

铁碳合金相图的几点应用

青岛远洋船员学院机电系 李香琪

[摘要] 铁碳合金相图反映了铁碳合金的成分、温度、组织三者之间的关系。利用铁碳相图可以制定各种热加工及热处理工艺的加热温度, 还可以通过它分析钢铁材料的性能, 它是研究钢铁的重要理论基础。

[关键词] 铁碳合金相图 成分 组织 性能 淬透性

一、引言

铁碳合金相图是研究钢铁的重要理论基础, 它反映了平衡状态下铁碳合金的成分、温度、组织三者之间的关系。实际生产中使用的铁碳合金的含碳量不超过 5%, 因而常用的铁碳相图只是 Fe-C 合金相图的一部分, 即 Fe-Fe₃C 相图。研究铁碳合金只需深入研究 Fe 与 Fe₃C 相图部分就可满足生产上的要求^[1], 在此基础上, 重点应掌握的是简化了的 Fe-Fe₃C 相图, 即略去了相图左上角的包晶相图部分, 如图 1 所示。铁碳相图是制定各种热加工及热处理工艺的根据, 利用它还可以分析钢铁材料的性能, 从而作为选材的理论根据, 它是学习铁碳合金的一个重要工具。

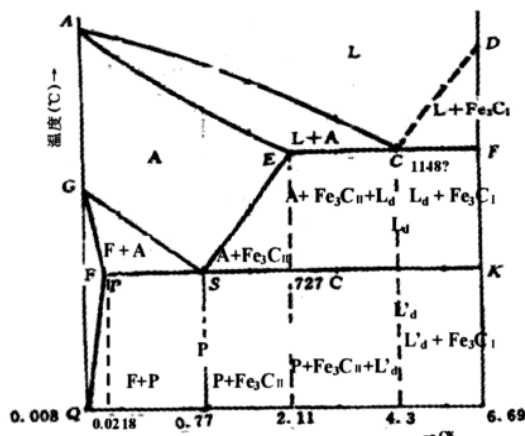


图 1 简化的 Fe-Fe₃C 相图

二、铁碳合金相图的几个应用

1. 估算碳钢和铸铁铸造熔化加热温度。

在铸造工艺中, 首先要将合金加热融化, 即要加热达到相图上的液态区间(“L”区), 因此可以根据相图上的液相线(“ACD”线)确定碳钢和铸铁的浇注温度, 为制定铸造工艺提供基础数据^[2]。由铁碳相图可知, 共晶成分的合金(4.3%C)结晶温度最低, 其凝固温度间隔最小(为零)^[3], 故流动性好, 体积收缩小, 易获得组织致密的铸件。此外, 越接近共晶成分的合金, 其液相线与固相线(“ACD”与“AECF”线)间距离越小, 即结晶温度范围越小, 从而合金的流动性好, 有利于浇注, 也就是越接近共晶成分的合金其铸造性越好, 所以在铸造生产中, 接近于共晶成分的铸铁得到较广泛的应用。

钢的铸造性不如铸铁, 其流动性较差, 收缩性较大, 容易产生分散缩孔和偏析, 且铸件内应力大, 容易产生变形和开裂^[4]。但从相图可以看出, 含碳量在 0.15%~0.60% 范围内的合金, 液、固相线间的距离较小, 结晶温度范围较窄, 铸造性能相对较好, 因而铸钢件的含碳量一般在 0.15%~0.60% 之间, 同时由相图还可看出, 钢的铸造熔化加热温度比铸铁要高。

2. 估算碳钢锻造加热温度。

锻造是利用材料的塑性变形来成型的一种工艺, 锻造加热的目的也正是为了提高材料的塑性变形。由铁碳相图可知, 含碳量小于 2.11% 的铁碳合金在较高温度下可得到单相奥氏体, 即 AESG 区间, 利用奥氏体的塑性好、变形抗力小, 碳钢锻造时易于成形。

利用铁碳合金相图可以确定碳钢锻造时的加热温度, 一般始锻温度控制在固相线(AE 线)以下 100~200℃, 以利于充分地塑性变形; 温度过高, 不仅使材料严重氧化, 甚至会发生晶界熔化。终锻温度, 对亚共析钢, 一般应稍高于 GS 线, 即控制在奥氏体区内; 终锻温度过高, 奥氏体在变形终止后的冷却中晶粒还会长大, 而终锻温度过低, 则由于铁素体呈带状组织, 使钢的机械性能产生方向性, 从而降低钢的韧性^[5]。对于

过共析钢, 则选择在 ES 线与 PSK 线之间的温度范围, 目的是利用变形时的机械作用击碎网状的 Fe₃C, 一般为 800~850℃。

3. 估算热处理加热温度。

热处理工艺与铁碳合金相图有着更为直接的关系。根据对工件材料性能要求的不同, 各种不同热处理方法的加热温度都是参考铁碳合金相图制定的^[6]。

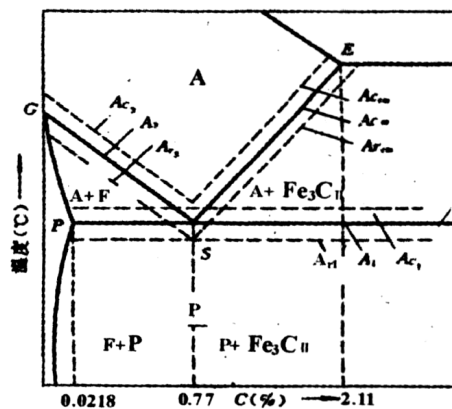


图 2 钢的临界点

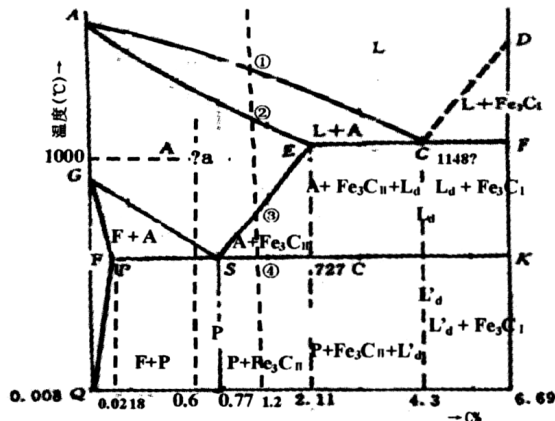


图 3 Fe-Fe₃C 相图的应用

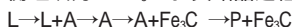
在钢的热处理工艺中要应用到相图的左下角部分, 如图 2 所示。在 Fe-Fe₃C 相图上, 碳钢在平衡条件下加热和冷却的相变线有 PSK 线——共析转变线 (A₁ 线), GS 线——同素异构转变线 (A₃ 线), ES 线——固溶线 (A_{cm} 线), 它们是平衡条件下钢发生组织转变的三条温度线, 称为临界点。利用 A₁、A₃、A_{cm} 线可以确定共析钢、亚共析钢、过共析钢的完全奥氏体化温度, 为制定热处理工艺提供理论数据。由于实际生产中, 加热和冷却都有一定的速度, 因而钢的结晶或熔化均滞后于 A₁、A₃ 和 A_{cm}, 通常把实际加热时的临界点记为 A_{c1}、A_{c3}、A_{cm}, 实际冷却时的临界点记为 A_{r1}、A_{r3}、A_{rm}。

4. 确定碳含量已知的合金在任意温度下的平衡状态。

铁碳合金相图反映的是平衡状态下铁碳合金的成分、温度、组织三者之间的关系, 因而可以利用相图来确定合金在某一温度下的显微组织。例如, 想知道含碳量为 0.6% 的合金在 1000℃ 下的组织, 确定方法如下: 从横坐标为 0.6% C 的点向上作一条直线, 再从纵坐标为 1000℃ 的点向右作一条水平线, 最后根据这两条线交点的位置就可确定其显微组织, 如图 3 所示, 交点“a”落在了 A 区间, 说明含碳量为 0.6% 的钢在 1000℃ 下处于单相奥氏体状态。

5. 分析碳钢和铸铁的平衡相变过程及室温平衡组织。

利用铁碳合金相图不仅可以确定含碳量已知的合金在某一温度下的平衡状态,而且还可以用来分析铁碳合金的结晶相变过程及室温下的平衡组织。下面以含 1.2% C 的钢为例说明这种应用,从横坐标为 1.2% C 的点向上作一条直线一直达到液态(L)区,再沿着这条线自上而下观察,从垂线所穿过的相区便可以看出现在平衡条件下合金从液态缓慢冷至室温时的相变过程及室温平衡组织。当液态合金 L 冷至 点时,开始自 L 中结晶出 A,至 点时结晶完毕,全部形成 A。温度继续下降,在 ~ 点之间 A 不变,温度达到 时,由于溶解度的减小,从 A 中析出 Fe₃C。随着温度的降低,Fe₃C 的量越来越多。至 点时,即理论温度为 727℃,剩余 A 的含碳量达到 0.77%,从而发生共析转变生成 P。从 727℃冷至室温的过程中 P 中的 F 会由于溶解度的减小要从中析出 Fe₃C,但 Fe₃C 的量很少通常可忽略,因而含碳量为 1.2% 的钢在室温下的平衡组织为 P+Fe₃C。其结晶过程可以表示为:



由相图可知,含碳量在 0.77%~2.11% 之间的合金的结晶过程都是这样,而且它们室温下的平衡组织也都是 P+Fe₃C,只不过含碳量越高,组织中 Fe₃C 的量越多,这类合金就称为过共析钢。

6. 为选材提供參考。

铁碳合金中的含碳量对其显微组织及性能有决定性的作用,因此应根据生产中的需要选用不同的铁碳合金。由铁碳合金相图可知,钢(<2.11% C)的室温平衡组织中都有珠光体,因而其力学性能比铸铁好,广泛用来制造工程结构件或机械零件;而铸铁在液态结晶过程中都有共晶转变,故铸造性比碳钢好,可以用来制造形状、结构复杂或不受冲击的耐磨铸件。在过共析钢中,随着含碳量的增加,组织中网状 Fe₃C 的量增多,使钢的脆性增加,强度降低,因而实际应用中钢的含碳量没有达到 2.11%,为保证钢有一定的综合机械性能,工业生产中碳钢的含碳量不超过 1.35%^[1]。

随着生产技术的发展,对钢铁材料的要求更高,可在碳钢中加入合金改变共析点的位置,从而提高钢的硬度和强度,在材料研制中,铁碳合金相图仍可作为预测其组织的基本依据^[2]。

7. 分析碳钢的淬透性。

淬透性是指钢接受淬火的能力,也可以理解为钢在淬火时获得马氏体组织的能力,通常用钢在淬火时获得的淬硬层深度来表示。淬透性是钢的一个重要的工艺性能指标,对合理选材及制定热处理工艺十分重要。例如,要求截面性能一致的零件,应选用淬透性高的材料,淬透性好、容易获得马氏体组织的钢,淬火时可选用冷却能力较弱的淬火介质,从而避免产生过大的淬火应力。

上临界冷却速度 $V_{\text{临}}$ 越小的钢,在一定介质中淬火时获得的淬硬层深度越大,从而其淬透性越好。 $V_{\text{临}}$ 的大小与“C”曲线的位置有关,即“C”曲线越靠右, $V_{\text{临}}$ 越小,而“C”曲线的位置又与钢的过冷奥氏体的稳

定性有关。因此,影响淬透性的因素可以总结为这样一条线索:过冷奥氏体越稳定→孕育期越长→“C”曲线位置越靠右→ $V_{\text{临}}$ 越小→淬透性越好。

分析钢的淬透性通常结合“C”曲线进行,凡是能改变“C”曲线位置的因素最终都影响到钢的淬透性。在碳钢中,影响“C”曲线的主要因素就是钢的含碳量,由前面的结论可知,过冷奥氏体越稳定的钢,淬透性越好;因而只要比较过冷奥氏体的稳定性,就可分析碳钢淬透性的好坏,这一点可以从铁碳合金相图上反映出来。由相图可知,钢在高温下都可得到奥氏体,平衡条件下,奥氏体冷却到 727℃都会发生共析转变生成珠光体,其中,亚共析钢在转变前先得到一部分铁素体,过共析钢先饱和析出了 Fe₃C,再发生共析转变。这意味着在平衡条件下,共析钢开始发生转变的温度最低,即 727℃,而非共析钢的奥氏体在此温度之前就开始转变了,从而也就说明了在实际的冷却条件下,共析钢的过冷奥氏体最稳定,其“C”曲线最靠右,即共析钢的淬透性比非共析钢要好。而且由相图上“GS”、“ES”的位置还说明,在亚共析钢范围内,含碳量越高,过冷奥氏体越稳定,“C”曲线越靠右,从而淬透性越好,而过共析钢则相反,即随着含碳量的增加,过冷奥氏体稳定性减小,“C”曲线左移,淬透性变差。由以上分析可知,越接近共析成分的碳钢,淬透性越好。

三、使用铁碳合金相图应注意的两点问题

1. 铁碳合金相图反映的是平衡条件下铁碳合金的组织状态。平衡指的是非常缓慢加热或冷却,或者在给定温度下长期保温,而相图没有反映时间的作用。在生产实践中,当冷却速度较快时,合金的临界点及其冷却后的组织与相图中所表示的不同。

2. 铁碳合金相图只反映铁碳二元合金系中相的平衡关系。生产实践中使用的铁碳合金,除含铁、碳两种元素外,尚有其它多种杂质或合金元素,这些元素对相图将有所影响,应予考虑^[3]。

四、结语

利用铁碳合金相图,可以清楚了解和掌握铁碳合金的成分—组织—性能之间的关系;根据相图提供的信息不但可以帮助我们更深刻地研究和利用钢铁材料,更好地指导生产实践,而且也可为新材料的研制提供理论依据。

参考文献

- [1] 满一新. 轮机工程材料[M]. 大连:大连海事大学出版社,1996
- [2] 李云超. 浅谈铁碳合金相图在生产中的应用[J]. 农机使用与维修,2003,(5):11
- [3] 胡凤翔等. 工程材料及热处理[M]. 北京:北京理工大学大学出版社,2008
- [4] 李宏伟. 浅谈合金相图的应用[J]. 滨州教育学院学报,1999,5(4):51-52

(上接第 664 页) 属中,很多细菌具有对芳香族化合物的分解代谢能力。

3. 农药分解酶及其基因研究

微生物与化学农药的分解研究,正从分解酶及其遗传因子、作用机理等各种角度进行探讨。目前对于细菌分解的各种有机农药的报道虽较多,但只停留在菌种初步筛选的层次。目前研究发现,土壤中的整个微生态系统都对农药具有代谢作用。例如土壤真菌,虽然其对农药的降解作用已经被大多研究者所公认,但涉及其催化降解机制的相关报道很少,这是因为真菌的代谢系统要比细菌复杂的多。但要真正搞清生态系统中农药分解的情况,就必须要对包括真菌在内的土壤微生态细菌进行全面研究。

此外,微生物降解农药研究现在大多停留在实验室水平,实际菌剂应用要推广到田间喷洒。这样,对于相关降解菌的发酵水平研究也很重要,必须保证足够的菌体量和菌种宽广的条件耐受性,才能保证实验室成果的成功转化。

随着分子生物学技术的发展,从分子角度研究农药高效降解菌也是今后发展的趋势。微生物对一些难降解化学物的降解,是通过一系列氧化酶的催化作用完成的。在自然界中这一过程通常是由多种微生物的协同作用来完成,速度比较缓慢。为了扩大微生物降解底物的范围,提高降解效率,可以利用天然降解性质粒的转移构建新功能菌株。降解性质粒,是指一类编码有降解某些化学代谢途径的质粒。例如,美国学者 Chakrabarty 等^[12]曾将假单胞杆菌中不同菌株的 CAM、OCT、XAL 和 NAH 这 4 种降解性质粒接合转移至一个菌株中,构建成一株能同时降解芳香烃、多环芳烃、萜烯和脂肪烃的“多质粒超级菌”。该菌能将天然菌要花一年以上才能消除的高分子有机化合物,缩短为几个小时。因此,继续开展农药降解菌中分解酶及其表达调控、作用机理乃至关键降解酶的分子起源、分布、生态的综合研究,就有可能预测生态系统中农

药的微生物降解体系,有助于土壤的生物修复。

参考文献

- [1] 周新文,陈鹤鑫,陆贻通. 化学农药对土壤微生物的影响[J]. 环境生态学,1997,16(12):35-38
- [2] Moorman T B. A review of pesticide effects on microorganisms and microbial processes related to soil fertility[J]. J Prod Agric,1989,2(1):14-28
- [3] 汤树德,李汉昌,石晶波. 化学除草剂对土壤中微生物生态和物质转化过程的影响[J]. 土壤学报,1984,21(1):95-98
- [4] 刘祥英,柏连阳. 土壤微生物降解磺酰脲类除草剂的研究进展[J]. 现代农业,2006,5(1):29-32
- [5] 和文祥,蒋新,朱茂旭. 酶修复土壤农药污染的研究进展[J]. 生态学杂志,2001,20(3):47-51
- [6] 张爱云,蔡道基. 除草剂对土壤微生物活性、土壤氮化作用和硝化作用的影响[J]. 农村生态环境,1990,3,62-66
- [7] 杨成德,龙瑞军,陈秀蓉等. 土壤微生物功能群及其研究进展[J]. 土壤通报,2008,39(2):421-425
- [8] Strek J. Fate of chlorsulfuron in the Environment. Field Evaluations[J]. Pestic. Sci., 1998, 53, 52-57
- [9] 姚拓,王刚,龙瑞军等. 兰州地区盐碱地小麦根际联合固氮菌分离及部分特性研究[J]. 土壤学报,2004,3,444-448
- [10] 章家恩,刘文高. 微生物资源的开发利用与农业可持续发展[J]. 土壤与环境,2001,10(2):154-157
- [11] 唐玉霞,范丙全, Jill Clapperton. 土壤细菌培养基的筛选和评价[J]. 河北农业科学,1999,3(2):11-14
- [12] 钮旭光,韩梅,韩晓日. 宏基因组学:土壤微生物研究的新策略[J]. 微生物学通报,2007,34(3):576-579