

杠杆定律在铁碳相图中的应用

郑虹

〔摘要〕铁碳合金是应用最广泛的金属材料。在合金系中,不同成分的合金会有不同的相和组织,而这些又直接影响材料的性能及用途。所以分析给定合金的相、组织及它们的含量比是相当必要的。本文利用杠杆定律来确定给定合金在给定温度下处于二相平衡状态时,各相、各组织所占的重量百分数及它们之间的重量比。通过分析找出一般规律。

1 相和组织相同区

1.1 成分在(0, 0.77%), 温度在(727, 912℃), GPS 区:

此区间是 F 和 A 两相共存区,此区间的组织也是这两相。相(组织)之间的相对量可用杠杆定律来求。

假定给定合金为含碳量 0.5%, 给定温度为 800℃。那么,首先过成分点 0.5% 处做一条合金线,在温度点 800℃ 处做一条温度线,两条线交点即为支点 b 。温度线与 GP 、 GS 交点为 a 、 c 。根据固溶体的成分沿成分线变化的规律,此时 F 的含碳量为 a 点的横坐标值, A 的含碳量为 c 点的横坐标值。根据杠杆定律,它们的重量比: $Q_F/Q_A = bc/ab$

它们的重量百分数分别为:

$$Q_F = bc/ac \times 100\%$$

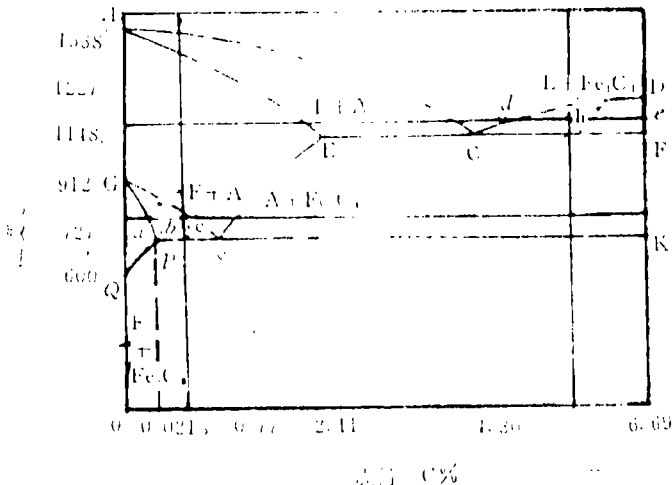
$$Q_A = ab/ac \times 100\%$$

1.2 成分在(0, 4.30%) 温度在(1148, 1538℃) AEC 区:

此区间是 L 和 A 两相共存区,它们的相(组织)的重量比及重量百分数可以用同样的方法来求(略)。

1.3 成分在(4.30, 6.69%)、温度(1148, 1227℃) DCF 区:

此区间是 L 和 Fe_3C 两相共存区,此区间的组织是 L 和 Fe_3C ,虽然相 Fe_3C 和组织 Fe_3C 不同,但它们的成分相同,成分点相同。所以相的相对量即是组织的相对量。假定给定成分



含碳量 5.0%，给定温度 1200℃，过此两点分别做合金线和温度线，两线交点 h 即为支点。温度线与 DC 、和 DK 线交点分别是 d 、 e 。根据液相成分沿液相线变化，可知 d 点为 L 的成分点。由于 Fe_3C 是金属化合物，有固定的成分比，成分始终是含碳量 6.69%，所以 e 点是 Fe_3C 的成分点。

$$\text{重量比: } Q_L/Q_{Fe_3C(Fe_3C_1)} = he/dh$$

$$\text{百分数: } Q_L = he/de \times 100\%$$

$$Q_{Fe_3C(Fe_3C_1)} = dh/de \times 100\%$$

A 和 Fe_3C_1 区间情况相同，略。

2 相和组织不同区

2.1 成分在 (0.0218, 0.77%) 温度在 (0, 727℃)

此区间的相为 F 和 Fe_3C ，组织为 F 和 P 。相和组织不同。

假定给定合金为 0.5%，温度为 650℃，过此两点分别做合金线和温度线，两线交点 b 即为支点。温度线与 ES 、 DK 线交点分别是 a 、 d ，与 0.77% 合金线交点为 c 。分析各成分点，如前所述， a 点是 F 的成分点， d 点是 Fe_3C 的成分点。 P 是共析反应后的机械混合物，它的成分始终是 0.77%，所以 c 点是 P 的成分点。

应用杠杆定律求相 F 和 Fe_3C 的相对比，支点和成分点分别是 b 、 a 、 d 。

$$\text{重量比: } Q_F/Q_{Fe_3C} = bd/ab$$

$$\text{百分数: } Q_F = bd/ad \times 100\%$$

$$Q_{Fe_3C} = ab/ad \times 100\%$$

求组织 F 和 P 的相对比，支点和成分点分别是 b 、 a 、 c 。

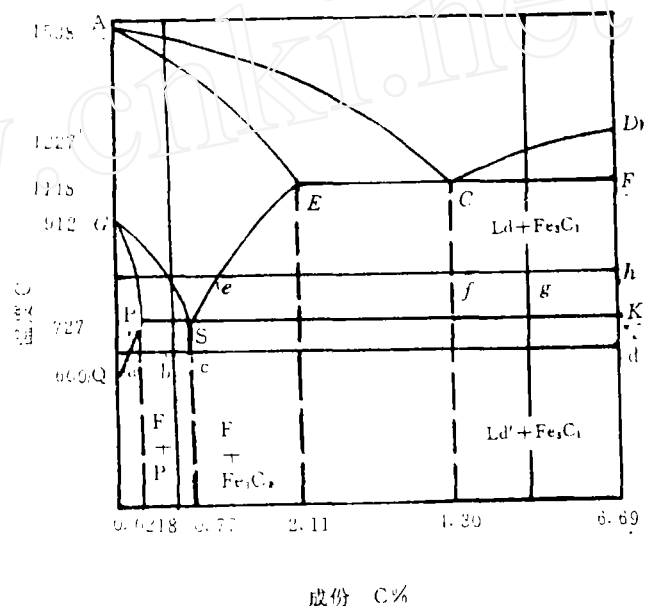
$$\text{重量比: } Q_F/Q_P = bc/ab$$

$$\text{百分数: } Q_F = bc/ac \times 100\%$$

$$Q_P = ab/ac \times 100\%$$

2.2 成分 (4.30, 6.69%) 温度 (727, 1148℃)

此区间相为 A 和 Fe_3C ，组织为 Ld 和 Fe_3C_1 。假定给定合金为 5.0%，温度为 850℃，过此两点分别做合金线和温度线，两线交点 g 即是支点，温度线与 ES 、 DK 线交点分别是 e 、 h ，与 4.30% 合金线交点为 f 。分析各成分点， A 是固溶体，成分沿 ES 线变化，所以 e 点是 A 的



成分点。 Ld 是共晶反应的机械混合物，有固定的成分比，含碳量始终 4.30%，所以 f 点是 Ld 的成分点， Fe_3C (Fe_3C_1) 成分点是 h 点。

根据杠杆定律，相 A 和 Fe_3C 的比，支点是 g ，成分点是 e 、 h 。

$$\text{重量比: } Q_A/Q_{Fe_3C} = gh/eg$$

$$\text{百分数: } Q_A = gh/eh \times 100\%$$

$$Q_{Fe_3C} = eg/eh \times 100\%$$

组织 Ld 和 Fe_3C_1 的比，支点和成分点分别是 g 和 f 、 h

$$\text{重量比: } Q_{Ld}/Q_{Fe_3C_1} = gh/fh$$

$$\text{百分数: } Q_{Ld} = gh/fh \times 100\%$$

$$Q_{Fe_3C_1} = fh/fh \times 100\%$$

其它区间求法相同，略。

3 恒温反应线区

在共析和共晶反应时，由于反应是在恒温进行的。所以在反应前、中、后有不同的相和组织。由于杠杆定律只能解决二相共存区的相对量，所以反应中的相对关系无法确定，我们只能确定反应前和反应后的相对关系。

3.1 1148℃共晶反应区

在 EF 共晶线上，亚共晶合金 (2.11, 4.30%) 反应前相和组织都是 A 和 L 。共晶反应后的相是 A 和 Fe_3C ，组织是 A 和 Ld 。

此时只须做条合金线，它与共晶线的交点 b 即为支点。 A 的成分点是 E 点， Ld 的成分点是 C 点， Fe_3C 的成分点是 F 点

所以相对关系，反应前略。反应后：

$$\text{相的重量比: } Q_A/Q_{Fe_3C} = bF/Eb$$

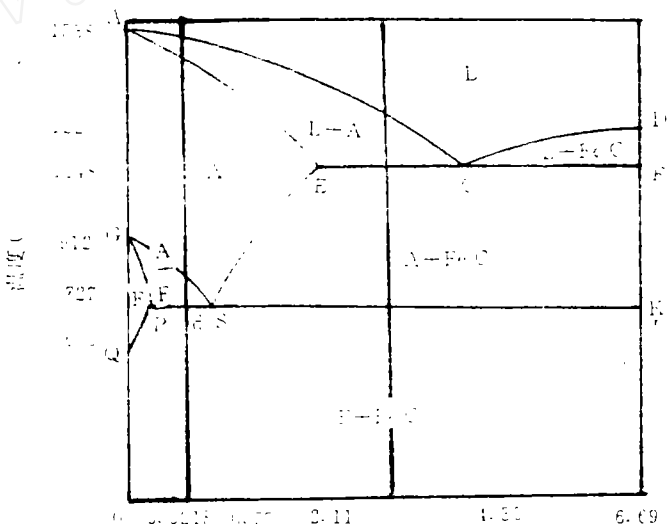
$$\text{组织的重量比: } Q_A/Q_{Ld} = bC/Eb$$

过共晶合金 (4.30, 6.69%) 反应前相是 L 和 Fe_3C 组织是 L 和 Fe_3C_1 ，反应后的相是 A 和 Fe_3C ，组织是 Ld 和 Fe_3C_1 ，结果略。

3.2 727℃共析反应区

在 PSK 线上，亚共析钢 (0.0218, 0.77%) 反应前的相和组织都是 A 和 F ，反应后相是 F 和 Fe_3C ，组织是 F 和 P 。同样只须做条合金线，它与共析线的交点 d 即为支点，此时 A 的成分点是 S 点， P 的成分点也是 S 点， F 的成分点是 P 点， Fe_3C 的成分点是 K 点。

结果，反应前略。反应后：



相的重量比: $Q_F/Q_{Fe_3C}=dK/Pd$

组织的重量比: $Q_F/Q_P=dS/Pd$

过共析钢 (0.77, 2.11%) 反应前的相是 A 和 Fe_3C , 组织是 A 和 Fe_3C_1 , 反应后相是 F 和 Fe_3C , 组织是 P 和 Fe_3C_1 , 结果略。

4 结 论

利用杠杆定律来计算铁碳合金两相共存区的相的相对量、组织的相对量关键在于找出成分点。一般, 固溶体成分是变化的, 它的变化规律是沿着成分线变化的。例如: A 的成分是沿固相线 AE 和 A 的溶解度曲线 ES 变化的; F 的成分是沿 GP 线和 F 溶解度曲线 PQ 线变化的。金属化合物成分是固定的, 例如: Fe_3C 的成分始终是含碳量 6.69%, 所以它的成分点在 DK 线上。机械混合物有固定的成分点, 例如: Ld 的成分始终是含碳量 4.30%; P 的成分始终是含碳量 0.77%。成分点找对与否是计算的关键。若求恒温反应区的相对关系, 要分析是反应前还是后。

计算的步骤大体可分:

1. 过成分点做合金线, 过温度点做温度线。
2. 找出支点和相或组织的成分点。
3. 利用杠杆定律列出公式。
4. 代入数值计算。

参考文献

- [1] 金属学原理 侯增寿、卢光熙主编 上海科学技术出版社出版
- [2] 金属材料及热处理 史美堂主编 上海科学技术出版社出版

注

本文所用符号含义:

L ——液相

A ——奥氏体

F ——铁素体

Fe_3C ——渗碳体

P ——珠光体

Ld ——高温莱氏体