

工程材料应用技术丛书

现代钢铁材料 及其工程应用

孙智 倪宏昕 彭竹琴 编著

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



工程材料应用技术丛书

现代钢铁材料及其 工程应用

孙 智 倪宏昕 彭竹琴 编著



机械工业出版社

本书按照钢铁材料的基本分类和使用特性,全面系统地介绍了现代钢铁材料及其工程应用技术。全书共分9章,内容包括钢铁材料基础知识、工程构件用钢、机器零件用钢、工模具用钢、不锈钢、耐热钢、超高强度钢与TRIP钢、铸铁、铸钢等内容。本书着重对钢铁材料的特性和应用进行了介绍,对影响材料性能的因素和机理只作了简要的说明。本书叙述简明、层次清晰、内容丰富翔实,是一本应用性强、标准新、技术新的现代钢铁材料工程应用技术图书。

本书可供机械、电子、石油、化工、建筑等领域的工程技术人员、管理人员及购销人员使用,也可供相关专业的在校师生和研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代钢铁材料及其工程应用/孙智等编著. —北京:
机械工业出版社, 2006.12
(工程材料应用技术丛书)
ISBN 7-111-20439-5

I. 现… II. 孙… III. ①钢—金属材料—基本知识
②铁—金属材料—基本知识 IV. TG14

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第142938号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:陈保华 版式设计:张世琴 责任校对:张莉娟
封面设计:马精明 责任印制:洪汉军
北京京丰印刷厂印刷
2007年1月第1版·第1次印刷
169mm×239mm·12.625印张·491千字
0 001—4 000册
定价:35.00元

凡购本书,如有缺页,倒页,脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294
购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010) 68351729
封面无防伪标均为盗版

前 言

材料是社会发展的物质基础，材料、信息与能源被誉为现代文明的三大支柱。在各类材料当中，尽管有机高分子材料、陶瓷材料与复合材料在近些年来高速发展，但金属材料，特别是钢铁材料仍将具有强大的生命力，在 21 世纪中它仍将占有重要地位。其主要原因是：第一，金属材料的资源丰富，在相当长的时间内不会枯竭。目前的地质调查资料表明，多数金属矿物可以开采 100 年到几百年，如铁矿估计仍能满足 300 年的需要；而且在海洋中和地壳深处，都还蕴藏着大量的金属矿物有待开发。第二，对于金属材料，已有非常成熟的生产工艺、相当大的生产规模、相当多的生产加工设施和长期的使用经验。如通过现代化的大型高炉、氧气吹炼、连铸连轧以及控轧控冷等技术，可以快速经济地由铁矿石生产出价格低廉、性能可靠的成品钢材。所以说金属材料已经成为国民经济和社会发展的基础材料，其中钢铁材料是金属材料中应用最广、最成熟的材料。第三，金属材料具有优越的综合性能，其弹性模量比高分子材料高得多，其韧性比陶瓷材料高得多。许多金属材料，特别是钢铁，在性能价格比方面具有优势。第四，金属材料仍具有很大的改进和发展空间，新技术和新产品在不断增加，材料质量在不断提高。第五，通过热处理和表面改性技术，可以赋予金属材料以新的复合性能，进一步发挥钢铁材料的性能潜力，承担更多的不同要求的工作。

随着科学技术的发展，我国在钢铁材料的研究和开发领域取得了长足的进步，特别是近 20 年来，钢铁材料的新品种、新技术和新工艺不断涌现；另一方面，各类设备的复杂程度和所处工况要求越来越高，而且各种环境因素的耦合作用，对钢铁材料制品的性能要求，已经从单一的强度指标发展到抗断裂、耐蚀、耐磨等多种指标。因此，掌握和了解现代钢铁材料的发展状况、技术性能及其工程应用是十分必要的。按照机械工业出版社“工程材料应用技术”丛书的编撰计划要求，作者根据多年的科研教学经验和科技文献资料编著了本书，以期比较全面系统地介绍常用钢铁材料及其工程应用。全书按照钢铁材料的基本分类和使用特性分目，共分 9 章。第 1 章简要介绍常用钢铁材料基础知识和性能指标及其国内外分类方法；第 2 章介绍工程结构用钢的特性和应用；第 3 章为机器结构用钢的特点、性能与应用；第 4 章为工模具用钢的特性与应用；第 5 至第 7 章为特种条件下工作的不锈钢、耐热钢和超高强度钢的特性及应用；第 8 章和第 9 章主要介绍了铸钢和铸铁的特性及应用。

介绍钢铁材料的著作较多，而作为一套工程应用丛书的一部分，在编撰过程

中如何体现“现代与工程应用”是很困难的。我们在编写时主要注意了三个方面的问题：一是注重钢铁材料的特性和应用的介绍，对影响材料性能的因素和机理只作简要的说明；二是结合钢铁材料的使用，比较注意机械设计等领域的材料选用问题，并对不同条件下材料的性能指标和失效原因进行简要介绍；三是注意先进技术和标准的引用。

本书可供有关科技工作者、工程技术人员参考，也可作为大专院校材料专业学生的教材或教学参考书。

本书由中国矿业大学孙智、徐州工程学院倪宏昕和中原工学院的彭竹琴共同编著，由中国矿业大学江利教授和方亮教授审稿。河海大学的吴玉萍教授和中原工学院的商全义教授对书稿提出了宝贵的建议，北京科技大学的冯培忠、中国矿业大学的王晓虹、康学勤、史月丽和杨峰，在资料收集、标准的选用等方面做了大量工作，徐州工程机械集团的张甫提供了部分实际应用数据。

在编写过程中，作者参考和引用了许多专著和论文，在此向专著和论文的作者表示深深的感谢；有的著作的引用，可能未在书稿中一一标出，特向专著的作者表示诚恳的歉意。

由于作者水平有限，疏漏和错误之处一定很多，恳请读者批评指正。

作者

目 录

前言

第1章 钢铁材料基础知识	1
1.1 钢的合金化	1
1.1.1 铁碳合金相图	1
1.1.2 钢中的合金元素	5
1.1.3 合金元素与铁的相互作用	7
1.1.4 合金元素与碳的相互作用	9
1.1.5 合金元素对 Fe-C (Fe_3C) 相图的影响	11
1.1.6 合金元素对奥氏体层错能的影响	12
1.1.7 常用合金元素的作用	13
1.2 钢铁中的基本组织	16
1.2.1 合金元素在钢中的存在形式	16
1.2.2 固溶体类型组织	17
1.2.3 化合物类型组织	20
1.3 钢的力学性能	23
1.3.1 金属的常规性能指标	23
1.3.2 疲劳强度	31
1.3.3 韧性	33
1.3.4 高温力学性能	36
1.4 钢的强初化机制	37
1.4.1 钢的强化机理	38
1.4.2 钢的初化途径	39
1.5 钢中微量合金元素的作用	41
1.5.1 钢中常见的微量元素	41
1.5.2 微量元素对钢的有益作用	41
1.5.3 微量元素对钢的有害影响	43
1.6 钢的分类和编号方法	44
1.6.1 钢的分类	45
1.6.2 钢的编号方法	46
第2章 工程构件用钢	53
2.1 碳素结构钢	54
2.1.1 碳素结构钢的分类	54

2.1.2 低碳钢的时效	56
2.2 低合金结构钢	58
2.2.1 低合金结构钢的性能要求	58
2.2.2 低合金高强度钢中合金元素的作用和影响	58
2.2.3 低合金高强度钢的冶金问题	64
2.2.4 我国的低合金高强度钢	65
2.3 特殊性能低合金高强度钢	69
2.3.1 耐候钢	70
2.3.2 耐海水腐蚀钢	72
2.3.3 表面处理钢材	72
2.3.4 汽车冲压钢板	74
2.3.5 石油、天然气管线钢	79
2.3.6 工程机械用钢与可焊接高强度钢	83
2.3.7 钢筋钢	84
2.3.8 低温用钢	86
2.3.9 钢轨钢	87
2.4 国外低合金高强度钢简介	88
2.5 工程构件用钢的发展趋势	89
第3章 机器零件用钢	93
3.1 调质钢	93
3.1.1 调质钢的力学性能要求	94
3.1.2 调质钢的合金化及组织特点	94
3.1.3 常用的调质钢	95
3.1.4 调质钢的冶金质量、热处理特点与组织、性能的关系	99
3.2 渗碳钢、氮化钢及低淬透性钢	102
3.2.1 渗碳钢的受力状态及对性能的要求	102
3.2.2 渗碳钢的合金化	104
3.2.3 常用的渗碳钢	107
3.2.4 渗碳钢的热处理特点	110
3.2.5 渗碳钢的应用	111
3.2.6 汽车渗碳齿轮用钢	114
3.2.7 氮化钢	116
3.2.8 低淬透性钢	121
3.3 低碳马氏体钢	122
3.4 冷锻冷锻和冷挤压用钢	126
3.5 易切削钢	132
3.6 非调质钢与贝氏体钢	135

3.6.1 非调质钢	135
3.6.2 贝氏体钢	137
3.7 弹簧钢	141
3.7.1 弹簧的工作条件和性能要求	141
3.7.2 热成形弹簧钢的成分、性能特点和应用范围	142
3.7.3 冷成形弹簧钢丝	147
3.8 轴承钢	149
3.8.1 滚动轴承的工作条件及对轴承用钢的要求	149
3.8.2 铬轴承钢的化学成分	150
3.8.3 铬轴承钢的锻造与热处理	152
3.8.4 特殊用途的轴承钢	156
3.8.5 轴承材料的新进展	159
3.9 特殊用途钢	160
3.9.1 耐磨钢	160
3.9.2 低温用钢	164
3.9.3 大锻件用钢	167
第4章 工模具用钢	177
4.1 刃具钢	177
4.1.1 刃具钢的工作条件和基本性能要求	177
4.1.2 刃具用的碳素工具钢	178
4.1.3 刃具用的低合金工具钢	181
4.1.4 高速钢	184
4.2 冷作模具钢	198
4.2.1 冷作模具钢的性能要求	198
4.2.2 碳素工具钢和低合金工具钢	199
4.2.3 高碳高铬模具钢	199
4.2.4 高碳中铬模具钢	202
4.2.5 含 Mn 的空冷微变形钢	203
4.2.6 高速钢冷作模具	203
4.2.7 马氏体型冷作模具钢	203
4.3 热作模具钢	205
4.3.1 热作模具的性能要求	205
4.3.2 锤锻模用钢	207
4.3.3 热挤压模用钢	208
4.3.4 压铸模用钢	211
4.4 塑料模具钢	212
4.4.1 塑料模具工作条件及基本要求	212
4.4.2 塑料模具用钢	213

4.5 基体钢	216
4.5.1 概述	216
4.5.2 几种基体钢及其特点	217
4.6 模具材料的进展	218
4.6.1 模具材料	218
4.6.2 热处理工艺	223
4.7 其他类型的工具钢	227
4.7.1 量具钢	227
4.7.2 耐冲击工具用钢	228
第5章 不锈钢	231
5.1 不锈钢的分类	231
5.2 不锈钢的合金化原理与腐蚀	232
5.2.1 不锈钢的合金化原理	232
5.2.2 不锈钢的腐蚀	233
5.3 铁素体不锈钢	239
5.4 马氏体不锈钢	244
5.4.1 马氏体不锈钢的成分和用途	244
5.4.2 Cr13型马氏体不锈钢及其热处理	246
5.4.3 马氏体-铁素体型不锈钢	249
5.5 奥氏体不锈钢	249
5.5.1 18-8型不锈钢	252
5.5.2 Cr-Mn及Cr-Mn-Ni型不锈钢	255
5.5.3 高Si和Mo奥氏体不锈钢	256
5.6 奥氏体-铁素体不锈钢	257
5.6.1 奥氏体-铁素体不锈钢的成分与特性	257
5.6.2 奥氏体-铁素体不锈钢的耐蚀性	258
5.6.3 奥氏体-铁素体不锈钢的相比例	259
5.6.4 典型的奥氏体-铁素体不锈钢	259
5.7 沉淀硬化型不锈钢	260
5.7.1 沉淀硬化型不锈钢的类型与特点	260
5.7.2 奥氏体-马氏体沉淀硬化型不锈钢	262
5.7.3 马氏体沉淀硬化型不锈钢	263
5.8 不锈钢的选用	263
第6章 耐热钢	269
6.1 概述	269
6.1.1 耐热钢的工作条件及其对性能的要求	269
6.1.2 耐热钢的失效	273

6.2 抗氧化钢	276
6.2.1 铁素体型抗氧化钢	279
6.2.2 奥氏体型抗氧化钢	279
6.3 珠光体(珠光体-铁素体)型热强钢	281
6.3.1 低碳珠光体(铁素体)型热强钢	281
6.3.2 中碳珠光体型热强钢	288
6.4 马氏体型热强钢	289
6.4.1 汽轮机叶片用钢	293
6.4.2 内燃机排气阀用钢	294
6.5 奥氏体型热强钢	295
第7章 高强度钢与 TRIP 钢	298
7.1 超高强度钢	298
7.1.1 低合金超高强度钢	300
7.1.2 中合金超高强度钢	302
7.1.3 高合金超高强度钢——马氏体时效钢	302
7.1.4 HP9Ni-4Co 钢	304
7.1.5 含 Co 马氏体时效钢	304
7.1.6 无 Co 马氏体时效钢	305
7.2 TRIP 钢	306
7.2.1 Ni-Cr 奥氏体 TRIP 钢	307
7.2.2 Si-Mn 系 TRIP 钢	307
7.2.3 TRIP 钢板及其在汽车工业的应用	309
钢 8 章 铸铁	312
8.1 概述	312
8.1.1 铸铁中石墨的形态和分类	312
8.1.2 铁-石墨相图	313
8.1.3 铸铁中合金元素的作用	315
8.2 灰铸铁	317
8.2.1 灰铸铁的牌号、成分及组织	317
8.2.2 灰铸铁的性能	318
8.2.3 灰铸铁的热处理	319
8.2.4 灰铸铁的应用	320
8.3 可锻铸铁	322
8.3.1 可锻铸铁的成分和组织	322
8.3.2 可锻铸铁的牌号及性能	323
8.3.3 可锻铸铁的退火	324
8.3.4 可锻铸铁的应用	325

8.4 球墨铸铁	325
8.4.1 球墨铸铁的组织与成分	326
8.4.2 球墨铸铁的牌号和性能	327
8.4.3 球墨铸铁的热处理	329
8.4.4 球墨铸铁的应用	332
8.5 蠕墨铸铁	334
8.5.1 蠕墨铸铁的成分与组织	334
8.5.2 蠕墨铸铁的牌号与性能	335
8.5.3 蠕墨铸铁的热处理	336
8.5.4 蠕墨铸铁的应用	337
8.6 特种铸铁	338
8.6.1 耐磨铸铁	338
8.6.2 耐热铸铁	343
8.6.3 耐蚀铸铁	344
8.7 铸铁和铸造技术的发展	346
8.7.1 铸铁和铸造技术现状	346
8.7.2 铸铁和铸造技术发展方向	348
第9章 铸钢	350
9.1 概述	350
9.1.1 铸钢件的优点	350
9.1.2 铸钢件的应用	351
9.1.3 铸钢的分类及牌号	353
9.2 一般工程与结构用铸造碳钢和高强度铸钢	354
9.2.1 铸造碳钢	354
9.2.2 铸造碳钢的用途	356
9.3 铸造中、低合金钢	357
9.3.1 低合金结构铸钢	357
9.3.2 中、低合金高强度铸钢	358
9.3.3 微量合金化铸钢	358
9.4 铸造不锈钢及耐热钢	359
9.4.1 工程结构用中、高强度马氏体不锈钢	359
9.4.2 耐腐蚀铸造不锈钢及镍基铸造合金	360
9.4.3 铸造耐热钢	364
9.5 铸造耐磨钢	365
9.5.1 耐磨锰钢	365
9.5.2 耐磨中铬钢	366
9.5.3 耐磨低合金钢	367

9.5.4 耐磨碳钢	367
9.5.5 铸造石墨钢	368
9.6 铸造特殊用钢及专业用钢	368
9.6.1 铸造特殊用钢	368
9.6.2 专业铸造用钢	369
9.7 快速成形技术在铸造中的应用	374
9.7.1 快速成形技术概述	375
9.7.2 快速成形技术在铸造生产中的应用	376
9.7.3 各种快速成形技术在铸造上应用的比较	380
参考文献	381

第 1 章 钢铁材料基础知识

1.1 钢的合金化

随着现代科学技术的迅猛发展，产品复杂程度和工作能力的提高以及使用环境的苛刻，金属构件的失效向着多因素非线性耦合交互作用的方向发展，对钢铁材料提出了越来越高的要求。为了改善钢的性能，在碳钢中加入一些合金元素，从而达到改变其使用性能和工艺性能的目的，以满足在现代各种高新技术和特殊要求条件下的应用。例如，可以使钢具有优良的强韧性配合；或有高的耐磨性能；或具有良好的耐腐蚀性能；或在高温下有较高的强度；或具有良好的工艺性能，如热塑性、冷变形性、淬透性和可焊接性等。这主要是由于合金元素的加入改变了钢的内部组织结构的缘故。一个国家合金钢生产的能力和水平以及应用水平，代表着这个国家科学技术的发展水平，是衡量国力的一个重要标志。

为了保证获得所要求的金属内部组织结构，物理、化学和力学性能而特别添加的化学元素称为合金元素。加入适量的合金元素达到改变金属性能的方法叫做合金化。加入合金元素的钢则称为合金钢。

一般地，当钢中的合金元素总质量分数小于或等于 5% 时，叫做低合金钢；合金元素总质量分数在 5% ~ 10% 范围内称为中合金钢；合金元素总质量分数超过 10% 时，叫做高合金钢。但是这种划分并没有严格的规定。

1.1.1 铁碳合金相图

说明在接近平衡状态下钢铁成分、温度与其组织之间关系的图，就是铁碳合金相图，如图 1-1 所示。从铁碳合金相图上，可以了解各种含碳量的钢铁在不同的温度下所存在的相（或组织）。因此，铁碳合金相图是研究钢铁成分、组织和性能之间关系的理论基础，也是制定各种热加工工艺的依据。

1. 铁碳合金的相结构

纯铁从液态结晶后得到体心立方晶格的 δ -Fe；随后又有两次同素异构转变，在 1394°C 转变为面心立方晶格的 γ -Fe；在 911°C 又由 γ -Fe 转变为体心立方晶格的 α -Fe。铁碳合金的基本组成相为铁素体、奥氏体和渗碳体。由于高温 δ -Fe 形成的高温铁素体在工程应用上没有实际意义，故不作为基本相考虑。

(1) 铁素体 (F) 碳原子溶入 α -Fe 形成的间隙固溶体称为铁素体。由于 α -Fe

晶格的间隙半径只有 0.036nm ，而碳原子半径为 0.077nm ，所以铁素体对碳的固溶度很小，在 727°C 时的最大固溶度为 0.02% ，而在室温时几乎为零。铁素体的力学性能与纯铁相近，其数值为：抗拉强度 $\sigma_b = 250\text{MPa}$ ，屈服点 $\sigma_s = 140\text{MPa}$ ，伸长率 $\delta = 40\% \sim 50\%$ ，冲击韧度 $a_k = 200\text{J}/\text{cm}^2$ ，布氏硬度 80HBW 。

由此可见，铁素体具有优良的塑性和韧性，但强度、硬度较低，在铁碳合金中属于软韧相。

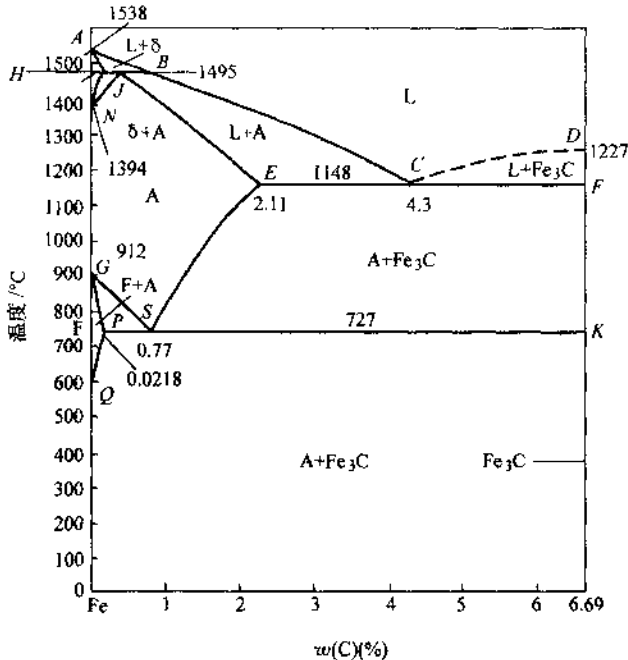


图 1-1 Fe-Fe₃C 相图

(2) 奥氏体 (A) 碳原子溶入 $\gamma\text{-Fe}$ 中形成的间隙固溶体，称为奥氏体。 $\gamma\text{-Fe}$ 晶格的间隙半径为 0.052nm ，在 1148°C 时碳原子在其中的最大固溶度为 2.11% ；随着温度降低，碳在 $\gamma\text{-Fe}$ 中的固溶度下降，在 727°C 时为 0.77% 。

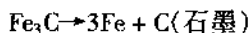
奥氏体是在 727°C 以上的高温平衡相，具有极好的塑性，所以碳钢具有优良的轧、锻等热加工工艺性能。奥氏体中固溶的碳比铁素体的固溶量大得多，当以较快的冷却速度冷却时，这些碳就固溶在铁素体中，起到强化的作用，这是碳钢可以通过淬火等热处理方法强化的基础。

(3) 渗碳体 (Fe₃C) 渗碳体是铁与碳原子结合形成的具有金属性质的复杂间隙化合物，分子式为 Fe₃C，w(C) 为 6.69% 。

渗碳体硬度很高，约 800HV ，但极脆，塑性和韧性几乎为零，抗拉强度 σ_b

约为 30MPa。在铁碳合金中，渗碳体是硬脆相，是主要的强化相。渗碳体在碳钢中的含量、形态以及分布对钢的性能影响极大。渗碳体在铁碳合金中可以呈片状、粒状、网状和板状形态存在。当渗碳体在钢中以粗大网状分布时，对钢的强韧性影响很大。

在高温时，铁碳合金中的渗碳体经一定时间后会发生如下分解反应，析出石墨态的碳：



2. 相图的特性点、线

相图中的主要特性点的含义及其对应的温度和含碳量见表 1-1。

表 1-1 铁碳合金相图特性点的说明

特性点符号	温度/°C	w(C)(%)	说 明
A	1538	0	纯铁的熔点
B	1495	0.51	包晶反应时液态合金的浓度
C	1148	4.3	共晶点 $L_{4.3} \rightleftharpoons A_{2.11} + \text{Fe}_3\text{C}_{6.69}$
D	1227	6.69	渗碳体熔点
E	1148	2.11	碳在 $\gamma\text{-Fe}$ 中的最大溶解度
F	1148	6.69	渗碳体
G	912	0	$\alpha\text{-Fe} \rightleftharpoons \gamma\text{-Fe}$ 同素异构转变点 (A_3)
H	1495	0.09	碳在 $\delta\text{-Fe}$ 中的最大溶解度
J	1495	0.17	包晶点 $L_{0.51} + \delta_{0.09} \rightleftharpoons A_{0.17}$
K	727	6.69	渗碳体
N	1394	0	$\gamma\text{-Fe} \rightleftharpoons \delta\text{-Fe}$ 同素异构转变点
P	727	0.0218	碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的最大溶解度
S	727	0.77	共析点 $A_{0.77} \rightleftharpoons F_{0.0218} + \text{Fe}_3\text{C}_{6.69}$
Q	600	0.0057	碳在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的溶解度

相图中各特性线的含义：

ABCD 线：液相线，液态合金冷却到此线开始结晶。线以上为液相区，用 L 表示。

AHJECF 线：固相线，合金冷却到此线时，结晶过程終了。此线以下是固相区。

ES 线：碳在奥氏体中的固溶度曲线，也叫做 A_{cm} 线。合金冷却到此线，开始从奥氏体中析出二次渗碳体 (Fe_3C_{II})，剩余奥氏体的含碳量不断降低。

GS 线：合金在冷却过程中从奥氏体中开始析出铁素体的线，也叫做 A_3 线；或加热时，铁素体溶入奥氏体的終了线。

PQ 线：碳在铁素体中的固溶度曲线。合金冷却到此线，将从铁素体中析出

三次渗碳体 ($\text{Fe}_3\text{C}_{\text{III}}$)。

ECF 线: 共晶反应线 (等温线)。 $w(\text{C})$ 为 2.11% ~ 6.69% 的合金冷却到此线时, 将发生共晶反应, 从液体中同时结晶出奥氏体和渗碳体。

PSK 线: 共析线, 也称为 A_1 线 (等温线)。 $w(\text{C})$ 为 0.0218% ~ 6.69% 的合金冷却到此线时, 发生共析反应, 即从固态的奥氏体中同时析出铁素体和渗碳体。

HJB 线: 包晶线。 $w(\text{C})$ 为 0.09% ~ 0.53% 的合金冷却到此线时, 发生包晶反应, 即由一定成分的固相 ($\delta\text{-Fe}$) 与一定成分的液相反应, 生成新的固相 (奥氏体)。

3. 铁碳合金相图在工程上的应用

铁碳合金相图在正确选择和更好地使用材料、金属热加工、热处理, 以及选配合金钢、合金铸铁等方面都有重要作用。

含碳量对铁碳合金组织和性能影响是主要的, 如图 1-2 和图 1-3 所示。含碳量不同时, 组织将有很大变化。 $w(\text{C})$ 为 0.77% 时, 组织为珠光体, 在亚共析钢中为铁素体 + 珠光体, 而在过共析钢中则为珠光体和渗碳体的混合组织。

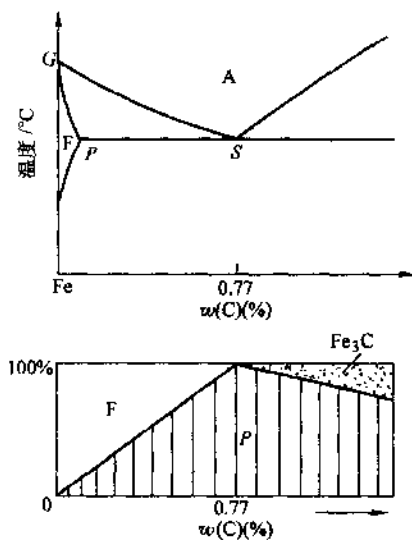


图 1-2 含碳量 $w(\text{C})$ 对碳钢组织的影响 (示意图)

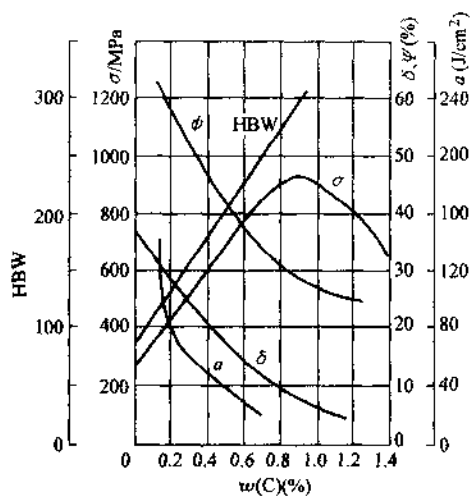


图 1-3 含碳量 $w(\text{C})$ 对碳钢力学性能的影响

随着含碳量的增加, 碳钢的强度和硬度上升而塑性和韧性下降。但当 $w(\text{C})$ 超过 0.9% 后, 由于游离状态的二次渗碳体自晶界析出, 形成硬脆的网状组织, 降低了晶界之间的结合力, 钢的脆性增加, 强度反而下降。 $w(\text{C})$ 大于 1.4% 后, 工程上已很少应用。

铁碳合金相图能很好地反映钢铁材料的成分与组织之间的关系，因此工程上可根据需要选材。如对于一般的结构件，可选用 $w(\text{C})0.25\%$ 以下的碳钢，具有好的塑性和韧性，而强度也能满足要求；对于承受复杂应力的重要零部件，如齿轮、轴等，则需要选择经过热处理后具有优良的强韧性配合的 $w(\text{C})0.3\% \sim 0.5\%$ 的钢；各类弹簧、板簧则需要 $w(\text{C})0.5\% \sim 0.75\%$ 的钢；而工具、模具、轴承则需要 $w(\text{C})0.8\% \sim 1.3\%$ 的钢。

铁碳合金相图还是制定热加工工艺的重要依据，在铸造、轧制、锻造、焊接和热处理方面应用很广。

铁碳合金相图与铸锻工艺参数的关系可由图 1-4 说明。从图中可以看出，铸铁的浇铸温度低。越是接近共晶点的铁碳合金结晶时，液相线温度越低，液固线越是接近，合金的流动性好，偏析倾向小，所以铸铁的铸造性能大大优于铸钢。

铁碳合金相图中有广阔的奥氏体区。面心立方晶格的高温奥氏体具有优良的塑性和较低的强度，塑性变形抗力很低，金属延展性很好，是热锻、热轧极好的组织。锻轧温度一般选择在图 1-4 中斜线部分。斜线的上部为始锻温度，底线为终锻温度。

不同成分的铁碳合金加热冷却后的组织不同，得到的性能也就不同。铁碳合金相图可以提供碳钢淬火加热时的温度区间（图 1-4 中的斜线区域）。实际上，即使是合金钢，在合金含量不高时，也可以参考这一区间制定热处理工艺。

1.1.2 钢中的合金元素

钢是以铁为基的合金，即使是非常纯净的钢，也常常含有一些其他元素，它们是由冶炼时所用的原材料带入到钢中的。除碳以外，钢中可能还含有少量的或微量的 S、P、Si、Mn、Cu、Cr、Ni 等，一般在工程上将 S、P 作为杂质元素看待，而其他则作为残留元素对待，不认为是合金元素。

Mn 是由生铁带入钢中的，Mn 与 Si 还以脱氧剂的形式进入钢中。S、P 均是由原料带入，并在炼钢时由于去除不净而被保留下来。在某些矿区，由于矿石和原料的因素，使某些元素被带入到钢中。例如，我国大冶铁矿中含有 Cu，攀枝

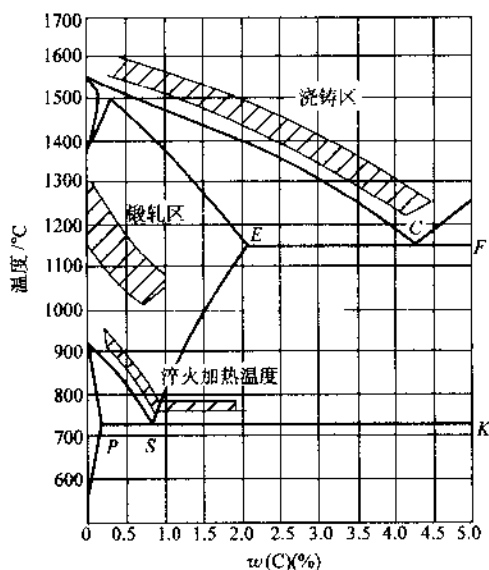


图 1-4 铁碳合金相图在工程中的应用