。

组织含量计算:

组织含量计算:  $W_{\alpha(\text{先})} = (0.77-0.2) / (0.77-0.0218) \times 100\% \approx 76.2\%$ ,

$$W_p = 1 - W_{\alpha(\text{先})} \approx 23.8\%$$

相含量计算:  $W_{\alpha} = (6.69-0.2) / (6.69-0.0218) \times 100\% \approx 97.3\%$ ,

$$W_{\text{Fe}_3\text{C}} = 1 - W_{\alpha} \approx 2.7\%$$

### 2、 $W_c=0.6\%$ 的转变过程及相组成物和组织组成物含量计算

转变过程:

- 1) 液态合金冷却至液相线处, 从液态合金处按匀晶转变析出奥氏体,  $L \rightleftharpoons \gamma$ , 组织为液相+奥氏体。
- 2) 继续冷却, 直至消耗完所有液相, 全部转变为奥氏体组织。
- 4) 当合金冷却至与铁素体先共析线相交时, 从奥氏体中析出先共析铁素体  $\alpha$ , 组织为奥氏体+先共析铁素体
- 5) 当合金冷却至共析温度 ( $727^\circ\text{C}$ ) 时, 奥氏体碳含量沿铁素体先共析线变化至共析点, 发生共析转变  $\gamma \rightleftharpoons \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ , 此时组织为先共析铁素体+珠光体
- 6) 珠光体中的铁素体都将析出三次渗碳体, 但数量很少, 可忽略不计。所以室温下的组织为: 先共析二次渗碳体+珠光体

组织含量计算:

组织含量计算:  $W_{\alpha(\text{先})} = (0.77-0.6) / (0.77-0.0218) \times 100\% \approx 22.7\%$ ,

$$W_p = 1 - W_{\alpha(\text{先})} \approx 77.3\%$$

相含量计算:  $W_{\alpha} = (6.69-0.6) / (6.69-0.0218) \times 100\% \approx 91.3\%$ ,

$$W_{\text{Fe}_3\text{C}} = 1 - W_{\alpha} \approx 8.7\%$$



### 3、Wc=1.2%的转变过程及相组成物和组织组成物含量计算

#### 转变过程:

- 1) 液态合金冷却至液相线处，从液态合金处按匀晶转变析出奥氏体， $L \rightleftharpoons \gamma$ ，组织为液相+奥氏体。
- 2) 继续冷却，直至消耗完所有液相，全部转变为奥氏体组织。
- 3) 当合金冷却至与渗碳体先共析线（碳在奥氏体中的溶解度曲线）相交时，从奥氏体中析出先共析二次渗碳体，组织为奥氏体+先共析二次渗碳体
- 4) 当温度冷却至共析温度（727℃）时，奥氏体碳含量沿溶解度曲线变化至共析点碳含量，发生共析转变  $\gamma \rightleftharpoons \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ，组织为珠光体+先共析二次渗碳体
- 5) 珠光体中的铁素体都将析出三次渗碳体，但数量很少，可忽略不计。所以室温下的组织为：先共析二次渗碳体+珠光体

#### 组织含量计算:

组织含量计算： $W_{\text{Fe}_3\text{C}(\text{先})} = (1.2-0.77) / (6.69-0.77) \times 100\% \approx 7.3\%$ ,

$$W_p = 1 - W_{\text{Fe}_3\text{C}(\text{先})} \approx 92.7\%$$

相含量计算： $W_\alpha = (6.69-1.2) / (6.69-0.0218) \times 100\% \approx 82.3\%$ ,

$$W_{\text{Fe}_3\text{C}} = 1 - W_\alpha \approx 16.7\%$$

### 4-2 分析 Wc=3.5%，Wc=4.7%的铁碳合金从液态到室温的平衡结晶过程，画出冷却曲线和组织变化示意图，并计算室温下的组织组成物和相组成物。

答:

#### 1、Wc=3.5%的转变过程及相组成物和组织组成物含量计算

##### 转变过程:

- 1) 液态合金冷却至液相线处，从液态合金中按匀晶转变析出奥氏体， $L \rightleftharpoons \gamma$ ，组织为液相合金+奥氏体。
- 2) 当合金温度冷却至共晶温度（1127℃）时，液相合金中的含碳量变化至共晶点，液相合金发生共晶转变  $L \rightleftharpoons \gamma + \text{Fe}_3\text{C}$ ，组织为共晶莱氏体  $L_d$ +奥氏体。
- 3) 温度继续降低，匀晶奥氏体和莱氏体中的奥氏体将析出二次渗碳体。所以组织为：奥氏体+莱氏体+二次渗碳体。
- 4) 当温度降低至共析温度（727℃），奥氏体中的碳含量变化值共析点，发生共析转变成珠光体， $\gamma \rightleftharpoons \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ，组织为珠光体（低温莱氏体  $L'd$ ）+二次渗碳体。
- 5) 继续冷却，珠光体中的铁素体将会析出按此渗碳，但数量很少，可以忽略不计。所以室温下的组织为：珠光体（低温莱氏体  $L'd$ ）+渗碳体（二次渗碳体+共晶渗碳体）。

##### 组织含量计算:

组织含量计算： $W_{\text{Fe}_3\text{C}(\text{II})} = \left\{ \frac{2.11-0.77}{6.69-0.77} \right\} \times \left\{ \frac{6.69-3.5}{6.69-2.11} \right\} \times 100\%$   
 $\approx 19.2\%$

$$W_{\text{Fe}_3\text{C}(\text{共})} = \left\{ \frac{4.3-2.11}{6.69-2.11} \right\} \times \left\{ \frac{3.5-2.11}{4.3-2.11} \right\} \times 100\%$$

$$\approx 30.6\%$$

$$W_{L'd} = 1 - W_{\text{Fe}_3\text{C}(\text{共})} - W_{\text{Fe}_3\text{C}(\text{II})} \approx 50.2\%$$

相含量计算： $W_\alpha = \left\{ \frac{6.69-0.77}{6.69-0.0218} \right\} \times W_{L'd} \times 100\%$   
 $\approx 44.6\%$ ,



$$W_{Fe_3C} = 1 - W_{\alpha} \approx 55.4\%$$

## 2、Wc=4.7%的转变过程及相组成物和组织组成物含量计算

转变过程:

- 1) 液态合金冷却至液相线处, 从液态合金中按匀晶转变析出粗大的渗碳体, 称为一次渗碳体,  $L \rightleftharpoons Fe_3C_1$ , 组织为液相合金+  $Fe_3C_1$ 。
- 2) 当合金温度冷却至共晶温度 (1127°C) 时, 液相合金中的含碳量变化至共晶点, 液相合金发生共晶转变  $L \rightleftharpoons \gamma + Fe_3C$ , 组织为共晶莱氏体  $Ld + Fe_3C_1$ 。
- 3) 温度继续降低, 共晶莱氏体中的奥氏体将析出二次渗碳体, 组织为: 莱氏体+ 一次渗碳体+二次渗碳体。
- 4) 当温度降低至共析温度 (727°C), 共晶莱氏体中奥氏体中的碳含量变化至共析点, 发生共析转变形成珠光体,  $\gamma \rightleftharpoons \alpha + Fe_3C$ , 此时组织为: 珠光体 (低温莱氏体  $L'd$ ) + 一次渗碳体+二次渗碳体。
- 5) 继续冷却, 珠光体中的铁素体将会析出三次渗碳体, 但数量很少, 可以忽略不计。所以室温下的组织为: 珠光体 (低温莱氏体  $L'd$ ) + 渗碳体 (一次渗碳体+二次渗碳体+共晶渗碳体)。

组织含量计算:

$$\begin{aligned} \text{组织含量计算: } W_{L'd} &= \left\{ \frac{6.69-2.11}{6.69-0.77} \right\} \times \\ &\quad \left\{ \frac{6.69-4.7}{6.69-2.11} \right\} \times 100\% \\ &\approx 33.5\% \end{aligned}$$

$$W_{Fe_3C} = 1 - W_{L'd} \approx 66.5\%$$

$$\begin{aligned} \text{相含量计算: } W_{\alpha} &= \left\{ \frac{6.69-0.77}{6.69-0.0218} \right\} \times W_{L'd} \times 100\% \\ &\approx 29.7\%, \end{aligned}$$

$$W_{Fe_3C} = 1 - W_{\alpha} \approx 80.3\%$$

### 4-3 计算铁碳合金中二次渗碳体和三次渗碳体最大可能含量。

答:

二次渗碳体最大含量:

- 1、我们知道二次渗碳体是从奥氏体中析出的, 随奥氏体的含量增多, 二次渗碳体的含量增多。
- 2、而且二次渗碳体的含量随着奥氏体中的碳含量增加而增大
- 3、所以根据铁碳相图, 当铁碳合金中的碳含量为 2.11% 可以或多最多的奥氏体含量以及最大的奥氏体含碳量, 也就是所以可以得到最多的二次渗碳体含量。

$$\text{其含量} = \frac{2.11-0.77}{6.69-0.77} \times 100\% \approx 22.6\%$$

三次渗碳体最大含量:

- 1、我们知道三次渗碳体是从铁素体中析出的, 所以必然随着铁素体的含量增多而增多。
- 2、而且要析出渗碳体必须要足够的碳含量, 所以铁素体中的碳含量越多, 越容易析出三次渗碳体。
- 3、根据铁碳相图, 当铁碳合金中的碳含量为 0.0218% 时, 可以获得最多的铁素体含量。

$$\text{其含量} = \frac{0.0218}{6.69} \times 100\% \approx 0.33\%$$

### 4-4 分别计算莱氏体中共晶渗碳体、二次渗碳体、共析渗碳体的含量。

答:



共晶渗碳体含量:

$$W_{Fe_3C(晶)} = (4.3 - 2.11) / (6.69 - 2.11) \times 100\% \approx 47.8\%, \quad W_A = 1 - W_{Fe_3C(晶)} \approx 52.2\%$$

二次渗碳体含量:

$$W_{Fe_3C_{II}} = (2.11 - 0.77) / (6.69 - 0.77) \times W_A \times 100\% \approx 11.8\%$$

共析渗碳体含量:

$$W_{Fe_3C(析)} = \{ (0.77 - 0.0218) / (6.69 - 0.0218) \} \times (W_A - W_{Fe_3C_{II}}) \times 100\% \approx 4.5\%$$

4-5 为了区分两种弄混的碳钢，工作人员分别截取了 A、B 两块试样，加热至 850℃ 保温后以极慢的速度冷却至室温，观察金相组织，结果如下：

A 试样的先共析铁素体面积为 41.6%，珠光体的面积为 58.4%。

B 试样的二次渗碳体的面积为 7.3%，珠光体的面积为 92.7%。

设铁素体和渗碳体的密度相同，铁素体中的含碳量为零，试求 A、B 两种碳钢含碳量。

答:

对于 A 试样：设 A 含碳量为 X%，由题述知先共析铁素体含量为 41.6% 可以得到  $41.6\% = \{ (0.77 - X) / 0.77 \} \times 100\%$ ，得出  $X \approx 0.45$ ，所以 A 中含碳量为 0.45%。

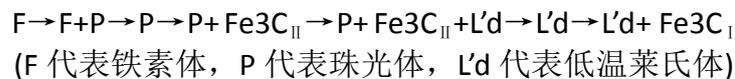
对于 B 试样：设 B 含碳量为 Y%，由题述知二次渗碳体含量为 7.3% 可以得到  $7.3\% = \{ (Y - 0.77) / (6.69 - 0.77) \} \times 100\%$ ，得出  $Y \approx 1.2$ ，所以 B 中含碳量为 1.2%。

4-6 利用铁碳相图说明铁碳合金的成分、组织和性能之间的关系。

答:

成分和组织之间的关系:

- 1、从相组成的角度，不论成分如何变化，铁碳合金在室温下的平衡组织都是由铁素体和渗碳体两相组成。
- 2、当碳含量为零，铁碳合金全部由铁素体组成，随着碳含量的增加铁素体的含量呈直线下降，直到碳含量为 6.69% 时，铁素体含量为零，渗碳体含量则由零增至 100%。
- 3、含碳量的变化还会引起组织的变化。随着成分的变化，将会引起不同性质的结晶和相变过程，从而得到不同的组织。随着含碳量的增加，铁碳合金的组织变化顺序为：



组织和性能之间的关系:

铁素体相是软韧相、渗碳体相是硬脆相。珠光体由铁素体和渗碳体组成，渗碳体以细片状分散地分布在铁素体基体上，起强化作用，所以珠光体的强度、硬度较高，但塑性和韧性较差。

- 1、在亚共析钢中，随着含碳量增加，珠光体增多，则强度、硬度升高，而塑性和韧性下降。
- 2、在过共析钢中，随着含碳量增加，二次渗碳体含量增多，则强度、硬度升高，当碳含量增加至接近 1% 时，其强度达到最高值。碳含量继续增加，二次渗碳体将会在原奥氏体晶界形成连续的网状，降低晶界的强度，使钢的脆性大大增加，韧性急剧下降。
- 3、在白口铁中，随着碳含量的增加，渗碳体的含量增多，硬度增加，铁碳合金的塑、韧性单调下降，当组织中出现以渗碳体为基体的低温莱氏体时，塑、韧性降



低至接近于零，且脆性很大，强度很低。

- 4、铁碳合金的硬度对组织组成物或组成相的形态不十分的敏感，其大小主要取决于组成相的数量和硬度。随着碳含量增加，高硬度的渗碳体增多，铁碳合金的硬度呈直线升高。
- 5、低碳钢铁素体含量较多，塑韧性好，切削加工产生的切削热大，容易粘刀，而且切屑不易折断，切削加工性能不好。高碳钢渗碳体含量多，硬度高，严重磨损刀具，切削加工性能不好。中碳钢，铁素体和渗碳体比例适当，硬度和塑性适中，切削加工性能好。
- 6、低碳钢铁素体含量较多，塑韧性好，可锻性好；高碳钢渗碳体含量多，硬度高，可锻性变差。

#### 4-7 铁碳相图有哪些应用，又有哪些局限性。

答：

应用：

- 1、由铁碳相图可以计算出不同成分的铁碳合金其组成相的相对含量。
- 2、由铁碳相图还可以反映不同成分铁碳合金的结晶和相变特性。
- 3、由铁碳相图可大致判断不同成分铁碳合金的力学性能和物理性能。
- 4、由铁碳相图可大致判断不同成分铁碳合金的铸造性能、可锻性和切削加工性等工艺性能。

局限性：

- 1、铁碳相图反映的是在平衡条件下相的平衡，而不是组织的平衡。相图只能给出铁碳合金在平衡条件下相的类别、相的成分及其相对含量，并不能表示相的形状、大小和分布，即不能给出铁碳合金的组织状态。
- 2、铁碳相图给出的仅仅是平衡状态下的情况，而平衡状态只有在非常缓慢加热和冷却，或者在给定温度长期保温的情况下才能得到，与实际的生产条件不是完全的相符合。
- 3、铁碳相图只反映铁、碳二元系合金相的平衡关系，而实际生产中所使用的铁碳合金中往往加入其他元素，此时必须要考虑其他元素对相图的影响，尤其当其他元素含量较高时，相图中的平衡关系会发生重大变化，甚至完全不能适用。