

防腐蚀实用技术

(塑料、涂料、水处理、化学清洗应用技术资料汇编)

(下册)



化学工业部防腐蚀技术咨询服务中心

内容提要

由化学工业部防腐蚀技术咨询服务中心及《化工防腐》编辑部组织编写的《防腐蚀实用技术》一书,经过一年多的努力,终于和读者见面了。由于篇幅的关系,有些内容尚不能完全满足广大读者的要求,如有条件,1996年争取再出续集,以满足“九五”期间防腐蚀和缓蚀技术发展的有关专业读者的需要。

本书第一章~第四章 热塑性塑料应用技术、热固性增强塑料应用技术、橡胶衬里应用技术及防腐蚀涂料应用技术是由兰化合成橡胶厂高级工程师廖朝钟同志编写;

第五章 石墨设备 是由化工部非金属检测中心工程师周杰同志编写;

第六章 耐蚀金属材料 是由刘永庆同志摘编,由兰化合成橡胶厂高级工程师肖君吾同志审校;

第七章 表面防腐技术(工程) 是由北京科技大学管从胜、熊金平、杨玉国三位老师及河北省农垦科学研究所冯海清总工(电刷镀一节)编写,全章由兰化合成橡胶厂高级工程师肖君武同志审校;

第八章 冷却水处理技术 是由南京化工大学水处理专家周本省教授编写;

第九章 化学清洗技术 是由兰州新兴热喷涂研究所主任工程师田育圃同志及刘永庆同志编定,经清洗专家审校;

第十章 缓蚀技术 是由清洗专家提供资料并审校由刘永庆和田育圃同志编写。

全书约170万字,图500余幅,表和文字都用新五号字排版。本书不足和错漏之处,欢迎指正。

编 审: 甘肃省防腐协会副秘书长
兰州新兴热喷涂防腐新技术应用研究所所长
《化工防腐》编辑部主编 刘永庆同志

田文年同志;

主 编: 中国腐蚀与防护协会专业委员会委员
中国化工防腐蚀技术协会技术委员会委员

廖朝钟同志

副主编: 甘肃省防腐协会秘书长(工程师) 赵建启同志;

兰州新兴热喷涂防腐新技术应用研究所主任工程师 田育圃同志。

化工部防腐蚀技术咨询服务中心
化工部化机院防腐工程研究所
《化工防腐》编辑部
兰州新兴热喷涂防腐新技术应用技术研究
甘肃省防腐协会
西北防腐蚀技术咨询服务站

联合出版

编者

1995.10

目 录

(下册)

第六章 耐蚀金属材料	(525)
第一节 黑色金属材料	(525)
一、金氢的基本知识	(525)
二、耐大气腐蚀用钢	(536)
三、耐硫酸露点腐蚀用钢	(540)
四、抗中温高压氢及氢、氮、氮低合金钢	(541)
五、耐硫化物腐蚀的钢种	(547)
六、耐海水腐蚀用钢	(553)
七、锅炉常用金属材料	(557)
第二节 合金钢	(559)
一、不锈钢的分类	(559)
二、合金元素对不锈钢性能的影响	(559)
三、奥氏体不锈钢	(561)
四、马氏体不锈钢	(562)
五、铁素体不锈钢	(563)
六、双相不锈钢	(568)
七、热强钢	(582)
八、高镍耐蚀合金	(617)
第三节 有色金属及合金	(629)
一、铜及铜合金	(629)
二、铝及铝合金	(647)
三、铅及铅合金	(661)
四、纯镍	(662)
五、钛及钛合金	(665)
第七章 表面保护技术工程	(682)
第一节 表面保护技术(工程)概述	(682)
一、表面处理的分类与用途	(682)
二、涂镀层的标记	(690)
三、金属表面的预处理	(692)
第二节 化学镀	(706)
一、化学镀镍	(706)
二、化学镀铜	(718)
三、化学镀其他金属	(720)
第三节 热喷涂(焊)	(723)
一、概述	(723)
二、热喷涂方法及设备	(733)
三、喷涂工艺	(739)

第四节 电刷镀技术及应用	(755)
一、电刷度的由来、原理、特点和应用范围	(755)
二、刷镀设备	(756)
三、刷镀工艺	(760)
四、刷镀质量控制	(771)
五、电刷镀的应用与发展趋势	(773)
第八章 冷却水处理技术	(811)
第一节 循环冷却系统和水质稳定剂	(811)
第二节 循环冷却水系统运行过程中的水质变化	(811)
第三节 循环冷却水系统中的腐蚀与缓蚀剂	(812)
第四节 循环冷却水系统中的结垢和阻垢剂	(816)
第五节 循环冷却水系统中微生物生长和杀生剂	(817)
第六节 《设计规范》对冷却水处理的要求	(820)
第七节 循环冷却水系统的预处理	(820)
第八节 水质稳定剂的选择	(823)
第九节 水质稳定剂的添加	(824)
第十节 水质稳定剂的现场应用实例	(826)
第十一节 水质稳定处理的经济效益	(834)
第九章 化学清洗技术	(837)
第一节 化学清洗技术的发展	(837)
一、国内外发展概况	(837)
二、化学清洗技术的应用	(838)
三、化学清洗技术的现状和未来	(838)
四、化学清洗技术概述	(839)
第二节 锅炉的基本知识	(844)
第三节 锅炉的化学清洗系统	(882)
第四节 化学清洗时机的确定	(889)
第五节 电站锅炉的化学清洗	(893)
一、清洗前的准备	(893)
二、化学清洗工艺	(893)
三、化学清洗流程	(901)
第六节 工业锅炉及设备的化学清洗	(920)
一、工业锅炉的化学清洗	(920)
二、废热锅炉的化学清洗	(935)
三、换热设备的化学清洗	(938)
第七节 成套装置的化学清洗	(949)
一、乙烯装置的化学清洗	(954)
二、丁二稀装置的化学清洗	(964)
三、乙醇胺装置的化学清洗	(975)
四、芳烃装置的化学清洗	(976)
第八节 化学清洗应用实例	(982)
一、钢铁表面脱锈技术	(982)
二、石质地面清洗剂	(984)
三、食品机械清洗技术	(985)
四、内燃机及汽车的清洗	(986)

五、工艺管道的清洗	(995)
六、循环水系统的清洗	(996)
七、小氮肥厂循环水系统不动车清洗	(998)
八、钢厂循环冷却水的清洗	(999)
九、空调室水冷管道的清洗	(1001)
十、石油化工设备的清洗	(1003)
十一、空冷器的清洗	(1007)
十二、原油储罐淤渣的清洗	(1011)
十三、氧气设备的清洗	(1012)
十四、汽轮机油管道的清洗	(1016)
十五、大型发电厂凝汽器的清洗试验	(1018)
十六、循环冷却水不动车清洗几例	(1021)
十七、250MW(25 万 KW)机组的开路清洗	(1032)
第十章 缓蚀技术	(1057)
第一节 化学清洗过程中的缓蚀技术	(1057)
一、金属腐蚀机理概述	(1057)
二、缓蚀技术	(1063)
三、缓蚀剂的分类	(1065)
第二节 缓蚀剂在酸洗中的应用	(1067)
一、缓蚀剂的分类	(1067)
二、酸洗的种类和性质	(1069)
三、正确选择缓蚀剂	(1071)
四、正确使用缓蚀剂	(1072)
五、硝酸酸洗缓蚀剂 lan-5 的性能及应用	(1075)
六、多用酸洗缓蚀剂 lan-826 性能及应用	(1085)
七、国内应用的缓蚀剂	(1092)

第六章 耐蚀金属材料

第一节 黑色金属

一、金属的基本知识

金属材料广义指钢铁、铜、铝、铅、锌及贵金属金、银、铂、钯、钛及各种合金,常按黑色金属、有色金属两大类分。钢有铸钢、轧钢(钢材)及锻钢等;铁有铸铁、锻铁。合金钢则种类繁多,简单分为低合金钢,高合金钢(其中也有铸、轧、锻等)。

钢铁材料的产量和品种常代表一个国家的工业发展水平。各国工业材料80%以上是钢铁。

钢铁材料在应用过程中要受腐蚀,各国钢铁及各种金属材料的腐蚀损失大约都相当于国民经总收入的4%左右。美国每年损失约为1700亿~2000亿美元,英国为150~170美元,德国约120~150亿美元,日本为100~120亿美元,俄国约为1000亿美元,中国1100亿元,相当于每天损失3亿元。国民经济规模发展越大,腐蚀损失也就越多。因为采用耐蚀金属材料及各种防腐措施,各国的水平也不同,一般挽回损失约1/3左右,而用于防腐的投资约为挽回损失金额的1/2或更少。

如一条地下管线,已经用了25年,仍不进行维修和防腐,有50%要报废了,如想再延长25年的使用寿命,有二种方案比较:

一是更换50%的新管线,需69万元,二是加阴极保护,需投资3.46万元,另加年度维修费840元,二者计算比较,用阴极保护方案比更换50%新管线每年可节省4.6万元,当年收回投资。用4.3万元换回 $-4.3 = 64.7$ 万元的效益。如果这条管线一开始就采用阴极保护即在原投资138万元的基础上再增加4.3万元的投資,则前25年每年可减少损失2.6万元。

又如一台换热器采用碳钢能用5年,用不锈钢可用15年,前者投资为9500元,后者投资为26500元,年折旧为碳钢1920元,不锈钢为1767元。即按年计算不锈钢比碳钢每年可减少损失153元,如再加上碳钢的每年防腐维修费,把投资利息也计算在内,仍然是不锈钢便宜,但碳钢+阴极保护或涂漆,加缓蚀剂等防腐措施,如平均每年花费700~800元,也可使碳钢的寿命延至10~15年。一开始就采用防护措施15年共花费1.2万元+原投资0.95万元+0.19万元(防护投资)=2.36万元这样比不锈钢的投资2.65万元+15年的价差利息,则碳钢便宜。

关于防腐措施能换回的腐蚀损失以及为采取防腐措施(包括选用高档钢材,贵金属材料及碳钢防腐)所花的投资的比,国内外都有比较科学的计算方法,这里笼统地提出可以挽回1/3的损失(即全国全年能挽回300亿~400亿元的损失),而为此需投资(采取各种防腐措施的投资)150~200亿元,亦即每年通过采用各种防腐措施可以为国家节省150~200亿的钢铁材料及各种工业材料的损失。

金属材料的耐蚀性,除了评价金属材料的结构性能外,是又一个评价它的重要指标。金属材料的耐蚀性主要是指它的物理化学稳定性。

由于膜理论的发展,经过实践验证,许多元素如硅(Si)、锰(Mn)、钒(V)、钛(Ti)、铌(Nb)、铜(Cu)、硼(B)、磷(P)及稀土等加入钢铁材料可改进其金属材料的性能。如锰(Mn)可提高强度,但降低了抗腐蚀能力;碳含量 $<0.4\%$ 时,增加其含量可增强钢的抗氧化性(如 HNO_3)腐蚀的性能;硅(Si)能增强钢的强度,同时能增强抗高温氧化性;铬(Cr)是强化元素,钢中加入少量的铬就能提高抗 H_2S (硫化氢)、 NH_3 (氨)、 CO_2 (二氧化碳)、 H_2O (水)、 HNO_3 (硝酸)、高温高压 H_2 (氢)及抗大气、海水的腐蚀能力。铬能防止钢脱碳,并能在钢的表面形成微密的氧化膜,提高钢在高温氧化性介质中的耐蚀性。但铬不耐碱、氯化物和硝酸钠、钾等的腐蚀;镍(Ni)可强化铁素体,改善钢的抗低温冲击性能、也能提高耐酸碱和海水的能力,但不耐高温高压 H_2 的腐蚀。故抗中温 H_2 腐蚀的钢材均不加镍。

钼(Mo)能提高钢的常温和高温强度(热强度和蠕变强度),防止钢的回火脆性,能提高抗 H_2S 、 NH_3 、 CO 、

H₂O 以及高温高压 H₂ 和弱还原酸腐蚀的能力。它与 Cu、Cr 配合,能提高钢的抗大气腐蚀性能。

铝(Al)在炼钢中常用以脱氧和细化晶粒。由于铝有固定氮的作用,故可阻止钢的腐蚀破裂。在钢中加入铝,能提高钢对大气、NH₃、CO₂、H₂O、H₂S 等的抗腐蚀能力,并能抗弱酸的腐蚀。铝还能增强钢抗高温氧化、氧化性介质以及抗高温炉气腐蚀的能力。

铜(Cu)在炼钢中也是用以脱氧。钢中加入适量的 Cu,能提高耐大气及海水腐蚀的能力,尤其与磷(P)联合使用其耐大气及海水腐蚀能力更强。铜还能抵消硫(S)在钢中的有害作用。钢中含铜对硫酸、盐酸、某些有机酸以及含硫化物的烟道气等的腐蚀也能增加其抗蚀能力。但钢中含铜量过高会导致钢的热脆性以及机加工的困难。

钛(Ti)的加入能提高钢对高温高压 H₂、N₂、NH₃ 的抗蚀能力,与其它元素配合使用可提高钢的抗大气、海水及 H₂S 腐蚀的能力。

钒(V)在钢中能提高抗高温高压 H₂、N₂、NH₃ 腐蚀的能力,还能提高抗 NH₃、CO₂、H₂O 的腐蚀及抗弱酸腐蚀的能力,与其他元素配合使用能提高抗 H₂S 腐蚀的能力。

铌(Nb)多与其他元素配合使用,以提高钢的抗大气、海水、H₂S 及高温高压 H₂、N₂、NH₃ 腐蚀的能力。

钨(W)能提高钢抗高温高压 H₂、N₂、NH₃ 腐蚀的能力,与钒(V)、锡(Sn)等元素配合使用可提高耐稀硫酸、稀盐酸的腐蚀能力,还可提高 NH₃、CO₂、H₂S、H₂O 系统腐蚀的能力。

氮(N)在钢中具有抗应力腐蚀的作用,前面谈及铝能将氮固定钢中,可起到提高抗应力腐蚀破裂的作用。

硼(B),钢中加入微量的硼,可提高钢抗 H₂S 腐蚀的能力。

稀元素,钢中加入稀元素可提高钢抗大气腐蚀的能力,与铝共存,可提高钢的耐腐蚀性能。

硫(S)在钢中是有毒元素,它能降低钢的耐蚀性能,诱发孔蚀和硫化物的应力腐蚀破裂,所以硫在钢中的含量越低越好,最高不能超过 0.06%。优质钢多控制在 0.04% 以下。在高合金钢中硫、磷含量都要降到 0.015% 以下。

磷(P):磷强化铁素体的能力最强,但又容易使钢产生冷脆。在普通碳钢中,磷含量也要和硫一样控制在 0.04% 以下,因为它含量高能降低钢在酸液的耐蚀能力,增加钢在酸中的腐蚀速率。但磷与铜联合使用,能提高钢耐大气腐蚀的能力,与钒联合使用可提高抗 H₂S 腐蚀的能力。作为合金元素使用时,磷含量不应超过 0.15%,加上碳含量的总和不应超过 0.25%。

碳(C):碳在钢中常以碳化物形式存在,从钢的强度观点看,碳是钢的主要强化元素,碳钢是广泛用于各工业部门的重要结构材料,碳钢即指含碳量在 1.70% 以下的铁碳合金,含量在 1.7%~4.0% 的铁碳合金称铸铁,用铸铁(炼铁炉产品)炼钢(炼钢炉产品)主要是脱碳、脱硫、脱氧等的冶金术、炼合金钢再添加各种合金元素,合金元素总量小于 3.5% 的叫低合金钢。碳钢在工业中的应用量占全部金属材料的 80%。

碳钢—铁碳合金的金相组织与成份温度的关系见铁—碳(Fe—C)平衡图。铁碳合金在室温下有三种相:铁素体、渗碳体和石墨。铁素体为含碳<0.08% 的纯铁、渗碳体为 Fe₃C,而石墨则为游离碳,在电化学中它们的腐蚀电位铁素体较负,石墨校正,渗碳体居中,所以钢铁在电解液中(在化学腐蚀物中)石墨和渗碳体相对于铁素体是微阴极,在非氧化性酸中钢铁腐蚀速度很快,但在中性介质中则腐蚀很慢。碳钢的组织状态对其在各种腐蚀介质中的耐蚀性有一定影响。在含碳量相同的情况下,片状珠光体比球状珠光体腐蚀速率高,而且层片愈细,片层间距离愈小腐蚀速率愈高。屈氏体较回火马氏体析出的渗碳体多,而较索氏体细,故更易受腐蚀,钢的热处理影响到钢的组织状态,也影响到钢的耐蚀性。

表 6—1 黑色金属材料的分类

分类方法	分类名称	说明
(一)生铁 生铁是含碳量大于 2% 的铁碳合金		
1. 按用途而分	(1)炼钢生铁	炼钢生铁是指用于平炉、转炉炼钢用的生铁,一般含硅量较低(不大于 1.75%),含碳量较高(不大于 0.07%)。它是炼钢用的主要原料,在生铁产量中占 80~90%。炼钢生铁质硬而脆,断口呈白色,所以也叫白铁
	(2)铸造生铁	铸造生铁是指用于铸造各种生铁铸件的生铁,俗称翻砂铁。一般含硅量较高(达 3.75%),含碳量稍低(不大于 0.06%)。它在生铁产量中约占 10%,是钢铁厂中的主要商品铁,其断口为灰色,所以也叫灰口铁

续表 6-1

分类方法	分类名称	说明
2. 按化学成分而分	(1) 普通生铁	普通生铁是指不含其它合金元素的生铁, 如炼钢生铁、铸造生铁都属于这一类生铁
	天然合金生铁	天然合金生铁是指用含有共生金属如铜、钒、镍等的铁矿或精矿, 用还原剂还原而炼成的一种特种生铁, 它含有一定量的合金元素(一种或多种, 由矿石的成分来决定), 可用于炼钢, 也可用于铸造
	(2) 特种生铁 铁合金	铁合金和天然合金生铁不同之处, 是在炼铁时特意加入其它成分, 炼成含有多量合金元素的特种生铁。铁合金是炼钢的原料之一, 也可用于铸造。在炼钢时作钢的脱氧剂和合金元素添加剂, 用以改善钢的性能。 铁合金的品种很多, 如按所含的元素来分, 可分为: 硅铁、锰铁、铬铁、钨铁、钼铁、钽铁、钇铁、镨铁、铈铁、镍铁、铌铁、铍铁、硅锰合金、稀土合金等等, 其中用量最大的是锰铁、硅铁和铬铁。按照生产方法的不同, 铁合金通常又分为: 高炉铁合金、电炉铁合金、炉外法铁合金、真空碳还原铁合金等
(二) 铸铁 铸铁是用铸造方法由各种铸造生铁配制而成的铁碳合金		
1. 按断口颜色不同而分	(1) 灰口铸铁	这种铸铁中的碳大部或全部以自由状态的片状石墨形式存在, 其断口呈暗灰色, 故称为灰口铸铁。它有一定的机械性能和良好的被切削加工性, 是工业上应用最普遍的一种铸铁
	(2) 白口铸铁	白口铸铁是组织中完全没有或几乎完全没有石墨的一种铁碳合金, 其中碳合金以渗碳体形式存在, 断口呈白亮色, 因而得名。这种铸铁硬而且脆, 不能进行切削加工, 工业上很少直接应用它来制作机械零件。在机械制造中, 有时仅利用它来制作需要耐磨而不承受冲击载荷的机件, 如拉丝板、球磨机的铁球等, 或用激冷的办法制作内部为灰口铸铁组织、表层为白口铸铁组织的耐磨零件, 如火车轮圈、轧辊、犁铧等。这种铸铁具有很高的表面硬度和耐磨性, 通常又称为激冷铸铁或冷硬铸铁
	(3) 麻口铸铁	这是介于白口铸铁和灰口铸铁之间的一种铸铁, 它的组织由珠光体+渗碳体+石墨组成, 断口呈灰白相间的麻点状, 故称麻口铸铁, 这种铸铁性能不好, 极少应用
2. 按化学成分不同而分	(1) 普通铸铁	普通铸铁是指不含任何合金元素的铸铁, 一般常用的灰口铸铁、可锻铸铁、激冷铸铁和球墨铸铁等, 都属于这一类铸铁
	(2) 合金铸铁	它是在普通铸铁内有意识地加入一些合金元素, 借以提高铸铁某些特殊性能而配制而成的一种高级铸铁, 如各种耐蚀、耐热、耐磨的特殊性能铸铁, 都属于这一类型的铸铁
3. 按生产方法和组织性能不同而分	(1) 普通灰铸铁	(参见“灰口铸铁”)
	(2) 孕育铸铁	孕育铸铁又称变质铸铁, 它是在灰口铸铁的基础上, 采用“变质处理”, 即是在铁水中加入少量的变质剂(硅铁或硅钙合金), 造成人工晶核, 使能获得细晶粒的珠光体和细片状石墨组织的一种高级铸铁。这种铁的强度、塑性和韧性均比一般灰口铸铁要好得多, 组织也较均匀一致, 主要用来制造机械性能要求较高而截面尺寸变化较大的大型铸件
	(3) 可锻铸铁	可锻铸铁是一定成分的白口铸铁经石墨化退火后而成, 其中碳大部分全部呈团絮状石墨的形式存在, 由于其对基体的破坏作用, 较之片状石墨大大减轻, 因而比灰口铸铁具有较高的韧性, 故又称韧性铸铁。可锻铸铁实际并不可以锻造, 只不过具有一定的塑性而已, 通常多用来制造承受冲击载荷的铸件

续表 6-1

分类方法	分类名称	说明
3. 按生产方法和组织性能不同而分	(4) 球墨铸铁	球墨铸铁简称球铁。它是通过在浇铸前在铁水中加入一定时的球化剂(如纯镁或其合金)和墨化剂(硅铁或钙合金),以促进碳呈球状石墨结晶而获得的。由于石墨呈球形,应力大为减轻,它主要减小金属基体的有效截面积,因而这种铸铁的机械性能比普通灰铸铁高得多,也比可锻铸铁好,此外,它还具有比灰口铸铁好的焊接性和接受处理的性能,和钢相比,除塑性、韧性稍低外,其它性能均接近,是一种同时兼有钢和铸铁优点的优良材料,因此在机械工种上获得了广泛的应用
	(5) 特殊性能铸铁	这是一组具有某些特性的铸铁,根据用途的不同,可分为耐腐铸铁、耐热铸铁、耐蚀铸铁等等。这类铸铁大部分都属于合金铸铁,在机械制造上应用也较为广泛

(三) 钢 钢是含碳量 ≤ 2 的铁碳合金

1. 按冶炼方法而分	(1) 按冶炼设备不同而分	1) 平炉钢	平炉钢是指用平炉炼钢法所炼制出来的钢,按炉衬材料的不同,分酸性和碱性两种,一般平炉都是碱性,只有特殊情况下才在酸性平炉内炼制。平炉炼钢法具有原料范围宽,设备能力大、品种多、质量好等优点,在 50 年代前,平炉钢在世界总产量中占绝对优势,以后由于氧气顶吹转炉炼钢法的出现很快使平炉相形见绌,现在世界各国都有停建平炉的趋势。平炉钢的主要品种是普碳钢、低合金钢和优质碳素钢
		2) 转炉钢	转炉钢是指用转炉炼钢法所炼制出来的钢,除分为酸性和碱性转炉钢外,还可分为底吹、侧吹、顶吹和空气吹炼、纯氧吹炼等转炉钢。它们常常混合使用,例如,贝氏炉钢为底吹酸性转炉钢,托马斯钢为底吹碱性转炉钢。我国现在大量生产的为侧吹碱性转炉钢和氧气顶吹转炉钢,氧气顶吹转炉钢具有生产速度快、质量高、成本低、投资少、基建快等一系列优点,是当代炼钢的主要方法。转炉钢的主要品种是普碳钢,氧气顶吹转炉亦生产优质碳素钢和合金钢
		3) 电炉钢	电炉钢是指用电炉炼钢法所炼制出来的钢,可分为电弧炉钢、感应电炉钢、真空感应电炉钢、电渣炉钢、真空自耗炉钢、电子束炉钢等。工业上大量生产的,主要是碱性电弧炉钢,品种是优质钢和合金钢
	(2) 按脱氧程度和浇注制度的不同而分	1) 沸腾钢	这是脱氧不完全的钢,浇注时在钢锭模里产生沸腾,因而得名,其特点是收得率高、成本低、表面质量及深冲性能好,但成分偏析大、质量不均匀,抗腐蚀性和机械强度较差。这类钢大量用以轧制普通碳素钢的型钢和钢板
		2) 镇静钢	它是脱氧完全的钢,在浇注时钢液镇静,没有沸腾现象,所以称镇静钢。其特点是成分偏析少、质量均匀,但金属的收得率低(缩孔多),成本比较高。一般合金钢和优质碳素钢都是镇静钢
		3) 半镇静钢	它是脱氧程度介于沸腾钢和镇静钢之间的钢,浇注时沸腾现象较沸腾钢弱。钢的质量、成本和收得率也介于沸腾钢和镇静钢之间,它的生产难控制,故目前在钢的生产中所占比重不大
2. 按化学成分而分	(1) 碳素钢	碳素钢是指含碳量低于 2%,并含有少量硅、锰、硫、磷、氧等杂质元素的铁碳合金。按其含碳量的不同可分为: 1) 工业纯铁—为含碳量$\leq 0.04\%$的铁碳合金 2) 低碳钢—为含碳量$\leq 0.25\%$的钢 3) 中碳钢—为含碳量$> 0.25 \sim 0.60\%$的钢 4) 高碳钢—为含碳量$> 0.60\%$的钢 此外,按照钢的质量和用途的不同,碳素钢通常又分为:普通碳素结构钢、优质碳素结构钢和工具碳素钢三大类	

续表 6-1

分类方法	分类名称	说明
2. 按化学成分而分	(2)合金钢	合金钢是指在碳素钢的基础上,为了改善钢的性能,在冶炼时特意加入一些合金元素(如铬、镍、硅、锰、钼、钨、钒、钛、硼……等)而炼成的钢 按其合金元素的种类不同,可分为:铬钢、锰钢、铬锰钢、铬镍钢、铬铝钢、硅锰钢、硅锰钼钒钢、铬镍钼钢、锰钼钢……等许多钢组 按其合金元素的总含量,可分为: 1)低合金钢—这类钢的合金元素总含量$\leq 5\%$ 2)中合金钢—这类钢的合金元素总含量$> 5 \sim 10\%$ 3)高合金钢—这类钢的合金元素总含量$> 10\%$ 按照钢中主要合金元素的种类,又可分为: 1)三元合金钢—指除铁、碳以外,还含有另一种合金元素的钢,如锰钢、铬钢、硼钢、钼钢、硅钢、镍钢等 2)四元合金钢—指除铁、碳以外,还含有另外两种元素的钢,如:硅锰钢、锰钼钢、铬锰钢、铬镍钢……等 3)多元合金钢—指除铁、碳以外,还含有另外三种或三种以上合金元素的钢,如:铬锰钒钢、硅锰钼钒钢……等
3. 按用途而分	(1) 结构钢	1)建筑及工程用结构钢 建筑及工程用结构钢,简称建造钢,它是指用于建筑、桥梁、船舶、锅炉或其它工程上制作金属构件的钢。这类钢大多为低碳钢,因为它们多要经过焊接施工,含碳量不宜过高,一般都是在热轧供应状态或正火状态下使用 属于这一类型的钢,主要有: ① 普通碳素结构钢—按用途又分为:a. 一般用途的普碳钢;b. 专用普碳钢 ② 低合金钢—按用途又分为:a. 低合金结构钢;b. 耐腐蚀用钢;c. 低温用钢;d. 钢筋钢 e. 钢轨钢 f. 耐磨钢;g. 特殊用途的专用钢 2)机械制造用结构钢 机械制造用结构钢是指用于制造机械设备上结构零件的钢。这类钢基本上都是优质钢或高级优质钢,它们往往要经过热处理、冷塑成形和机械切削加工后才能使用 属于这一类型的钢,主要有: ① 优质碳素结构钢 ② 合金结构钢 ③ 易切结构钢 ④ 弹簧钢 ⑤ 滚动轴承钢 按其工艺特征 分为 调质结构钢 表面硬化结构钢 冷塑性成形用钢(如冷冲压钢、冷锻钢、冷挤压用钢等等) 渗碳钢 氮化钢 氰化钢(碳氮共渗) 表面淬火用钢

续表 6-1

分类方法	分类名称	说明
3. 按用途而分	(2)工具钢	工具钢是指用制造各种工具的钢 这类钢按其化学成分,通常分为:1)碳素工具钢 2)合金工具钢 3)高速钢 按照用途又可分为:1)刀具钢(或称刀具钢) 2)模具钢(包括冷作模具钢和热作模具钢) 3)量具钢
	(3)特殊钢	特殊钢是指用特殊方法生产、具有特殊物理、化学性能或机械性能的钢 属于这一类型的钢,主要有:1)不锈钢耐酸钢,2)耐热不起皮钢,3)高电阻合金,4)低温用钢,5)耐磨钢,6)磁钢(包括硬磁钢和软磁钢),7)抗磁钢,8)超高强度钢(指 $\sigma_s \geq 1400\text{N/mm}^2$ 的钢)
	(4)专业用钢	这是指各工业部门专业用途的钢。例如:农机用钢、机床用钢、重型机械用钢、汽车用钢、航空用钢、宇航用钢、石油机械用钢、化工机械用钢、锅炉用钢、电工用钢、焊条用钢……等等
4. 按金相组织而分	(1)按退火后的金相组织分	1)亚共析钢 含碳量小于0.08%,组织为游离铁素体+珠光体 2)共析钢 含碳量为0.80%,组织全部为珠光体 3)过共析钢 含碳量大于0.80%,组织为游离碳化物+珠光体 4)莱氏体钢 实际上也是过共析钢,但其组织为碳化物和奥氏体的共晶体,通常把它另分为一类
	(2)按正火后的金相组织分	1)珠光体钢、贝氏体钢 当合金元素含量较少,于空气中冷却可得到珠光体或索氏体、屈氏体的,就属于珠光体钢;若得到贝氏体组织的,就属于贝氏体钢 2)马氏体钢 当合金元素含量较高,于空气中冷却,可得到马氏体组织的,称为马氏体钢 3)奥氏体钢 当合金元素含量很多时,在空气中冷却,奥氏体直到室温仍不转变的,称为奥氏体钢 4)碳化物钢 当含碳量较高并含有大量碳化物组成元素时,于空气中冷却,可得到由碳化物及其基体组织(珠光体或马氏体、奥氏体)所构成的混合物组织的,称为碳化物钢。最典型的碳化物是高速钢
	(3)按加热、冷却时的金相组织分	1)铁素体钢 这类钢含碳量很低并含有多量的形成或稳定铁素体的元素,如铬、硅等,以致加热或冷却时,始终保持铁素体的组织 2)半铁素体钢 这类钢含碳量较低并含有较多的形成或稳定铁素体的元素(如铬、硅),在加热或冷却时,只有部分发生 $\alpha \rightarrow \gamma$ 相变,其它部分始终保持 α 相的铁素体组织 3)半奥氏体钢 这类钢含有一定的形成或稳定奥氏体的元素(如镍、锰),以致在加热或冷却时,只有部分发生 $\alpha \rightarrow \gamma$ 相变,其它部分始终保持 γ 相的奥氏体组织 4)奥氏体钢 这类钢含有多量的形成或稳定奥氏体的元素,如锰、镍等,以致加热或冷却时,始终保持奥氏体组织
	5. 按品质而分	(1)普通钢 这类钢含杂质元素较多,其中磷与硫均被限制在0.07%以内,主要用作建筑结构和要求不太高的机械零件,属于这一类的钢如:普通碳素钢、低合金结构钢等
		(2)优质钢 这类钢含杂质元素较少,质量较好,其中硫与磷的含量均被限制在0.04%以内,主要用作机械结构零件和工具。属于这一类的钢有:优质碳素结构钢、合金结构钢、碳素工具和合金工具钢、弹簧钢、轴承钢等
		(3)高级优质钢 这类钢含杂质元素极少,其中硫、磷含量均被限制在0.03%以内,主要用作重要的机械结构零件和工具,属于这一类的钢,大多是合金结构钢的工具钢,为了区别于一般优质钢,这类钢的钢号后面,通常加符号“A”或汉字“高”以便识别

续表 6-1

分类方法	分类名称	说明
6. 按制造加工形式而分	(1) 铸钢	铸钢是指采用铸造方法而产生出来的一种钢铸件,其含碳量一般在 0.15~0.60%之间,铸钢件由于铸造性能差,常常需要用热处理和合金化学方法来改善其组织和性能,在机械制造业中,铸钢主要用于制造一些形状复杂、难于进行锻造或切削加工成形而又要求较高的强度和塑性的零件。按照化学成分,铸钢一般分为铸造碳钢和铸造合金钢两大类;按照用途,铸钢又可分为铸造结构钢、铸造特殊钢和铸造工具钢三大类
	(2)	锻钢是指采用锻造方法而生产出来的各种锻材和锻件,锻钢件的质量比铸钢件高,能承受大的冲击力作用,塑性、韧性和其它方面的机械性能也都比铸钢件高,所以凡是一些重要的机器零件都应当采用锻钢件。在冶金工厂,其截面较大的型钢,也采用锻造方法,生产和供应一定规格的锻材,如锻制圆钢、方钢和扁钢等
	(3) 热轧钢	热轧钢是指用热轧方法而生产出来的各种热轧钢材。大部分钢材都是采用热轧轧成的,热轧常用来生产型钢、钢管、钢板等大型钢材,也用于轧制线材
	(4)	冷轧钢是指用冷轧方法而生产出来的各种冷轧钢材。与热轧钢相比,冷轧钢的特点是表面光洁、尺寸精确、机械性能好。冷轧常用来轧制薄板、钢带和钢管
	(5) 冷拔钢	冷拔钢是指用冷拔方法而生产出来的各种冷拔钢材,冷拔钢的特点是,精度高、表面质量好。冷拔主要用于生产钢丝,也用于生产直径在 50 毫米以下的圆钢和六角钢,以及直径在 76 毫米以下的钢管

(一) 金相学基础

铁-碳相图

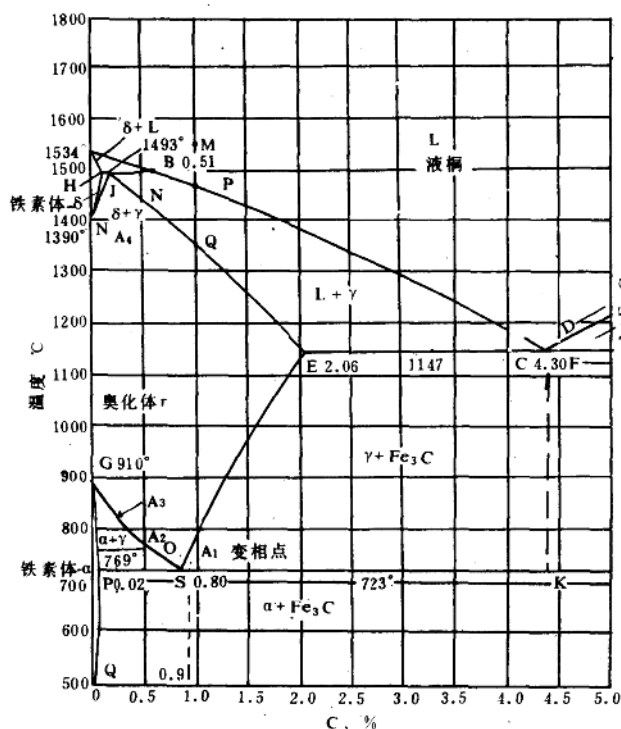


图 6-1 铁-碳系平衡相图



图 6-2 的一部分

铁碳合金状图中的特性和特性线(见表 6-2、表 6-3)

表 6-2 铁碳合金状态图中的特性点

特性点	温度, °C	碳含量, %	含 义
A	1538	0	纯铁熔点
B	1495	0.53	包晶反应时液态合金的碳浓度与温度
C	1148	4.30	共晶点 $L_C \rightleftharpoons \gamma_E + Fe_3C$
D	~1227	6.69	渗碳体熔点及碳浓度
E	1148	2.11	碳在 γ -Fe 中最大溶解度及对应温度
F	1148	6.69	共晶反应时渗碳体的碳浓度及温度
G	912	0	同素异构转变点 α -Fe $\rightleftharpoons$ γ -Fe
H	1495	0.09	碳在 δ -Fe 中最大溶解度及对应温度
J	1495	0.17	包晶点 $L_B + \delta_H \rightleftharpoons \gamma_J$
K	727	6.69	共析反应时渗碳体的碳浓度和温度
M	770	0	α 相的磁性转变点 (A_1)
N	1394	0	同素异构转变点 (A_1) γ -Fe $\rightleftharpoons$ σ -Fe
O	770	~0.5	α 相的磁性转变点 (A_2)
P	727	0.0218	碳在 α -Fe 中最大溶解度及对应温度
S	727	0.77	共析点 $\gamma_S \rightleftharpoons \alpha_P + Fe_3C$
Q	~600	~0.005	碳在 α -Fe 中的溶解度
C'	1154	4.26	生成 $\gamma'_2 + G$ (石墨) 共晶点 $L_{C'} \rightleftharpoons \gamma'_2 + G$
E'	1154	2.08	碳在铁石墨合金的 γ -Fe 中最大溶解度及对应温度
S'	728	0.68	生成 $\alpha_P + G$ (石墨) 共析点 $\gamma_{C'} \rightleftharpoons \alpha_P + G$

表 6-3 铁碳合金状态图中主要特性线

特性线	含 义
ABCD	液相线, 即液相点的连线。在液相线以上合金处于液体状态。
AHJECF	固相线, 即固相点的连线。在固相线以下合金处于固体状态。
ES	碳在 γ -Fe 中溶解度曲线, 过共析铁碳合金的上临界点连线 (A_{cm})
GOS	亚共析铁碳合金的上临界点连线 (A_1)
GP	高于 A_1 时碳在 α -Fe 中的溶解度曲线。
PQ	低于 A_1 时碳在 α -Fe 中的溶解度曲线。
HJB	包晶转变线, 含碳在 0.09~0.53% 的铁碳合金在该温度线上发生包晶反应: $L_B + \delta_H \rightleftharpoons \gamma_J$
ECF	共晶转变线, 含碳在 2.11~6.69% 之间铁碳合金在该温度线上发生共晶反应: $L_C \rightleftharpoons \gamma_E + Fe_3C$
PSF	共析转变线, 铁碳合金在该温度线上发生共析反应: $\gamma_S \rightleftharpoons \alpha_P + Fe_3C$ 铁碳合金的下临界点连线 (A_1)
E'C'F'	从铸铁液相中形成 $\gamma'_2 + G$ (共晶石墨) 组织的共晶反应线: $L_{C'} \rightleftharpoons \gamma'_2 + G$
E'S'	由铸铁奥氏体中析出二次石墨线
P'S'K'	从铸铁奥氏体中析出 $\alpha_P + G$ (共析石墨) 的共析转变线: $\gamma_{S'} \rightleftharpoons \alpha_P + G$

热处理常用临界温度(见图 6—3;表 6—4)

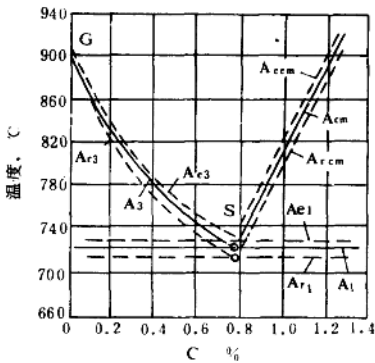


图 6—3 加热和冷却速度对临界点 A_1 , A_3 , A_{cm} 的影响
(加热和冷却速度为 0.125℃/min)

表 6—4 热处理常用的临界温度

符号	说 明
A_1	在平衡状态下奥氏体、铁素体、渗碳体(或碳化物)共存的温度,即下临界点
A_3	在平衡状态下共析钢中奥氏体和铁素体共存的最高温度,即亚共析钢的上临界点
A_{cm}	在平衡状态下过共析钢中奥氏体和渗碳体(或碳化物)共存的最高温度,即过共析钢的上临界点
Ac_1	钢加热时开始形成奥氏体的温度
Ac_3	亚共析钢加热时,铁素体全部转变为奥氏体的温度
A_{cm}	过共析钢加热时,渗碳体或碳化物完全溶入奥氏体的温度
Ar_1	钢经奥氏体化后冷却时,奥氏体分解为铁素体和渗碳体的温度
Ar_3	亚共析钢奥氏体化后冷却时,铁素体开始析出的温度
A_{cm}	过共析钢奥氏体化后冷却时,渗碳体(或碳化物)开始析出的温度
M_s	马氏体转变开始温度
M_f	马氏体转变终了温度

相与组织

相是指合金中具有同一聚集状态,化学成分,晶体结构相同的均匀组成部分。

组织是指用肉眼或借助显微镜观察到的金属微观形貌图象。在铁碳合金状态图中 OPK 线以下区域全部由铁素体(α -Fe)和渗碳体(Fe_3C)两相组成。由于合金的含碳量不同,在冷却时转变过程不同,转变产物铁素体、渗碳体两相的形状、大小、分布及数量不同,所以组织也各不相同。

铁碳合金状态图中的各种相和组织(见图 6—4、表 6—5)

表 6—5 铁碳合金状态图中的各种相和组织

符 号		说 明
相	组织	
α	单相 F	体心立方结构,碳在 α -Fe 中的间隙固溶体,常称为铁素体
γ	单相 A	面心立方结构,碳在 γ -Fe 中的间隙固溶体,常称奥氏体
δ	单相	体心立方结构,碳在 δ -Fe 中的间隙固溶体,常称为高温 α 相或高温铁素体
L	单相	铁碳合金的液相
Fe_3C	单相	正交系点阵结构,复杂化合物,常称为渗碳体
$\alpha + Fe_3C$	双相 P	铁素体 F 和渗碳体 Fe_3C 组成双相机械混合物,常称为珠光体
$\gamma + Fe_3C$	双相 Le	含碳成分为 4.3%,铁碳合金相 L 经共晶反应生成莱氏体,常称为高温莱氏体,奥氏体 A 和渗碳体 Fe_3C 的机械混合物
$\alpha + Fe_3C$	双相 Le'	室温珠光体 P 和渗碳体 Fe_3C 的机械混合物,常称为低温莱氏体

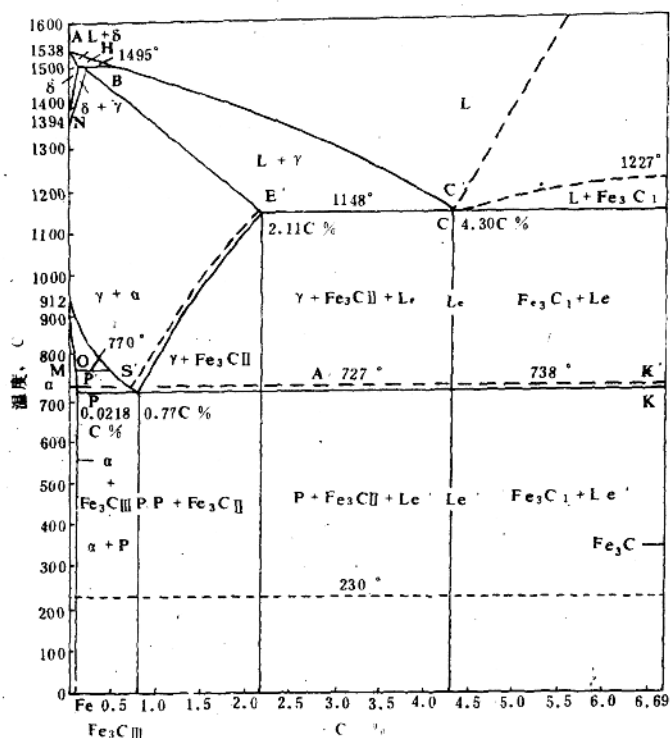


图 6—4 按组织分区的铁碳合金相图

(二) 铁碳合金状态图中的相区

在合金状态图中,由相变线(如液相线、固相线及溶解度曲线等)所围成的区域称为相区。铁碳合金状态图共有 11 个相区。其中有 4 个单相区,7 个两相区。各相区的组成见图 6—4,表 6—6 所示。

表 6—6 铁碳合金各相区组成

相 区	组 成 相	相 数
ABCD 以上	液相 L	1
AHNA	δ-Fe(固相)	1
NJESGN	γ-Fe(固相)	1
GPQG	α-Fe(固相)	1
AHBA	L _δ + δ-Fe(固)	2
HNJH	γ-Fe(固) + δ-Fe(固)	2
JECRJ	L _γ + γ-Fe(固)	2
DCFD	L _δ + Fe ₃ C(固)	2
CPSG	γ-Fe(固) + α-Fe(固)	2
ESKFCE	γ-Fe(固) + Fe ₃ C(固)	2
QPSK 线以下	α-Fe(固) + Fe ₃ C(固)	2

铁碳合金相结构对性能的影响(见表 5—7)

表 6—7 铁碳合金相结构对性能的影响

相	相 结 构	对性能影响
L	碳的液溶体	
δ	体心立方	
α	体心立方	强度低,硬度低,塑性好
γ	面心立方	强度低,硬度不高,塑性好
Fe_3C	复杂斜方	强度低,硬度高,很脆

铁碳相图的应用

铁碳相图对钢铁材料选用的指导意义(见表 6—8)

表 6—8 铁碳合金状态图与钢铁材料选用

状态图中钢铁成分分类	主 要 性 能 特 点	应 用 范 围
纯 铁	导磁率高,矫顽力低,强度低	软磁材料,如电磁铁的铁芯等
低 碳 钢	塑性好,韧性好,强度不高	建筑结构和各种型钢
中 碳 钢	强度、塑性和韧性好	普通机器零件
高 碳 钢	硬度高,耐磨性好,塑性、韧性差	各种工具和普通刀具
灰口铸铁	含油耐磨性好,减振性良好,脆性大,塑性差,不能锻造	减振底座、床身、缸体、壳体、耐磨环、胀圈
白口铸铁	硬度高,耐磨性好,铸造性能好,脆性大,不能切削和锻造	耐磨、不受冲击等形状复杂的铸件,如冷轧轧辊、拔丝模和货车轮等

铁碳合金状态图的局限性

铁碳合金状态图是选用钢铁材料、制定各种热加工工艺和研究铁碳合金的基础知识之一,应用广泛。但是,也有局限性,应用时必须注意。

(1)铁碳合金状态图只是表明了铁碳合金在平衡条件下的相状态。也就是说,铁碳合金状态图中的相状态只能在一定的条件下经过长时间的保持等温,或者极其缓慢地加热和冷却才能获得。它没有告诉我们冷却速度的作用。所以在实际生产中当冷却和加热条件较快时,必须结合相的成核和长大速率同时考虑,才能正确分析问题。

(2)铁碳合金状态图只能说明平衡状态下的一相和各相之间的关系,并未说明组织。也就是说,并未说明相的形成、大小、形状以及它们在空间的位置配合关系。要想分析实际生产中铁碳合金的金相组织问题,还必须应用相变的机理和动力学等其它知识。这些知识以后将会涉及到。

(3)铁碳合金状态图只是说明铁碳二元合金中相的平衡状态。实际生产中经常应用的钢和铸铁,除含有铁和碳外还有其它元素。若其它元素含量较多时,铁碳状态图必然发生重大变化、平衡条件下的铁碳状态图显然就不能使用。

为在生产中利用铁碳合金状态图分析问题,必须指出,对日常实际生产中的普通钢和铸铁及其它元素很少的铁碳合金,在接近平衡条件下加工时,应用铁碳状态图有足够的可靠性,或给分析问题提供一定的考虑依据。

铁碳合金平衡图,是铁碳合金(钢铁)在某一温度某一成分的金相组织图解,可一目了然地掌握钢铁的内金相组织和外观金属特性的关系。

以含碳 1% 的钢为例,加热至 M 点(1550℃)则熔为液体(L 相),当缓冷至 P 点时,奥氏体开始结晶而出,

在AC及AE线之间的区域为奥氏体液固共存区。奥氏体为含有85%的铁素体+15%的 γ (碳化铁 Fe_3C)相的固溶体(γ 体未熔),冷却时间充分,可成为均匀的组织。AE线以下,GOE线上为固体奥氏体,其浓度随含碳量增加而增加,最大饱和量为17%,即钢与生铁的分界线。 γ 相碳化铁(Fe_3C)称西门泰体, $\gamma-\alpha$ (纯铁体)相体称珠光体。这些相体均匀被酸侵蚀。一般珠光体为片状,好在720℃保持长时间,片状珠光体会转变成球状珠光体,这种珠光体的外观金属性能比片状要坚固,机械强度和耐腐蚀性能都比片状好。

奥氏体缓慢冷却 γ 体变为 α 铁,将多余碳析出。含碳0.9%时,全部为珠光体,含碳<0.9%时为珠光体+纯铁体,含碳>0.9%时,为珠光体+西门泰体。

如将奥氏体急冷,则得马氏体,称马丁体。马丁体是碳化铁($\gamma\text{Fe}_3\text{C}$ 西门泰体)在 α 铁中的固溶体。硬度甚高,有强碱性,质脆很难腐蚀,适于制耐磨蚀机件。若冷却稍慢,西门泰体从马丁体中析出呈微细粒状,硬度小于马丁体,但韧性增高。这种相体称屈氏体(屈氏泰体),屈氏体可从马丁体加热至350~450℃时焯火而得,可作钢轨,桥梁但不耐腐蚀。

如将马丁体加热至500~650℃焯火,则得索氏体(索白特体),其西门泰体从马丁体中析出更多。索氏体较马丁体软,比珠光体硬,富于韧性,适于制造各种露天机器零件。各种组织的性能见表6-9。

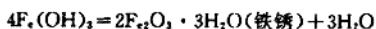
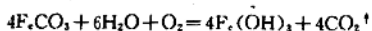
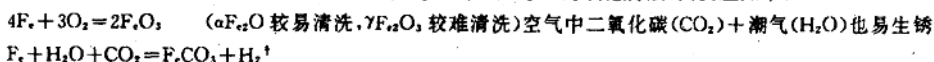
表 6-9 碳钢各种组织的机械性能

组 织 名 称	抗拉强度 (MPa)	伸长率(料长500cm)%	HB
西门泰体	—	0	700
马 丁 体	17.6~21.1	2~8	500~650
屈氏泰体	14.1~17.6	5~10	400~500
索白特体	7.0~14.1	10~20	250~400
珠 光 体	~8.8	20~25	200~250
纯 铁 体	~2.8	30~40	80~100

钢铁有一定的耐腐蚀能力,对于各国工业用金属材料来说,80%以上是钢铁,因为其成本低,又能耐某些轻微的腐蚀,再加上碳钢中加入少量合金元素,可制得低合金高强度钢,提高了耐腐蚀性能,扩大了钢铁的使用面。

碳钢的成本均为铝、锌的1/3、铝的1/5、铜的1/8、镍和锡的1/15。低合金钢的成本只是碳钢的120~130%。

碳钢在大气中易生锈,实际是空气中的氧气(O_2)及水汽(H_2O)的氧化腐蚀,其反应如下:



如大气中含有 SO_2 、 H_2S 、 HCl 等腐蚀性气体也使碳钢产生硫化生成 FeS (硫化铁)、二硫化铁(FeS_2)以及氯化铁(FeCl_2)及氢腐蚀等,这些反应如在高温(200~300℃)条件下更剧烈。

二、耐大气腐蚀用钢

如在钢中加入0.05~0.20%的铜(Cu)对耐大气腐蚀的性能就有所改善,从而开发了铜为主要合金元素的耐大气腐蚀用钢如我国的16MnCu、09Mn2Cu、15MnVCu、10MnPR、10MnPNiR、及10PCu等也是耐大气腐蚀用钢。国外耐大气腐蚀用钢有ASTMA242(16Mn)、ASTMA440(16MnCu)、ASTMA441(15MnVCu)等(美国),Cor-TenA、Mayari-R(美)、River-Ten、Cupten、H1-yaw-Ten、Yaw-Ten50、SPA-H、SPAC、JRS41304-2B等(日本)属Cu-P-Cr-Ni系耐大气腐蚀用钢。其它还有铜铬(Cu-Cr)钢、铬铝(Cr-AL)钢等,品种繁多,可供选择。耐大气用钢除了考虑耐大气腐蚀,还要考虑其结构性能(机械强度及力学性能)以及加工、焊接性能等因素,故往往要加入几种合金元素互相配合。这些复配元素之间的影响量很复杂的如把铜含量从0.01%增加到0.04%的微变化可引起耐腐蚀性的很大变化。又如无铜时,镍是有效合金元素,而铬则是有铜