

The background of the cover features a blue gradient with dynamic light streaks and a large, bright welding arc on the right side, creating a sense of industrial activity and energy.

低合金钢焊接 及工程应用

李亚江 王娟 刘鹏 编著



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

低合金钢焊接及工程应用

李亚江 王 娟 刘 鹏 编著

化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

·北 京·

We

3

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

低合金钢焊接及工程应用/李亚江, 王娟, 刘鹏编著.
北京: 化学工业出版社, 2003. 8

ISBN 7-5025-4712-6

I. 低… II. ①李…②王…③刘… III. 低合金钢-
焊接 IV. TG457.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 072124 号

低合金钢焊接及工程应用

李亚江 王娟 刘鹏 编著

责任编辑: 任文斗

文字编辑: 韩庆利

责任校对: 陈静

封面设计: 潘峰

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

中国纺织出版社印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 24 $\frac{1}{4}$ 字数 603 千字

2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4712-6/TH·134

定 价: 50.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

科学技术的发展使焊接技术越来越受到各行各业的密切关注。随着焊接结构不断向高参数、大型化、重型化方向的发展,对焊接接头质量提出了越来越高的要求。低合金结构钢焊接在工程机械、船舶、桥梁、高层建筑、锅炉及压力容器、电力、各种车辆、航空航天、核能等领域的工程结构中得到广泛应用。

统计数据表明,在钢材、有色金属、水泥、陶瓷、木材和聚丙烯这几种结构材料中,就性能价格比而言,除了水泥与木材外,钢材是最便宜的。钢铁材料是一种在若干年内还难以被取代的工程结构材料,何况钢材本身还在不断地发展与改进。低合金钢是国民经济建设中应用最广泛的一种材料,涉及各个工业部门。近20年来,低合金钢作为一种工程结构材料发展极其迅速。目前,各国生产的各类低合金钢已占世界钢材总产量的40%以上,而且约70%以上的焊接结构采用低合金结构钢制造。在工业发达国家,低合金钢成为建造和生产舰船、工程机械、锅炉及压力容器、石油管线、运载车辆等的主要钢种。目前低合金钢在中国国民经济建设中发挥着极其重要的作用。

焊接性能的好坏是评价钢材使用性能的主要标志之一。低合金钢除了强度和综合性能优于普通碳素钢外,良好的焊接性是低合金钢得以大量推广应用的重要因素。钢材本身的性能、与之配套的焊接材料和相应的焊接工艺,是低合金钢工程应用的基本要素,三者密不可分,只有配套发展才能充分发挥其应用价值。本书针对焊接结构中用量最大的低合金结构钢,对其焊接性能特点、焊接材料和焊接工艺等进行简明阐述,突出了低合金结构钢在各种工程领域中(如工程机械、锅炉及压力容器、建筑、桥梁、石油化工等)的焊接特点及工程应用,力求突出新颖性、实用性和先进性等特色,给出了具体的焊接工艺参数、相关技术数据及针对一些典型工程结构产品的焊接应用实例,可以指导焊接生产。

本书较系统地论述了各类低合金钢的焊接特点,特别是对其在一些产业部门中的工程应用给出了成功的经验,以期促进中国低合金结构钢更广泛地应用。本书内容涉及生产一线的焊接工作者经常遇到的焊接问题,选用了一些新工艺和成功经验。书中的数据多选自最新的技术资料,反映了当前焊接技术的应用现状。本书供从事与焊接及材料加工工程技术相关的工程技术人员使用,也可供高等院校师生、科研和企事业单位的科研、管理和技术人员参考。

参加本书写作的人员还有陈茂爱、孙俊生、高进强、赵越、吴会强、张永兰、刘强、杨敏、沈孝芹、周冰、孟繁军、孙宾、刘健、郭国林、张燕、张元金、任江伟、王强、窦圣斌、黄海啸。

向关心本书出版的材料加工和焊接界同行以及援引文献的作者表示诚挚的谢意。由于作者水平所限,书中不足之处,敬请广大读者批评指正。

编著者

2003年6月

内 容 提 要

本书从实用性角度对低合金结构钢焊接性特点、焊接材料选用和焊接工艺要点等进行简明阐述；突出了低合金结构钢在各种工程领域中（如工程机械、锅炉及压力容器、船舶、电力、工程建设、桥梁、车辆、航空航天、核能等）的焊接特点及工程应用，力求突出新颖性、实用性和先进性等特色；给出了具体的焊接工艺参数、相关技术数据及针对一些典型工程结构产品的焊接应用实例，可以指导焊接生产；特别是针对低合金结构钢在一些产业部门中的焊接工程应用给出了成功的经验。并且，本书内容涉及生产一线的焊接工作者经常遇到的焊接技术问题，选用了一些新的焊接工艺。

本书供从事与焊接及材料加工工程技术相关的工程技术人员、技术工人使用，也可供高等院校师生、科研和企事业单位的科研、管理和技术人员参考。

书
合
4
BN
低
I
国

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 钢的分类及用途	1
1.1.1 钢的分类	1
1.1.2 低合金钢的用途及特性	2
1.2 钢中的合金元素及杂质	6
1.2.1 合金元素的分类	6
1.2.2 合金元素与 Fe、C 的相互作用	7
1.2.3 合金元素对钢相变的影响	9
1.2.4 钢中的杂质及含量控制	13
1.3 钢的强化与韧化	16
1.3.1 钢的强化	16
1.3.2 钢的韧化	19
第 2 章 低合金钢分类、性能及发展	23
2.1 低合金钢的分类	23
2.1.1 低合金高强钢	23
2.1.2 低合金特殊用钢	24
2.2 低合金钢的基本性能	24
2.2.1 化学成分	24
2.2.2 力学性能	26
2.2.3 显微组织	27
2.3 低合金钢的焊接性特点	34
2.3.1 焊接裂纹倾向	34
2.3.2 焊缝强韧性匹配	36
2.3.3 焊缝及热影响区组织性能	38
2.3.4 焊接热循环参数的计算	40
2.4 提高低合金钢性能的途径	43
2.4.1 发展低碳贝氏体型低合金钢	43
2.4.2 发展低碳索氏体型低合金钢	44
2.4.3 控制轧制钢的应用	44
2.4.4 发展针状铁素体型低合金钢	45
2.5 低合金高强钢的发展及应用	45
2.5.1 低合金高强钢的发展	45
2.5.2 低合金高强钢的应用	47
2.5.3 微合金钢的进展	49

第 3 章 普通低合金钢的焊接	52
3.1 普通低合金钢的分类及性能	52
3.1.1 普通低合金钢的分类	52
3.1.2 普通低合金钢的成分和性能	53
3.1.3 热轧及正火钢的力学性能	54
3.1.4 典型普通低合金钢的技术数据	55
3.2 普通低合金钢的焊接性特点	63
3.2.1 焊接中出现的主要问题	63
3.2.2 焊接缺陷及主要原因	64
3.2.3 热轧及正火钢焊接材料	66
3.3 热轧及正火钢焊接工艺	68
3.3.1 焊接工艺要点	68
3.3.2 焊接工艺参数	69
3.3.3 焊前预热及焊后热处理	72
3.3.4 热轧及正火钢焊接接头的力学性能	74
第 4 章 低碳调质钢的焊接	76
4.1 低碳调质钢的种类、成分及性能	76
4.1.1 高强度结构钢	76
4.1.2 高强度耐磨钢	79
4.1.3 高强度高韧性钢	80
4.2 低碳调质钢的焊接特点	81
4.2.1 一般焊接性特点	81
4.2.2 焊接方法	83
4.2.3 焊接材料的选用	84
4.3 低碳调质钢焊接工艺	87
4.3.1 HQ60 钢、HQ70 钢的焊接及应用	88
4.3.2 抗拉强度 800MPa 钢的焊接及应用	99
4.3.3 HQ100 钢的焊接及应用	106
4.3.4 高强度高韧性钢的焊接及应用	108
4.4 低碳调质钢焊接接头的力学性能	112
4.4.1 高强度结构钢焊接接头的性能	112
4.4.2 高强度耐磨钢焊接接头的性能	114
4.4.3 高强度高韧性钢焊接接头的性能	115
第 5 章 中碳调质钢的焊接	118
5.1 中碳调质钢的成分、性能及合金系统	118
5.1.1 中碳调质钢的成分及性能	118
5.1.2 中碳调质钢的合金系统	119
5.2 中碳调质钢的焊接性	120
5.2.1 淬硬性和焊接裂纹倾向	120
5.2.2 焊接热影响区的脆化和软化	121

5.3	中碳调质钢的焊接工艺	122
5.3.1	两种典型的焊接工艺方案	123
5.3.2	焊接工艺的一般程序	124
5.3.3	焊接工艺参数	126
第6章	珠光体耐热钢的焊接	127
6.1	珠光体耐热钢的种类及性能	127
6.1.1	耐热钢的成分及性能	127
6.1.2	耐热钢的强化途径	130
6.2	珠光体耐热钢的焊接性	131
6.2.1	焊接热影响区硬化及裂纹倾向	131
6.2.2	回火脆性	131
6.2.3	2.25Cr-1Mo钢的焊接特点	132
6.3	珠光体耐热钢焊接工艺	133
6.3.1	焊接工艺特点	133
6.3.2	焊接材料的选择	134
6.3.3	常用焊接工艺参数	137
6.4	典型珠光体耐热钢的焊接	138
6.4.1	12CrMo (0.5Cr-0.5Mo) 钢的焊接	138
6.4.2	12Cr1MoV 钢的焊接	139
6.4.3	2.25Cr-1Mo 钢的焊接	140
6.4.4	10CrMo910 钢的焊接	140
第7章	低温钢的焊接	143
7.1	低温钢的分类、成分及性能	143
7.1.1	低温钢的分类	143
7.1.2	低温钢的化学成分和组织	143
7.1.3	低温钢的力学性能	145
7.2	低温钢的焊接性	149
7.2.1	铁素体低温钢的焊接特点	149
7.2.2	低碳马氏体低温钢的焊接特点	149
7.2.3	奥氏体低温钢的焊接特点	150
7.3	低温钢的焊接工艺	150
7.3.1	低温钢的焊接工艺特点	150
7.3.2	低温钢的手工电弧焊	151
7.3.3	低温钢的埋弧焊	154
7.3.4	低温钢的氩弧焊	155
第8章	低合金耐蚀钢的焊接	160
8.1	低合金耐蚀钢的成分及性能	160
8.1.1	耐大气、耐海水腐蚀用钢	160
8.1.2	耐石油腐蚀用钢	163
8.2	低合金耐蚀钢的焊接特点	163

8.2.1	耐大气、耐海水腐蚀用钢的焊接特点	163
8.2.2	耐石油腐蚀用钢的焊接特点	165
8.3	低合金耐蚀钢焊接工艺	168
8.3.1	焊接材料的选用及工艺参数	168
8.3.2	典型低合金耐蚀钢的焊接	170
8.4	复层耐蚀钢的焊接	171
8.4.1	复合钢板的焊接	171
8.4.2	渗铝钢的焊接	171
第9章	异种低合金钢的焊接	175
9.1	异种低合金钢的分类及焊接特点	175
9.1.1	异种低合金钢的分类和组合	175
9.1.2	异种低合金钢的焊接性分析	176
9.2	异种珠光体钢的焊接	177
9.2.1	异种珠光体钢焊接材料的选用	177
9.2.2	异种珠光体钢的焊后热处理	179
9.2.3	异种珠光体钢焊接举例	179
9.3	异种高强度结构钢的焊接	183
9.3.1	异种低合金结构钢的焊接	183
9.3.2	异种低碳调质钢的焊接	184
9.4	珠光体钢与铁素体钢的焊接	190
9.4.1	高铬铁素体钢的分类	190
9.4.2	珠光体钢与铁素体钢的焊接材料	191
9.4.3	焊接工艺及焊后热处理	193
9.5	珠光体钢与奥氏体钢的焊接	194
9.5.1	焊接性特点	194
9.5.2	焊接方法和焊接材料	194
9.5.3	焊接工艺及焊后热处理	196
第10章	低合金钢的焊接性试验	198
10.1	焊接性及试验方法的分类	198
10.1.1	焊接性定义及影响因素	198
10.1.2	焊接性试验内容	198
10.1.3	焊接性试验方法分类	199
10.2	焊接性的间接试验法	200
10.2.1	碳当量及裂纹敏感性指数法	200
10.2.2	焊接热影响区最高硬度法	203
10.2.3	焊接热模拟试验法	204
10.3	焊接性的直接试验方法	205
10.3.1	焊接冷裂纹试验法	205
10.3.2	焊接热裂纹试验法	211
10.3.3	焊接再热裂纹试验法	213

10.3.4	层状撕裂试验法	214
10.4	焊接接头的性能试验	215
10.4.1	焊接接头力学性能试验法	215
10.4.2	焊接接头疲劳试验法	222
10.4.3	焊接接头脆性断裂试验法	222
10.4.4	焊接接头高温性能试验法	224
第 11 章	低合金高强钢的工程应用	225
11.1	工程机械	225
11.1.1	工程机械的焊接特点	225
11.1.2	桥式起重机的焊接	227
11.1.3	带式输送机的焊接	231
11.1.4	重型机械结构件的焊接	232
11.2	压力容器	238
11.2.1	压力容器分类、结构特点及用钢	238
11.2.2	压力容器接头形式及坡口形状	240
11.2.3	压力容器的焊接工艺特点	245
11.2.4	热壁加氢裂化反应器的焊接	252
11.2.5	液化天然气贮罐的焊接	257
11.2.6	球罐的焊接	261
11.3	桥梁建造	265
11.3.1	桥梁用钢的特点	265
11.3.2	桥梁钢结构的焊接特点	267
11.3.3	钢桥主梁的焊接	269
11.3.4	锚具箱的焊接	272
11.3.5	钢桥栓钉的焊接	272
11.4	船舶制造	273
11.4.1	船舶制造用钢的特点	273
11.4.2	船舶焊接的工艺特点	281
11.4.3	船体结构的焊接	284
11.4.4	典型平台结构的焊接	292
11.4.5	船载液化气贮罐的焊接	294
11.5	建筑工程	298
11.5.1	重型厂房钢结构的焊接	298
11.5.2	高层建筑钢结构的焊接	301
11.5.3	大型高炉和热风炉的焊接	307
11.6	车辆制造	311
11.6.1	车辆制造中的焊接特点	312
11.6.2	车辆转向架构架的焊接	314
11.6.3	车体钢结构的焊接	317
11.6.4	焊接机器人在汽车制造中的应用	318

第 12 章 低合金特殊用钢的工程应用	320
12.1 电站建设	320
12.1.1 电站用钢及焊接特点	320
12.1.2 电站锅炉筒体、集箱的焊接	324
12.1.3 电站锅炉管子、膜式水冷壁的焊接	330
12.1.4 汽轮机的焊接	340
12.1.5 电机的焊接	343
12.1.6 水力发电设备的焊接	346
12.2 石油管线	350
12.2.1 石油管线钢的特点	350
12.2.2 石油管线钢的焊接工艺	352
12.3 核能设备制造	361
12.3.1 核能设备制造用钢及焊接特点	361
12.3.2 核反应堆压力容器的焊接	364
12.3.3 核电站蒸汽发生器的焊接	369
12.3.4 核反应堆管道的焊接	372
12.4 航空工程	373
12.4.1 航空工程结构的焊接特点	373
12.4.2 飞机起落架的焊接	374
12.4.3 飞机机身钢结构件的焊接	375
参考文献	377

第 1 章 概 述

低合金钢在工程机械、船舶、桥梁、高层建筑、锅炉及压力容器、电力、各种车辆的制造中得到了广泛的应用。但是，随着现代焊接结构日益向大型化、高参数方向的发展，焊接工程结构的提前破坏、甚至灾难性事故的发生也随之增多。其根本原因是对低合金钢在各种工程结构中的焊接特点、焊接工艺、焊接接头裂纹形成及组织性能变化的规律性，缺乏全面的了解。

1.1 钢的分类及用途

1.1.1 钢的分类

钢是指以铁为主要元素、含碳量一般在 2.1% 以下，并含有一定数量其他元素的材料。工业用钢的种类很多，可以按化学成分、性能、品质、用途及内部组织等特点进行分类。采用较多的是按冶炼方法、品质和用途分类。

(1) 按冶炼方法分类

钢按冶金方法分为平炉钢、转炉钢、电炉钢、炉外精炼钢。平炉钢的主要品种为碳素钢、低合金钢和部分合金钢；转炉钢的主要品种为碳素钢、低合金钢和少量合金钢；电炉钢的主要品种为优质钢和合金钢；炉外精炼钢的主要品种为特殊质量碳素钢、低合金钢和合金钢。

(2) 按脱氧程度和浇注制度分类

钢按脱氧程度分为沸腾钢、镇静钢、半镇静钢。

(3) 按品质分类

钢按品质分为普通钢、优质钢、高级优质钢。普通钢含杂质元素较多，其中硫、磷含量分别 $\leq 0.055\%$ 和 $\leq 0.045\%$ ，主要用于建筑结构和要求不太高的机械零件。属于这类钢的有普通碳素钢、普通低合金钢等。

优质钢杂质元素含量较少，质量较好，其中硫、磷含量均应 $\leq 0.040\%$ ，主要用作机械结构零件和工具。属于这类钢的有优质碳素结构钢、合金结构钢、碳素工具钢等。高级优质钢含杂质元素极少，其中硫、磷含量均应 $\leq 0.030\%$ ，主要用作重要的机械零件和工具。属于这类钢的大多是合金结构钢和工具钢。这类钢的钢号后面常加符号“A”或汉字“高”标示。

(4) 按用途分类

钢按用途可分为结构钢、工具钢、特殊钢和专业用钢。结构钢是焊接结构中常用的钢种，广泛地用于建造厂房、船舶、锅炉、桥梁等，要求有好的焊接性，多在热轧或正火状态下使用。低合金高强度钢也是一种低碳结构用钢，合金元素含量较少，一般在 3% 以下，其强度显著高于相同碳量的碳素钢，具有较好的韧性、塑性以及良好的焊接性和耐蚀性，应用广泛。

(5) 其他分类

钢按制造加工形式可分为铸钢、锻钢、热轧钢、冷轧钢、冷拔钢；按金相组织可分为退

火组织、正火组织等；按化学成分可分为非合金钢、低合金钢和合金钢三类，这三类钢合金元素规定含量的界限值见表 1.1。当 Cr、Cu、Mo、Ni 四种元素，有两种及两种以上的元素同时存在于钢中时，所有这些元素的规定含量总和应不大于这些元素最高界限值总和的 70%。否则，即使每种元素的规定含量低于规定的最高界限值，也应划入合金钢。上述原则也适用于 Nb、Ti、V、Zr 四种元素。

表 1.1 非合金钢、低合金钢和合金钢中合金元素规定的界限值

合金元素	质量分数的界限值 /%			合金元素	质量分数的界限值 /%		
	非合金钢	低合金钢	合金钢		非合金钢	低合金钢	合金钢
Al	<0.10	—	≥0.10	Pb	<0.40	—	≥0.40
B	<0.0005	—	≥0.0005	Se	<0.10	—	≥0.10
Bi	<0.10	—	≥0.10	Si	<0.50	0.50~0.90	≥0.90
Cr	<0.30	0.03~0.50	≥0.50	Te	<0.10	—	≥0.10
Co	<0.10	—	≥0.10	Ti	<0.05	0.05~0.13	≥0.13
Cu	<0.10	0.10~0.50	≥0.50	W	<0.10	—	≥0.10
Mn	<1.00	1.00~1.40	≥1.40	V	<0.04	0.04~0.12	≥0.12
Mo	<0.05	0.05~0.10	≥0.10	Zr	<0.05	0.05~0.12	≥0.12
Ni	<0.03	0.03~0.50	≥0.50	La 系	<0.02	0.02~0.05	≥0.05
Nb	<0.02	0.02~0.06	≥0.06	其他	<0.05	—	≥0.05

注：La 系元素的质量分数，也可为混合稀土总质量分数。

1.1.2 低合金钢的用途及特性

低合金钢焊接结构的零部件通常需要经过加工成形—焊接—焊后热处理等工序，这就要求钢材具有良好的工艺性能。工艺性能包括金属的焊接性，切削性能，冷、热加工性能，热处理性能，可锻性，组织均匀稳定性及大截面的淬透性等。在考虑材料成本的同时还应考虑材料加工、焊接难易程度不同对制造费用的影响。

低合金高强钢近 30 年来受到世界各国的普遍关注，并仍将成为今后 20~30 年材料发展的基本方向。国外近几年在不同结构上使用低合金高强钢的比例见表 1.2。世界主要工业部门和中国对低合金高强钢的需求见表 1.3。

表 1.2 国外近几年在不同结构上使用低合金高强钢的比例/%

项 目	欧 洲	北 美	日 本
结构用型钢	30	20	10
船舶用型钢	15~30	20	10
钢板桩	20	15	100
钢筋	100	5	10
结构用钢板	25	20	10~30
建筑用薄板(不含钢筋)	95	80	70
海洋工程用钢板	90	30	70
海洋工程用型钢	70	20	10

表 1.3 世界主要工业部门和中国对低合金高强钢的需求

工业领域		全世界当前年需求量/10 ⁴ t	中国 2000 年需求量/10 ⁴ t
汽车工业 (面板、车轮、大梁)		2700	460
石油工业	油井管	750	140
	管线	1000	40
建筑结构 (厂房、高层建筑)		4200	80
电力工业	锅炉、容器	800、430	57
	高压管道	120	20
造船工业		800	20
车辆 (耐大气腐蚀)		1400	45
铁路重轨		1850	270
合计		26260	2687

当前, 低合金钢焊接结构已扩大应用于各个工业部门, 在各类焊接结构中采用的低合金钢材料已超出百余种。其中最常用的低合金钢种类见表 1.4。

表 1.4 常用的低合金钢焊接结构材料

材料种类		合金系统	强度等级 /MPa	焊接性
高强度钢	1. 普通低合金钢 (1) 热轧钢 (2) 正火钢	C-Mn, C-Mn-V C-Mn-Nb, C-Mn-Ti Mn-Mo-Nb Mn-Mo-V Mn-Ni-Mo	431~588 510~734	好 尚可
	2. 低碳调质钢	Mn-Mo-V-N, Mn-Mo-Nb Mn-Mo-Nb-B Ni-Cr-Mo-V Mn-Cr, Ni-Mo-V-B	590~1029	尚可
	3. 超高强钢 (1) 低合金超高强钢 (2) 中合金超高强钢 (3) 高合金超高强钢 沉淀硬化高强钢 马氏体时效钢	Cr-Mn-Si-Al Cr-Mn-Si-Ni Cr-Mo-V-Si Cr-Ni-Al Cr-Ni-Mo-Al Ni-Co-Mo-Ti-Al Cr-Ni-Mo-Ti-Al	657~1862 1750~2070 1400~2100	较差 差 尚可
特殊结构钢	1. 耐热钢 (1) 低合金耐热钢	Cr-Mo, Cr-Mo-V Cr-Mo-W-V	410~740	尚可
	(2) 中合金耐热钢	Cr-Mo, Cr-Mo-V Cr-Mo-W-V	414~833	差

续表

材料种类		合金系统	强度等级 /MPa	焊接性
特殊结构钢	2. 低温钢	C-Mn, Mn-V, Mn-Nb Al-Cu-Nb-N, Mn-Al C-Ni	392~794 392~588 304~706	尚可
	3. 低合金耐蚀钢	Cu-Cr, Mn-Cu-Cr Cu-P, Cu-P-Cr-Ni Mn-Cu-P-Ni	290~510	尚可

常用钢材的品种及规格见表 1.5。低合金结构钢的用途和特性见表 1.6。

表 1.5 常用钢材的品种及规格

类别	品种	产品及规格		类别	品种	产品及规格	
		名称	厚度/mm			名称	厚度/mm
普通钢板(包括普通钢和低合金钢)	热轧普通厚钢板 (厚度>4mm)	桥梁用钢板	4.5~50	优质钢板	热轧优质厚钢板 (厚度>4mm)	碳素结构钢板	0.5~60
		造船用钢板	1.0~120			合金结构钢板	0.5~30
		汽车大梁用钢板	2.5~12			碳素和合金工具 钢板	0.7~20
		锅炉钢板	6~120			高速工具钢板	1.0~10
		压力容器用钢板	6~120			弹簧钢板	0.7~20
	热轧普通薄钢板 (厚度≤4mm)	普通碳素钢板	0.3~200	热轧优质薄钢板 (厚度≤4mm)	滚动轴承钢板	1.0~8	
		低合金钢板	1.0~200		不锈钢板	0.4~25	
		花纹钢板	2.5~8.0		耐热钢板	4.5~35	
	冷轧普通薄钢板 (厚度≤4mm)	镀锌薄钢板	0.25~2.5	复合钢板	冷轧优质薄钢板 (厚度≤4mm)	不锈钢复合钢板	4~60
		镀锡薄钢板	0.1~0.5			塑料复合薄钢板	0.35~2.0
		镀铅薄钢板	0.9~1.2			犁铧用三层钢板	5~10
		彩色涂层钢板	0.3~2.0				

表 1.6 低合金结构钢的用途和特性

钢号	用途	特性
09MnV 09MnNb	车辆部门的冲压件、建筑金属构件、容器、拖拉机轮圈	强度级别为 294MPa, 在热轧或正火状态下使用。塑性良好, 韧性、冷弯性及焊接性也较好, 耐蚀性一般, 09MnNb 可用于-50℃低温
09Mn2	低压锅炉汽包、中低压化工容器、薄板冲压件、输油管道、贮油罐等	强度级别为 294MPa, 在热轧或正火状态下使用。焊接性优良, 韧性、塑性极高, 薄板冲压性能好, 低温性能亦可
12Mn	低压锅炉板以及用于金属结构、造船、容器、车辆和有低温要求的工程上	强度级别为 294MPa, 在热轧状态下使用。综合性能良好(塑性、焊接性、冷热加工性、低中温性能都较好), 成本较低
18Nb	起重机、鼓风机、原油油罐、化工容器、管道等方面, 亦可用于工业厂房的承重结构	强度级别为 294MPa, 在热轧状态下使用。为含铌半镇静钢, 钢材性能接近镇静钢, 成本低于镇静钢, 综合力学性能良好, 低温性能亦可

钢号	用途	特性
09MnCuPTi 10MnSiCu	潮湿多雨地区和有害腐蚀气氛工业区的车辆、桥梁、电站、矿井等方面的结构件	强度级别为 343MPa, 在热轧状态下使用。耐大气腐蚀, 塑性、韧性好, 焊接性好, 冷热加工性好, -50℃仍有一定低温韧性, 10MnSiCu 并能耐硫化氢腐蚀
12MnV	车辆及一般金属结构件、机械零件(此钢为一般结构用钢)	强度级别为 343MPa, 在热轧或正火状态下使用。强度、韧性高于 12Mn, 其他性能都和 12Mn 接近
12MnPRE	船舶、桥梁、建筑、起重机及其他要求耐大气或海水腐蚀的金属结构件	强度级别为 343MPa, 在热轧或正火状态下使用。抗大气和海水腐蚀能力良好, 塑性、焊接性、低温韧性都很好
16Mn	各种大型船舶、车辆、桥梁、管道、锅炉、压力容器、石油贮罐、起重及矿山机械、电站设备、厂房钢架等承受动载荷的焊接结构。-40℃以下寒冷地区的各种金属结构件, 可代替 15Mn 作渗碳零件	强度级别为 343MPa, 在热轧或正火状态下使用。综合力学性能、焊接性及低温韧性、冷冲压及切削性均好, 与 Q235 钢相比, 强度提高 50%, 耐大气腐蚀性能提高 20%~38%, 低温冲击韧性也比 Q235 钢优越, 但缺口敏感性较碳钢大, 价廉, 应用广泛
14MnNb	工作温度为 -20~450℃ 的容器及其他焊接件	强度级别为 343MPa, 在热轧或正火状态下使用。综合力学性能良好, 特别是塑性、焊接性能良好, 低温韧性相当于 16Mn
16MnRE	和 16Mn 相同(汽车大梁用钢)	性能同 16Mn, 但冲击韧性和冷变形性能较高
10MnPNbRE	耐海水及大气腐蚀用钢, 用作抗大气及海水腐蚀的港口码头设施、石油井架、车辆、船舶、桥梁等方面的金属结构件	强度级别为 392MPa, 在热轧状态下使用。综合力学性能、焊接性及耐腐蚀性良好, 耐海水腐蚀能力比 16Mn 高 60%, 低温韧性也优于 16Mn, 冷弯性能特别好, 强度高
15MnV	中高压锅炉汽包、高中压化工容器、大型船舶、桥梁、车辆、起重及其他较高载荷的焊接结构件, 可代替 12CrMo 用作锅炉钢管, 也可用作低碳马氏体淬火钢制作受力较大的连接构件	强度级别为 392MPa, 在热轧或正火状态下使用。与 16Mn 相比, 强度级别有所提高, 520℃时有一定的热强性, 焊接性良好, 但缺口及时效敏感性比 16Mn 大, 冷加工变形性能也较差, 综合性能以薄板最好, 推荐使用温度范围为 -20~520℃, 低温冲击载荷较大场合使用时最好经正火处理
15MnTi	可代替 15MnV 钢制作承受动负荷的焊接结构件, 如汽轮机发电机弹簧板、水轮机蜗壳、压力容器及船舶、桥梁等	强度级别为 392MPa, 在正火状态下使用。性能与 15MnV 基本相同, 但在正火状态下的焊接性、冷卷及冷冲压加工性能均优于 15MnV, 且易进行切削加工, 热轧状态时厚度 >8mm 的钢板, 其塑性、韧性均较差
16MnNb	大型焊接结构, 如容器、管道及重型机械设备	强度级别为 392MPa, 在热轧或正火状态下使用。性能和 16Mn 相同, 但因加入少量铌, 故比 16Mn 有更高的综合力学性能
14MnVTiRe	大型船舶、桥梁、高压容器、重型机械设备及其他焊接结构件	强度级别为 441MPa, 在热轧或正火状态下使用。综合力学性能、焊接性能良好, 特别是低温韧性良好

钢号	用途	特性
15MnVN	大型船舶、桥梁、电站设备、起重机械、机车车辆、中或高压锅炉及压力容器,以及其他大型焊接结构件(小截面钢材在热轧状态下使用,板厚或壁厚大于17mm的钢材经正火后使用)	强度级别为441MPa,在热轧或正火状态下使用。力学性能比15MnV高,但热轧状态时的厚钢材(大于20mm)塑性、韧性较低,正火后则有所改善,热轧状态焊接脆化倾向比较严重。冷热加工性能较好,但冷作时对缺口敏感性较大

1.2 钢中的合金元素及杂质

在钢中加入适当化学元素改变基体性能的方法称为合金化,为了合金化的目的而特定在钢中加入含量在一定范围的化学元素称为合金元素。一般地,当钢中的合金元素总含量小于或等于5%时,称为低合金钢,合金元素总含量在5%~10%范围时称为中合金钢,合金元素总含量超过10%时称为高合金钢。

钢中常用的合金元素有Si、Mn、Cr、Ni、Mo、W、V、Ti、Nb、Zr、Al、Co、Cu、B、RE等。P、S、N在某些情况下也可以起合金元素的作用。不同的国家所使用的合金元素与各国的资源条件有很大关系。美国的结构钢中多含Ni元素,前苏联多含Cr元素,德国多含Cr、Mn元素,日本则多含Cr、Mn、Mo等元素。中国是矿物资源非常丰富的国家,富产Mn、Si、Mo、W、V、B、RE等元素。钢中合金元素的含量各不相同,有的高达百分之几十,如Ni、Cr、Mn等;有的低至万分之几,如微量元素B等。

1.2.1 合金元素的分类

合金元素的分类取决于合金元素本身的特性。合金元素的特性首先表现在与钢中的两个主要元素(Fe和C)的相互作用上,其次还表现在对奥氏体层错能的影响上。因此一般将钢中的合金元素按下述方法分类。

(1) 按照合金元素与Fe相互作用的特点分类

- a. 奥氏体形成元素,如C、N、Cu、Mn、Ni、Co等;
- b. 铁素体形成元素,如Cr、V、Si、Al、Ti、Mo、W等。

一般情况下,奥氏体形成元素易于优先分布在奥氏体中,铁素体形成元素易于优先分布在铁素体中。实际上,钢中合金元素的分布状态与加入量和热处理条件有关。

(2) 按照合金元素与C相互作用的特点分类

- a. 非碳化物形成元素,如Ni、Cu、Si、Al、P等;
- b. 碳化物形成元素,如Cr、Mo、V、Ti、Zr、Nb等。

虽然非碳化物形成元素易于溶入铁素体或奥氏体中,而碳化物形成元素易于存在于碳化物中。但当加入数量较少时,碳化物形成元素也可溶入固溶体或渗碳体中,当加入数量较多时,可形成特殊碳化物。

(3) 按照合金元素对奥氏体层错能的影响分类

- a. 提高奥氏体层错能的元素,如Ni、Cu、C等;
- b. 降低奥氏体层错能的元素,如Mn、Cr、Ru、Ir等。

几乎所有的合金元素(除Pb等个别元素外)都可与Fe形成 α 或 γ 固溶体。合金元素在 α -Fe或 γ -Fe中的最大溶解度见表1.7。