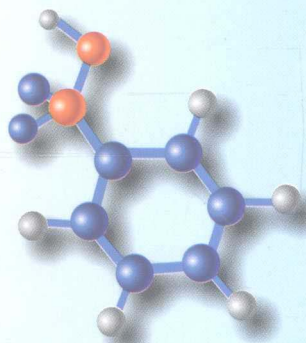




21世纪全国高等院校材料类 **创新型** 应用人才培养规划教材



MATERIALS

金属材料学

赵莉萍 主 编

刘宗昌 主 审

- 内容具有综合性、实用性、先进性
- 介绍材料科学发展的新理论及技术
- 注重培养解决工程实际问题的能力

Materials



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材

金属材料学

主 编	赵莉萍		
副主编	吴 润	周俊琪	
参 编	宋义全	甘章华	赵勇桃
主 审	刘宗昌		



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书内容包括钢铁材料、有色金属材料两大部分,系统地讲解了钢及有色金属的合金化原理及合金元素在金属材料中的作用。本书在了解各类钢种工作条件的基础上,分析钢的性能要求及合金化原则,系统介绍工程构件用钢、机器零件用钢、工模具用钢、不锈钢、耐热钢及耐热合金、铸铁的成分、牌号、热处理工艺、性能及主要用途;介绍了铝及铝合金、铜及铜合金、镁及镁合金、钛及钛合金的特点、主要加工工艺及应用。本书理论系统,层次清晰,结合实际。

本书是金属材料工程专业的“金属材料学”主干课程教学用书,也可作为材料类相关专业研究生及从事材料科学工作的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料学/赵莉萍主编. —北京:北京大学出版社, 2012. 10

(21 世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-21292-9

I. ①金… II. ①赵… III. ①金属材料—高等学校—教材 IV. ①TG14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 227456 号

书 名: 金属材料学

著作责任者: 赵莉萍 主编

策 划 编 辑: 童君鑫 宋亚玲

责 任 编 辑: 宋亚玲

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-21292-9/TG·0036

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 北京富生印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 22.5 印张 516 千字

2012 年 10 月第 1 版 2012 年 10 月第 1 次印刷

定 价: 43.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

21 世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材

编审指导与建设委员会

成员名单（按拼音排序）

白培康（中北大学）	陈华辉（中国矿业大学）
崔占全（燕山大学）	杜彦良（石家庄铁道大学）
杜振民（北京科技大学）	耿桂宏（北方民族大学）
关绍康（郑州大学）	胡志强（大连工业大学）
李楠（武汉科技大学）	梁金生（河北工业大学）
林志东（武汉工程大学）	刘爱民（大连理工大学）
刘开平（长安大学）	芦笙（江苏科技大学）
裴坚（北京大学）	时海芳（辽宁工程技术大学）
孙凤莲（哈尔滨理工大学）	孙玉福（郑州大学）
万发荣（北京科技大学）	王春青（哈尔滨工业大学）
王峰（北京化工大学）	王金淑（北京工业大学）
王昆林（清华大学）	卫英慧（太原理工大学）
伍玉娇（贵州大学）	夏华（重庆理工大学）
徐鸿（华北电力大学）	余心宏（西北工业大学）
张朝晖（北京理工大学）	张海涛（安徽工程大学）
张敏刚（太原科技大学）	张锐（郑州航空工业管理学院）
张晓燕（贵州大学）	赵惠忠（武汉科技大学）
赵莉萍（内蒙古科技大学）	赵玉涛（江苏大学）

前 言

金属材料学是研究金属材料的成分、组织结构及性能之间关系的一门技术科学，它对生产、使用和发展金属材料起着重要的指导作用。

“金属材料学”是金属材料工程专业的核心课程，是一门综合性、应用性较强的材料类专业必修课。该课程在专业知识结构中占有很重要的地位，是该专业学生走上工作岗位使用最多的最直接的课程。学习本课程前应具有材料科学基础、金属固态相变、材料性能学、金属热处理工艺等课程的基础。

本书编者在金属材料学课程教学中已经有 20 多年的教学经验，在教学过程中，结合材料学科的科学研究的，不断地整合教学内容、凝练教学思路，形成了一定的教学体系和特点，注重培养学生结合专业理论分析解决工程实际问题的能力。本书的编写思路是：围绕金属材料的合金化原理的基础理论—工程构件的服役条件—所用材料的合金化原则—材料的加工工艺—材料的组织—材料的性能—主要用途的主线，讲解金属材料的成分、组织结构及性能之间的关系，结合材料科学发展的新理论、新技术以及材料的新国标，使书中的内容具有综合性、实用性、先进性的特点。本书更适合于工程应用型金属材料工程等材料类专业使用。

本书内容包括钢铁材料、有色金属材料两大部分。围绕金属材料合金化原理的核心，重点阐述各类钢铁材料、有色金属材料的合金化原理及热处理工艺特点，强调材料的成分、组织、性能及用途之间的关系。为了使学生更好地理解课程的理论、掌握课程的重点，在各章开头均有教学要点、建议教学学时、导入案例，在各章的最后附有本章小结及一定量的习题与思考题。本书建议教学学时为 40~60 学时。

本书共分为 11 章，其中第 1 章由内蒙古科技大学赵莉萍教授编写，第 5 章由内蒙古科技大学赵莉萍教授、赵勇桃副教授编写，第 2 章、第 4 章、第 7 章由武汉科技大学吴润教授编写，第 3 章由太原科技大学周俊琪教授编写，第 11 章由武汉科技大学甘章华教授编写，第 6 章由内蒙古科技大学赵勇桃副教授编写，第 8 章、第 9 章、第 10 章由内蒙古科技大学宋义全教授编写，全书由赵莉萍教授统稿，刘宗昌教授主审。本书在编写过程中参阅了许多文献资料，其中主要的文献资料列于书后，在此谨向这些参考文献的作者表示诚挚的谢意。

由于作者水平有限，书中难免有不足及疏漏之处，敬请同行和读者批评指正。

编 者
2012 年 8 月

目 录

第 1 章 钢铁材料的合金化原理 1

1.1 碳钢简介	2
1.1.1 碳钢中的常存元素及作用	2
1.1.2 碳钢的分类	4
1.1.3 碳钢的牌号及用途	5
1.2 钢中合金元素与铁和碳的相互作用	7
1.2.1 钢中常用的合金元素及在钢中的存在形式	8
1.2.2 合金钢中的相	10
1.2.3 合金元素与铁的相互作用及对 Fe-Fe ₃ C 相图的影响	15
1.2.4 合金元素对固溶体中碳活度、扩散系数及奥氏体层错能的影响	20
1.3 合金元素对钢的组织转变的影响	21
1.3.1 合金元素对钢加热时奥氏体形成过程的影响	21
1.3.2 合金元素对钢的过冷奥氏体分解转变的影响	23
1.4 合金元素对钢强度、塑性及韧性的影响	33
1.4.1 合金元素对钢强度的影响	33
1.4.2 合金元素对钢的塑性、韧性的影响	36
1.5 合金元素对钢的工艺性能的影响	38
1.5.1 合金元素对钢的冷态成形的影响	38
1.5.2 合金元素对钢切削加工性的影响	39

1.5.3 合金元素对钢焊接性的影响	40
1.5.4 合金元素对钢的热处理工艺性能的影响	40
1.6 微量元素在钢中的作用	43
1.7 合金钢的分类及编号	44
本章小结	45
重要名词解释	46
习题与思考题	48

第 2 章 工程构件用钢 49

2.1 工程构件用钢的工作条件、性能要求及合金化	51
2.1.1 工程构件用钢的服役条件与机械性能	51
2.1.2 工程构件用钢工艺性能和耐腐蚀性的要求	51
2.2 工程构件用钢的合金化	52
2.2.1 合金元素对工程构件用钢力学性能的影响	52
2.2.2 合金元素对工程构件用钢焊接性和耐大气腐蚀性的影响	54
2.3 典型工程构件用钢	55
2.3.1 铁素体-珠光体钢	57
2.3.2 微珠光体低合金高强度钢	60
2.3.3 针状铁素体钢	63
2.3.4 低碳贝氏体钢	64
2.3.5 铁素体-马氏体双相钢	65
2.3.6 低合金高强度钢的发展趋势	66
本章小结	67
重要名词解释	68
习题与思考题	68



第3章 机器零件用钢 70

3.1 概述	71
3.1.1 机器零件用钢的特点与合金化	71
3.1.2 机器零件用钢的强度与脆性	73
3.2 渗碳钢	76
3.2.1 齿轮的工作条件及性能要求	76
3.2.2 渗碳钢的成分特点	77
3.2.3 典型渗碳钢的种类、牌号、热处理特点及其应用	78
3.3 调质钢	84
3.3.1 调质钢的用途、性能要求及组织特点	84
3.3.2 调质钢的成分特点	85
3.3.3 典型调质钢的种类、牌号、热处理特点及其应用	85
3.3.4 调质零件用钢的发展动向	91
3.4 弹簧钢	92
3.4.1 弹簧钢的用途及性能要求	93
3.4.2 弹簧钢的成分特点	93
3.4.3 典型弹簧钢的种类、牌号、热处理特点及其应用	94
3.5 轴承钢	97
3.5.1 轴承钢的服役条件及性能要求	97
3.5.2 轴承钢的成分特点	97
3.5.3 典型轴承钢的种类、牌号、热处理特点及其应用	98
3.6 马氏体型结构钢	104
3.6.1 低碳马氏体型结构钢	104
3.6.2 低合金中碳马氏体型超高强度结构钢	109
3.6.3 马氏体时效钢	111
3.7 特殊用途结构钢	114
3.7.1 高锰钢	114
3.7.2 易切削钢	115

3.7.3 钢轨钢	117
本章小结	117
重要名词解释	118
习题与思考题	119

第4章 工模具用钢 120

4.1 刀具用钢	122
4.1.1 刀具钢的性能要求及成分特点	122
4.1.2 碳素刀具钢及低合金刀具钢	123
4.1.3 高速工具钢	127
4.2 模具用钢	135
4.2.1 模具用钢的性能要求及成分特点	136
4.2.2 冷作模具钢	137
4.2.3 热作模具钢	141
4.3 其他类型工具用钢	143
4.3.1 量具用钢	143
4.3.2 冷轧辊用钢	145
4.3.3 塑料模具用钢	146
本章小结	147
重要名词解释	148
习题与思考题	148

第5章 不锈钢 150

5.1 概述	151
5.1.1 不锈钢的工作条件及其对性能的要求	151
5.1.2 金属腐蚀的分类	152
5.1.3 金属腐蚀的原理	152
5.1.4 金属腐蚀的类型	154
5.1.5 不锈钢的分类	155
5.2 合金元素对不锈钢组织和性能的影响	156
5.2.1 提高钢的耐蚀性的途径	156
5.2.2 合金元素对铁的极化和电极电位的影响	156
5.2.3 合金元素对不锈钢耐蚀性和基体组织的影响	158

5.2.4 合金成分、组织对不锈钢机械性能的影响	161	6.1.5 耐热钢的合金化	205
5.2.5 腐蚀介质对钢耐蚀性的影响	162	6.2 抗氧化钢	205
5.3 铁素体不锈钢	163	6.2.1 铁素体型抗氧化钢	206
5.3.1 铁素体不锈钢的钢种和成分	163	6.2.2 奥氏体型抗氧化钢	208
5.3.2 铁素体不锈钢的组织	163	6.3 热强钢	211
5.3.3 铁素体不锈钢的脆性	165	6.3.1 珠光体型热强钢	212
5.3.4 铁素体不锈钢的热处理	166	6.3.2 马氏体型热强钢	214
5.4 马氏体不锈钢	168	6.3.3 奥氏体型热强钢及合金	214
5.4.1 马氏体不锈钢的钢种和成分	168	6.4 镍基高温合金	224
5.4.2 马氏体不锈钢的平衡组织	170	本章小结	227
5.4.3 马氏体不锈钢的热处理	170	重要名词解释	228
5.5 奥氏体不锈钢	175	习题与思考题	228
5.5.1 奥氏体不锈钢的成分及典型钢种	175	第7章 铸铁	230
5.5.2 奥氏体不锈钢的组织	177	7.1 铸铁的石墨化及影响因素	231
5.5.3 奥氏体不锈钢的晶间腐蚀	177	7.1.1 铸铁的石墨化	231
5.5.4 奥氏体不锈钢的热处理	178	7.1.2 影响铸铁组织的因素	233
5.5.5 铬锰氮奥氏体不锈钢	183	7.1.3 铸铁的分类及各类铸铁的特征	234
5.6 双相不锈钢	185	7.2 控制石墨形态即提方铸的途径	235
5.6.1 奥氏体-铁素体双相不锈钢	185	7.2.1 灰口铸铁中石墨的生长方式	236
5.6.2 奥氏体-马氏体双相不锈钢	185	7.2.2 球状石墨的形成	236
本章小结	193	7.2.3 蠕虫状石墨的形成	237
重要名词解释	194	7.3 灰铸铁	238
习题与思考题	195	7.3.1 灰铸铁的成分及组织特点	238
第6章 耐热钢及耐热合金	197	7.3.2 灰铸铁的热处理及性能	238
6.1 概论	198	7.4 球墨铸铁	241
6.1.1 耐热钢的工作条件和性能要求	198	7.4.1 球磨铸铁的成分及组织特点	241
6.1.2 钢的抗氧化性	200	7.4.2 球磨铸铁的热处理及性能	242
6.1.3 钢的热强性	201	7.5 蠕墨铸铁	244
6.1.4 耐热钢及耐热合金的类型	204	7.5.1 蠕墨铸铁的成分及组织特点	244
		7.5.2 蠕墨铸铁的热处理及性能	245
		7.6 可锻铸铁	245



7.7 特殊性能铸铁	247	9.1.2 微量元素及其对铜性能的 影响	279
7.7.1 耐热铸铁	248	9.1.3 铜的合金化原则	280
7.7.2 耐磨铸铁	248	9.2 变形铜合金	281
7.7.3 耐蚀铸铁	249	9.2.1 紫铜	281
本章小结	250	9.2.2 黄铜	283
重要名词解释	250	9.2.3 青铜	289
习题与思考题	251	9.2.4 白铜	293
第8章 铝及铝合金	253	9.3 铸造铜合金	295
8.1 纯铝及其合金化	254	本章小结	298
8.1.1 纯铝的特性	254	重要名词解释	299
8.1.2 铝中的杂质	255	习题与思考题	299
8.1.3 纯铝的牌号及用途	257	第10章 镁及镁合金	300
8.1.4 铝的合金化	258	10.1 镁的特性及其合金化规律	301
8.1.5 铝合金的牌号及状态 表示法	260	10.1.1 金属镁的基本性质	301
8.2 铸造铝合金	262	10.1.2 镁的合金化规律	302
8.2.1 Al-Si 系铸造合金	262	10.1.3 镁合金牌号	303
8.2.2 Al-Cu 系铸造合金	264	10.2 铸造镁合金	304
8.2.3 Al-Mg 系铸造合金	265	10.2.1 铸造镁合金概述	304
8.2.4 Al-Zn 系铸造合金	265	10.2.2 铸造镁合金的特性	304
8.3 变形铝合金	266	10.2.3 Mg-Al 系铸造镁合金	306
8.3.1 Al-Mn 系变形铝合金 (3×××系)	266	10.2.4 Mg-Zn 系铸造镁合金	308
8.3.2 Al-Mg 系变形铝合金 (5×××系)	267	10.2.5 Mg-Re 系铸造镁合金	309
8.3.3 Al-Si 系变形铝合金 (4×××系)	269	10.2.6 铸造镁合金的热处理	312
8.4 铝基复合材料	269	10.3 变形镁合金	313
8.4.1 基体	270	10.3.1 变形镁合金基本性质	313
8.4.2 增强体	270	10.3.2 变形镁合金的合金化	314
8.4.3 主要制备方法	271	10.3.3 典型变形镁合金及其 性能	317
本章小结	272	10.4 镁基复合材料及镁合金的发展 趋势	319
重要名词解释	273	10.4.1 镁基复合材料	319
习题与思考题	274	10.4.2 镁合金的发展趋势	320
第9章 铜及铜合金	275	本章小结	321
9.1 铜的特性、微量元素的影响及 铜的合金化规律	276	重要名词解释	322
9.1.1 工业纯铜的性质	276	习题与思考题	323
9.1.2 微量元素及其对铜性能的 影响	279	第11章 钛及钛合金	324
9.1.3 铜的合金化原则	280	11.1 钛合金概述	325
9.2 变形铜合金	281		
9.2.1 紫铜	281		
9.2.2 黄铜	283		
9.2.3 青铜	289		
9.2.4 白铜	293		
9.3 铸造铜合金	295		
本章小结	298		
重要名词解释	299		
习题与思考题	299		

11.1.1 钛的基本性质	326	11.3.2 TC4 钛合金的显微组织及 力学性能	334
11.1.2 钛合金的分类及主要 特点	328	11.3.3 钛合金的常用热处理 工艺	336
11.2 钛的合金化	332	11.4 钛及钛合金的发展与应用	339
11.2.1 钛合金中合金元素的 作用	332	本章小结	341
11.2.2 钛合金的合金化原则 ...	333	重要名词解释	341
11.3 钛合金的相变、热处理及力学 性能	334	习题与思考题	342
11.3.1 钛合金的固态相变	334	参考文献	343

第 1 章

钢铁材料的合金化原理



本章教学要点

知识要点	掌握程度	相关知识
碳钢的特点	了解碳钢的优缺点，掌握碳钢的牌号及主要用途	碳钢的牌号；钢中常存元素在钢中的作用
钢中合金元素存在形式及其与 Fe、C 的相互作用	了解钢中合金元素的种类及存在形式，掌握合金元素与 Fe、C 的相互作用及对 Fe-Fe ₃ C 相图的影响	合金元素存在形式；碳化物形成元素，非碳化物形成元素；奥氏体形成元素，铁素体形成元素；合金元素对 Fe-Fe ₃ C 相图中 S 点、E 点的影响及意义
合金元素对钢组织转变的影响	掌握合金元素对钢加热转变、冷却转变的影响规律	合金元素对奥氏体形成、晶粒度的影响；钢的转变动力学 TTT 图、CCT 图；合金元素对珠光体转变、贝氏体相变、马氏体相变及马氏体回火转变的影响规律
合金元素对钢的力学性能及工艺性能的影响	理解合金元素对力学性能、热处理工艺性能、焊接性能的影响机理	钢的强化机制；热处理时钢的淬透性、钢材焊接性的概念及影响因素

本章建议学时：10~12 学时。



导入案例

某人在一个处理商品的小店，花2元钱买了一个十字螺丝刀，用过几次以后，十字头变成了圆头，这是为什么呢？螺丝刀的选材一定有问题，不是任何一种钢铁材料都可以做螺丝刀。

钢铁材料可以用来制造各种设备和工件。可以制造桥梁、车辆、船舶、容器等大型结构件，也可以制造齿轮、轴承、弹簧、轴等机器零件；还可以用来制造特殊条件下使用的耐腐蚀或耐高温的构件。各种工件在不同的使用条件下，需要具有不同的使用性能。怎样才能使钢具有所需要的各种性能呢？就是通过向钢中加入合金元素，并进行适当的热处理，来获得所需要的性能。因此，需要掌握各种合金元素加入钢中对钢的组成相、组织转变及力学性能的影响规律，从而，研究和开发具有不同性能的钢种，满足工业生产的需要。

碳钢是钢铁材料中生产量最大的一类钢铁材料，其应用范围很广，因此，为了更好地掌握合金元素对钢的组织 and 性能的影响，首先应了解碳钢中常存在的杂质及其影响，碳钢的分类、特点及主要用途。

1.1 碳钢简介

钢中的各种元素分为4类，它们是常存元素、残留元素、杂质元素和合金元素。常存元素有碳、锰、硅，是冶炼中必然会留下的。残留元素是由矿石及废钢等原料在冶炼时带入钢中的，如铜、锡和稀土元素等。杂质元素是炼钢原料进入钢中的，如氧、氢、硫、磷等元素，这些元素对钢的危害最大，生产中希望含量尽量降低，但在冶炼过程中不能完全去除。合金元素是为了使钢获得某些性能而特别添加的元素。

在碳钢中几乎没有合金元素，除了铁、碳以外还含有一定的杂质元素，如硅、锰、硫、磷、氮、氢、氧等，碳钢的性能主要取决于钢中的含碳量。碳钢的含碳量为0.0218%~1.7%，随着含碳量的增加，钢的强度、硬度升高，塑性、韧性和可焊性降低。

碳钢的优点是价格低廉，冶炼成型工艺简单，且具有较好的力学性能和工艺性能，这些性能还可以通过碳含量和不同的热处理工艺来调整，因此在工业上得到了广泛的应用。但是碳钢也有不足之处，如淬透性较低、回火抗力差、基本相较软。

1.1.1 碳钢中的常存元素及作用

作为杂质元素，其含量在碳钢中一般限制在下列范围： $Mn \leq 0.5\%$ ， $Si \leq 0.4\%$ ， $Cr \leq 0.3\%$ ， $Ni \leq 0.3\%$ ， $Cu \leq 0.3\%$ ， $Mo \leq 0.1\%$ ， $W \leq 0.2\%$ ， $P \leq 0.025\% \sim 0.04\%$ ， $S \leq 0.015\% \sim 0.05\%$ 。同一合金元素既可能作为杂质又可能作为添加元素，若为前者，分为有害杂质和有益元素，均影响钢的质量；若属于后者，则决定钢的性能。有些元素在一些钢中是杂质元素，在另一些钢中是合金元素，如硫在一般钢中很有害，在易切削钢中是合金元素。

1. 锰(Mn)和硅(Si)的作用

Mn 和 Si 是炼钢的脱氧剂,用于除去溶于钢液中的氧,将 FeO 还原为 Fe,形成 MnO 和 SiO₂。Mn 还有除 S 的作用,与钢液中的 S 结合为 MnS,减轻 S 的危害。这些反应产物大部分都进入炉渣,小部分残留在钢中,成为非金属夹杂物。

脱氧剂中的锰和硅总会有一部分溶于钢液中,冷却至室温后溶于铁素体中,提高铁素体的强度。在碳钢中 Mn 的含量通常小于 1.4%,Mn 大部分溶于铁素体中,形成置换固溶体、强化铁素体。此外,Mn 还可以溶于渗碳体中,形成(Fe, Mn)₃C,同时,Mn 还能增加珠光体的相对含量,这些都使钢的强度、硬度增加,可以稍微提高或不降低钢的塑性和韧性。

碳钢中的含 Si 量一般小于 1.2%,此时 Si 是钢中的有益元素。Si 溶于铁素体中,有很强的固溶强化作用,能显著提高钢的强度和硬度,但含量较高时,会使塑性和韧性下降。

2. 硫(S)和磷(P)的影响

硫(S)是钢中的有害元素,它是冶炼时由矿石和燃料带到钢中的杂质。硫只能溶于钢液中,在固态铁中的溶解度极小,而和 Fe 形成 FeS 夹杂,以 FeS 夹杂的形式存在于固态的钢中。硫最大的危害是引起钢在热加工时开裂,这种现象称为热脆。引起热脆的原因是:由于硫存在严重的偏析,即使钢中的硫含量不算高,也会出现(Fe+FeS)共晶。钢在凝固时,共晶组织中的 Fe 依附在先共晶相即奥氏体上生长,最后把 FeS 留在晶界处,形成离异共晶。(Fe+FeS)共晶的温度很低(989℃)而热加工的温度一般为 1150~1250℃,这时位于晶界上的(Fe+FeS)共晶已处于熔融状态,从而导致热加工时开裂。如果钢液中含氧量高,还会形成共晶温度更低的(910℃)Fe+FeS+FeO 三相共晶,其危害更大,生产上将这种因晶界上低熔点共晶融化而造成钢材开裂称为热脆(裂)。

防止热脆的方法是向钢中加入适量的锰。由于锰与硫的化学亲和力大于铁与硫的化学亲和力,所以在含锰的钢中,硫与锰形成 MnS,避免了 FeS 的形成。MnS 的熔点为 1600℃,高于热加工温度,并在高温下具有一定的塑性,故不会产生热脆。一般工业用钢中含锰量常为含硫量的 5~10 倍。此外,现代冶金通过硅钙或稀土变质处理能进一步降低硫化物类夹杂的危害。

含硫量高时,还会使钢铸件在铸造应力作用下产生热脆。在焊接时产生的 SO₂ 气体使焊缝产生气孔和缩松。

硫能提高钢的切削加工性能。在易削钢中常含 $\omega(\text{S}) = 0.05\% \sim 0.2\%$,同时含 $\omega(\text{Mn}) = 0.5\% \sim 1.20\%$ 。

磷(P)是由矿石和生铁等炼钢原料带入的,也是在炼钢过程中不能除尽的元素,一般情况下磷是有害元素。无论在高温还是低温情况下,磷在铁中具有较大的溶解度,所以钢中的磷一般都固溶于铁中。磷具有很强的固溶强化作用,它使钢的强度、硬度显著提高,但剧烈地降低钢的韧性,特别是低温韧性,这种现象称为冷脆。此外磷还具有严重的偏析倾向,并且在 Fe 中的扩散速度很小,很难用热处理的方法消除。在一定条件下磷也具有一定的有益作用。例如,由于磷可以降低铁素体的韧性,可以用来提高钢的切削加工性。它与铜共存时,可以提高钢在大气中的抗腐蚀性能。



3. 氮(N)、氢(H)、氧(O)的影响

一般认为钢中的氮是有害元素,但是目前氮在部分钢中已作为合金元素应用。

氮的有害作用主要是通过淬火时效和应变时效造成的。氮在 α -Fe中的溶解度在591℃时最大,约为0.1%。随着温度的降低,溶解度急剧下降,在室温时小于0.001%。如果将含氮较高的钢从高温急速冷却时(淬火),将会得到氮在 α -Fe中的过饱和固溶体,此钢材在室温下长期放置或稍微加热时,氮就逐渐以氮化铁的形式析出,使钢的强度、硬度升高,塑性、韧性下降,钢材变脆,这种现象称为淬火时效。另外含有氮的低碳钢材经冷塑性变形后,性能也将随着时间而变化,即强度、硬度升高,塑性、韧性下降,这种现象称为应变时效。无论是淬火时效还是应变时效,对于低碳钢性能的影响都是十分有害的。解决方法是除了真空除气外,还可以往钢中加入足够数量的铝,铝能够与氮结合成AlN,可以阻碍加热时奥氏体晶粒的长大,从而细化晶粒。

氮还可以与钒、钛、铌等形成稳定的氮化物,起到细化晶粒和沉淀强化的作用。氮化物比碳化物稳定,加热时很难聚集长大,能够有效阻止焊接热影响区中晶粒长大,同时氮化物吸收奥氏体所固溶的合金元素而降低焊接热影响区的淬透性,使钢材具有大线能量焊接的适应性。

钢中的氢是由含水的炉料或含有水蒸气的炉气中吸入的。此外,在含氢的还原性气氛中加热钢材、酸洗及电镀等,都有可能吸入氢,并通过扩散进入钢材内部。氢对钢的危害是很大的:一是引起氢脆,即在低于钢材强度极限的应力作用下,经过一段时间后,在无任何预兆的情况下突然断裂,往往造成灾难性的后果。钢的强度越高,对氢脆的敏感性往往越大;二是导致钢材内部产生大量的微细裂纹缺陷——白点,在钢材纵断面上呈光滑的银白色的斑点,在酸洗后的纵断面上则呈现较多的发丝状裂纹。白点使钢材的延伸率显著下降,尤其是断面收缩率和冲击韧性降低显著,有时可接近于零。因此,有白点的钢是不能使用的。氢脆和白点的缺陷主要发生在合金钢中。

氧在钢中的溶解度非常小,几乎全部以氧化物夹杂物的形式存在于钢中,如FeO、Al₂O₃、MnO、CaO、MgO等。氧化物、硫化物以及磷化物统称为钢中的非金属夹杂物,这些非金属夹杂物破坏了钢基体的连续性,在静载荷和动载荷的作用下,往往成为裂纹的起点。非金属夹杂物的性质、大小、数量及其分布状态不同程度地影响着钢的各种性能,尤其是对钢的塑性、韧性、疲劳强度和抗腐蚀性能等危害很大。因此对非金属夹杂物应严格控制。

1.1.2 碳钢的分类

1. 按钢中碳含量的多少分类

1) 按Fe-Fe₃C相图分类

亚共析钢: $0.0218\% \leq \omega(C) < 0.77\%$ 。

共析钢: $\omega(C) = 0.77\%$ 。

过共析钢: $0.77\% < \omega(C) \leq 2.11\%$ 。

2) 按钢中碳含量的多少分类

碳钢通常可分为以下3类。

低碳钢: $\omega(C) \leq 0.25\%$ 。

中碳钢： $0.25\% < \omega(C) \leq 0.6\%$ 。

高碳钢： $\omega(C) > 0.6\%$ 。

2. 按钢的质量(品质)分类

(1) 普通碳素钢： $\omega(S) \leq 0.050\%$ ， $\omega(P) \leq 0.045\%$ 。

(2) 优质碳素钢： $\omega(S) \leq 0.035\%$ ， $\omega(P) \leq 0.035\%$ 。

(3) 高级优质碳素钢： $\omega(S) \leq 0.020\%$ ， $\omega(P) \leq 0.030\%$ 。

(4) 特级优质碳素钢： $\omega(S) \leq 0.015\%$ ， $\omega(P) \leq 0.025\%$ 。

3. 按钢的用途分类

(1) 碳素结构钢：主要用于各种工程构件，如桥梁、船舶、建筑构件等，也可用于不太重要的机器零件。

(2) 优质碳素结构钢：用于制造各种机器零件，如轴、齿轮、弹簧、连杆等。

(3) 碳素工具钢：主要用于制造各种工具，如刀具、模具、量具等。

(4) 一般工程用铸造碳素钢：主要用于制造形状复杂且需一定强度、塑性和韧性的零件。

4. 按钢冶炼时的脱氧程度分类

(1) 沸腾钢：是指脱氧不彻底的钢，代号为 F。

(2) 镇静钢：是指脱氧彻底的钢，代号为 Z。

(3) 半镇静钢：是指脱氧程度介于沸腾钢和镇静钢之间，代号为 b。

(4) 特殊镇静钢：是指进行特殊脱氧的钢，代号为 TZ。

1.1.3 碳钢的牌号及用途

1. 普通碳素结构钢

1) 用途

主要用于一般工程结构和普通零件，它通常轧制成钢板、钢带、钢管、盘条、型钢、棒钢或各种型材(圆钢、方钢、工字钢、钢筋等)，可供焊接、铆接、栓接等结构件使用。此类钢使用量很大，约占钢总产量的 70% 以上。

2) 普通碳素结构钢的牌号表示方法

牌号表示方法是由代表屈服点的字母(Q)、屈服点数值、质量等级符号(A、B、C、D)及脱氧方法符号(F、b、Z、TZ)4 个部分按顺序组成的。

标志符号 Q 来源于屈服点的汉语拼音字头 Q；屈服点数值分 195、215、235、255、275 共 5 个强度等级。

等级符号是指这类钢所独用的质量等级符号，也按 S、P 杂质多少来分，以 A、B、C、D 4 个符号代表 4 个等级，其中：A 级 $\omega(S) \leq 0.05\%$ ， $\omega(P) \leq 0.045\%$ ；B 级 $\omega(S) \leq 0.045\%$ ， $\omega(P) \leq 0.045\%$ ；C 级 $\omega(S) \leq 0.04\%$ ， $\omega(P) \leq 0.04\%$ ；D 级 $\omega(S) \leq 0.035\%$ ， $\omega(P) \leq 0.035\%$ 。其中质量等级最高的是 D 级，达到了碳素结构钢的优质级，A、B、C 3 个等级均属于普通级范围。

脱氧方法符号在镇静钢和特殊镇静钢的牌号中可省略。



3) 供货状态

热轧后空冷是这类钢通常的供货状态。用户一般不需要再进行热处理而是可以直接使用。 $\omega(\text{C})=0.06\%\sim 0.38\%$, 当质量等级为“A”、“B”时, 在保证力学性能的要求下, 化学成分可根据需方要求作适当调整。

4) 普通碳素结构钢典型牌号与用途

Q195、Q215 钢含碳量很低, 强度不高, 但具有良好的塑性、韧性和焊接性能, 常用作铁钉、铁丝、钢窗及各种薄板等强度要求不高的工件。Q235A、Q255A 用于农机具中的拉杆、小轴、链等, 也用于建筑钢筋、钢板、型钢等; Q235B、Q255B 用作建筑工程中质量要求较高的焊接结构件, 机械中一般的转动轴、吊钩、自行车架等; Q235C、Q235D 质量较好, 可用作一些重要的焊接结构件及机件。Q255、Q275 钢强度较高, 其中 Q275 属于中碳钢, 可用作制造摩擦离合器、刹车钢带等。

2. 优质碳素结构钢

1) 用途

用于较为重要的零件, 可以通过各种热处理调整零件的力学性能。

2) 优质碳素结构钢的牌号表示方法

一般用两位数字表示。这两位数字表示钢中平均碳质量分数的万倍。这类钢中硫、磷等有害杂质含量相对较低, 夹杂物也较少, 化学成分控制较严格, 质量比普通碳素结构钢好。

优质碳素结构钢中有 3 个钢号是沸腾钢, 它们是 08F、10F、15F。半镇静钢标“b”, 镇静钢一般不标符号。

高级优质碳素结构钢在牌号后加符号“A”, 特级碳素结构钢在牌号后加符号“E”。

专用优质碳素结构钢还要在牌号的头部(或尾部)加上代表产品用途的符号, 如平均碳含量为 0.2% 的锅炉用钢, 其牌号表示为“20g”等。

优质碳素结构钢按含锰量的不同, 分为普通含锰量和较高含锰量两类。含锰量较高的一组在其数字的尾部加“Mn”, 如 15Mn、45Mn 等。

注意: 这类钢仍属于优质碳素结构钢, 不要和低合金高强度结构钢混淆。

3) 供货状态

可以是热轧后空冷, 也可以是退火、正火等状态, 一般随用户需要而定。

4) 优质碳素结构钢典型牌号及应用

在 08F 钢中, 碳的质量分数低、塑性好, 强度较低, 可用于各种冷变形加工成型件。

10~25 钢的焊接和冷冲压性很好, 可用来制造标准件、轴套、容器等, 也可以经热处理制成表面硬度高、心部有较高的强度和韧性的耐磨损、耐冲击的零件, 如齿轮、凸轮、销轴、摩擦片、水泥钉等。

45 钢为中碳钢, 通过适当热处理可获得良好的综合力学性能, 可制造机件及要求表面耐磨、心部韧性好的零件, 如传动轴、发动机连杆、机床齿轮等。

高碳碳素结构钢经适当热处理后可获得高的 σ_s 和屈强比以及足够的韧性和耐磨性, 可制造小直径的弹簧、重钢轨、轧辊、铁锹、钢丝绳等。

3. 碳素工具钢

1) 用途

主要用于制作各种小型工具。可通过淬火、低温回火处理获得高的硬度和高耐磨性。

按 S、P 的含量可分为优质碳素工具钢(简称碳素工具钢, 其 $\omega(\text{S}) \leq 0.03\%$, $\omega(\text{P}) \leq 0.035\%$)和高级优质碳素工具钢($\omega(\text{S}) \leq 0.02\%$, $\omega(\text{P}) \leq 0.03\%$)两类。

2) 碳素工具钢的牌号及表示

牌号一般用标志性符号“T”(碳字的汉语拼音字头)加上碳的质量分数的千倍表示, 如 T10、T12 等。一般优质碳素工具钢不加质量等级符号, 而高级优质碳素工具钢则在其数字后面再加上“A”字, 如 T8A、T12A 等。

含锰碳素工具钢中锰的质量分数可扩大到 0.6%, 这时, 在牌号的尾部标以 Mn, 如 T8Mn、T8MnA。

3) 典型的碳素工具钢的应用

T7、T8 适合于制造承受一定冲击而要求韧性较高的刀具, 如木工用斧、钳工用凿子等, 淬火、低温回火后的硬度为 48~54HRC(工作部分)。T9、T10、T11 钢用于制造冲击较小而要求高硬度与耐磨的刀具, 如小钻头、丝锥、手锯条等, 淬火、低温回火后的硬度为 60~62HRC。T10A 钢还可用于制造一些形状简单、工作负荷不大的冷作模具、量具。T12、T13 钢硬度及耐磨性最高, 但韧性最差, 用于制造不承受冲击的刀具, 如锉刀、铲刮刀等, 淬火、低温回火后的硬度为 62~65HRC。T12A 也可用于制造量具。T7~T12、T7A~T12A 还可用于制造形状简单的塑料模具。

4. 一般工程用铸造碳素钢

1) 用途

主要用于使用铸铁保证不了其塑性, 且形状复杂, 不便于用锻压制成的毛坯零件。其碳含量一般小于 0.65%。

2) 铸造碳素钢的牌号表示方法

牌号用标志性符号“ZG”(铸钢这两个字的汉语拼音字头)加上最低屈服点值-最低抗拉强度值表示。如 ZG340-640 表示其屈服强度不小于 340MPa, 抗拉强度不低于 640MPa 的铸钢。

3) 典型的碳素铸钢(GB/T 5613—1995)

如 ZG200-400H, 200 和 400 分别表示屈服强度和抗拉强度最大值(MPa)。

4) 其他类型的铸钢件

(1) 焊接结构用碳素铸钢件(GB/T 7659—1987), 如 ZG230-450H。

(2) 低合金铸钢件(GB/T 14408—1993), 如 ZGD535-720。

(3) 耐热铸钢件(GB/T 8492—1987), 如 ZG40Cr30Ni20。

(4) 不锈钢耐酸钢铸件(GB 2100—1980), 如 ZG1Cr18Ni9Ti。

(5) 中、高强度不锈钢铸件(GB 6967—1986), 如 ZG10Cr13Ni1Mo 等。

1.2 钢中合金元素与铁和碳的相互作用

合金元素与铁、碳之间存在原子结构、原子尺寸及晶体结构的差异, 导致合金元素与铁、碳及合金元素之间的相互作用, 改变了钢中各相的稳定性, 并产生了许多新相, 从而改变了原有的组织或形成新的组织, 最终改变了钢铁材料的工艺过程、组织及