

焊接技术手册

杨海明 主编

 江苏科学技术出版社

焊接技术手册

杨海明 主编

辽宁科学技术出版社

· 沈 阳 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

焊接技术手册 / 杨海明主编. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2015.2

ISBN 978-7-5381-9094-6

I. ①焊… II. ①杨… III. ①焊接—技术手册 IV.
①TG4-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 025279 号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路29号 邮编: 110003)

印刷者: 沈阳百江印刷有限公司

经销者: 各地新华书店

开本: 850mm × 1168mm 1/32

印张: 23.75

字数: 700千字

出版时间: 2015年2月第1版

印刷时间: 2015年2月第1次印刷

责任编辑: 高鹏

版式设计: 于浪

责任校对: 李淑敏 栗勇 周文

书号: ISBN 978-7-5381-9094-6

定价: 100.00元

联系电话: 024-23284373

邮购热线: 024-23284502

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

本社法律顾问: 陈光律师

咨询电话: 13940289230

总目录

第一篇/001……255

碳素钢与低合金钢的焊接

杨海明 主 编

徐 鸿 副主编

第二篇/001……245

不锈钢与特殊用途钢的焊接

杨海明 主 编

杭明峰 副主编

第三篇/001……231

有色金属的焊接

杨海明 主 编

季炼平 副主编

第一篇

碳素钢与低合金钢 的焊接

杨海明 主 编

徐 鸿 副主编

目 录

第1章 碳素钢与低合金钢的焊接性	001
1.1 碳素钢材料	001
1.2 碳素钢的焊接性	012
1.3 低合金钢材料	023
1.4 低合金钢的焊接性	024
第2章 碳素钢与低合金钢的焊接材料	029
2.1 碳素钢与低合金钢焊条	029
2.2 碳素钢与低合金钢气体保护焊材料	038
2.3 碳素钢与低合金钢埋弧焊材料	047
2.4 碳素钢与低合金钢焊接材料选用原则	055
第3章 碳素钢与低合金钢焊接工艺	061
3.1 碳素钢与低合金钢的焊条电弧焊焊接工艺	061
3.2 碳素钢与低合金钢的二氧化碳焊工艺	073
3.3 碳素钢与低合金钢的钨极氩弧焊工艺	082
3.4 碳素钢与低合金钢的埋弧自动焊工艺	084
3.5 碳素钢与低合金钢的气焊工艺	093
3.6 碳素钢与低合金钢的电渣焊工艺	099
第4章 碳素钢与低合金钢焊接操作	104
4.1 碳素钢与低合金钢的焊条电弧焊操作	104
4.2 碳素钢与低合金钢的二氧化碳焊操作	121
4.3 碳素钢与低合金钢的钨极氩弧焊操作	133

4.4	碳素钢与低合金钢的埋弧自动焊操作	146
4.5	碳素钢与低合金钢的气焊操作	158
4.6	碳素钢与低合金钢的电渣焊操作	161
第5章	典型碳素钢与低合金钢结构焊接实例	168
5.1	梁、柱及机架类结构的焊接实例	168
5.2	管道和容器焊接实例	181
5.3	机器类结构的焊接实例	198
5.4	车辆和工程机械的焊接实例	207
第6章	碳素钢与低合金钢焊接质量控制	214
6.1	碳素钢与低合金钢焊接缺陷控制	214
6.2	碳素钢与低合金钢结构变形控制	221
参考文献		254

第1章

碳素钢与低合金钢的焊接性

1.1 碳素钢材料

1.1.1 概述

碳钢是以铁为基本成分,含有少量碳($w(\text{C}) \leq 1.3\%$)的铁碳合金。因此碳钢又称碳素钢。实际上,碳钢除碳作为合金元素外,还含有少量的Mn和Si元素, $w(\text{Mn})$ 通常小于1%,个别碳钢上限达到1.2%; $w(\text{Si})$ 均小于0.5%。碳钢广泛地应用于船舶、车辆、桥梁、电站、锅炉、压力容器、工业和民用建筑、家电、机械等行业,是钢材中用量大、应用范围广的一类钢材,也是目前焊接加工量大、覆盖面最广的钢种。

碳钢因分类角度不同而有多种名称。

(1) 按含碳量分。

①低碳钢 $w(\text{C}) \leq 0.30\%$ (有的国家把 $w(\text{C}) \leq 0.15\%$ 的称为低碳钢, $w(\text{C}) = 0.15\% \sim 0.30\%$ 的称为软钢。

②中碳钢 $w(\text{C}) = 0.30\% \sim 0.60\%$ 。

③高碳钢 $w(\text{C}) > 0.60\%$ 。

(2) 按冶炼方法分。

①转炉钢,又分为氧气转炉钢和碱性空气转炉钢。

②电炉钢。

(3) 按钢材的脱氧程度不同分。

①沸腾钢。

②半镇静钢。

③镇静钢。

(4) 按用途分。

①结构钢。用来制造各种金属构件和机器零件。

②工具钢。用来制造各种工具（量具、刀具、模具）。

③其他。人们还习惯按使用行业和领域来分，如焊接气瓶钢、锅炉用钢、压力容器用钢。

(5) 按牌号分。

按照 GB/T 221—2000 《钢铁产品牌号表示方法》，碳素结构钢分为通用钢和专用钢。

1.1.2 碳素结构钢

我国现行的《碳素结构钢》国家标准为 GB/T 700—2006。据此，碳素结构钢的牌号由代表屈服强度的字母、屈服强度数值、质量等级符号、脱氧方法符号等4个部分按顺序组成。例如：Q235AF。其中，“Q”为钢材屈服强度“屈”字汉语拼音首位字母；数字代表名义屈服点，单位为 MPa；A 为质量等级；“F”为沸腾钢“沸”字汉语拼音首位字母；“Z”为镇静钢“镇”字汉语拼音首位字母；“TZ”为特殊镇静钢“特镇”两字汉语拼音首位字母。在牌号组成表示法中，“Z”与“TZ”符号可以省略。

碳素结构钢的牌号、化学成分、质量等级见表 1-1，力学性能见表 1-2 和表 1-3。

表 1-1 碳素结构钢的牌号、化学成分、质量等级 (GB/T 700—2006)

牌号	统一数字代号	等级	厚度 (或直径) (mm)	脱氧方法	化学成分 (质量分数, %) 不大于				
					C	Si	Mn	P	S
Q195	U11952	—	—	F、Z	0.12	0.30	0.50	0.035	0.040
Q215	U12152	A	—	F、Z	0.15	0.35	1.20	0.045	0.050
	U12155	B		F、Z					0.045

续表

牌号	统一数字代号	等级	厚度 (或直径) (mm)	脱氧方法	化学成分（质量分数，%）不大于				
					C	Si	Mn	P	S
Q235	U12352	A	—	F、Z	0.22	0.35	1.40	0.045	0.050
	U12355	B		F、Z	0.20				0.045
	U12358	C		Z	0.17			0.040	0.040
	U12359	D		TZ				0.035	0.035
Q275	U12752	A	—	F、Z	0.24	0.35	1.50	0.045	0.050
	U12755	B	≤40	Z	0.21			0.045	0.045
			>40		0.22				
	U12758	C	—	Z	0.20			0.040	0.040
	U12759	D		TZ				0.035	0.035

注：1. 钢中的残余元素Cr、Ni、Mn、Cu的质量分数应不大于0.30%。氮的质量分数应不大于0.008%。

2. 当氮的质量分数大于0.008%时，氮含量每增加0.001%，磷的最大质量分数应减少0.005%，熔炼分析氮的最大质量分数应不大于0.012%；如果钢中酸溶铝的质量分数不小于0.015%或总铝的质量分数不小于0.020%，氮含量的上限值可不受限制。固定氮的元素应在质量证明书中注明。

3. 经需方同意，A级钢铜的质量分数可不大于0.35%。此时，供方应做铜含量分析，并在质量证明书中注明其含量。

4. 钢中砷的质量分数应不大于0.080%。用含砷矿冶炼生铁所冶炼的钢，砷含量由供需双方协议规定。如原料中不含砷，可不做砷的分析。

5. 表中为镇静钢、特殊镇静钢牌号的统一数字，沸腾钢牌号的统一数字代号为：Q195F-U11950、Q215AF-U12150、Q215BF-U12135、Q235AF-U12350、Q235BF-U12353、Q275AF-U12750。

6. 经需方同意，Q235B的碳的质量分数可不大于0.22%。

7. D级钢应有足够细化晶粒的元素，并在质量证明书中注明细化晶粒元素的含量。当采用铝脱氧时，钢中酸溶铝的质量分数应不小于0.015%，或总铝的质量分数应不小于0.020%。

表 1-2 通用碳素结构钢的拉伸和冲击性能 (GB/T 700—2006)

牌号	等级	屈服强度/MPa, 不小于					抗拉强度/MPa	伸长率 (%), 不小于				冲击试验 (V形缺口)	
		厚度 (或直径) (mm)						厚度 (或直径) (mm)				温度 (℃)	冲击吸收功 (纵向) (J) 不小于
		≤ 16	>16 ~ 40	>40 ~ 60	>60 ~ 100	> 100 ~ 150		≤ 40	>40 ~ 60	>60 ~ 100	>100 ~ 150		
Q195	—	195	185	—	—	—	315 ~ 430	33	—	—	—	—	—
Q215	A	215	205	195	185	175	335 ~ 450	31	30	29	27	—	—
	B											+20	27
Q235	A	235	225	215	215	195	370 ~ 500	26	25	24	22	—	—
	B											+20	27
	C											0	
	D											-20	
Q275	A	275	265	255	245	225	410 ~ 540	22	21	20	18	—	—
	B											+20	27
	C											0	
	D											-20	

表 1-3 通用碳素结构钢的弯曲性能要求 (GB/T 700—2006)

牌号	试样方向	冷弯试验 $B=2a$, 180°	
		钢材厚度 (直径) (mm)	
		≤ 60	60 ~ 100
		弯心直径	
Q195	纵	0	—
	横	$0.5a$	
Q215	纵	$0.5a$	$1.5a$
	横	a	$2a$

续表

牌号	试样方向	冷弯试验 $B=2a, 180^\circ$	
		钢材厚度 (直径) (mm)	
		≤ 60	60 ~ 100
		弯心直径	
Q235	纵	a	2a
	横	1.5a	2.5a
Q275	纵	1.5a	2.5a
	横	2a	3a

1.1.3 优质碳素结构钢

按照 GB/T 699—1999 《优质碳素结构钢》的规定，钢材等级可根据冶金质量等级和使用加工方法分类。

按冶金质量等级分类分为三类。

- ① 优质钢。
- ② 高级优质钢 (A)。
- ③ 特级优质钢 (E)。

括号中字母为其代号，其对应的磷、硫含量和低倍组织要求见表 1-4。

表 1-4 优质碳素结构钢的质量等级、磷硫含量和酸浸低倍组织要求

质量等级	杂质		疏松和偏析		
	w (P)	w (S)	一般疏松	中心疏松	锭型疏松
	不大于 (%)		级别, 不大于 (%)		
优质钢	0.035	0.035	3.0	3.0	3.0
高级优质钢	0.030	0.030	2.5	2.5	2.5
特级优质钢	0.025	0.020	2.0	2.0	2.0

钢材按使用加工方法分为两类，括号中字母为其代号。

- (1) 压力加工用钢 (UP)。

①热压力加工用钢 (UHP)。

②顶锻用钢 (UF)。

③冷拔坯料用钢 (UCD)。

(2) 切削加工用钢。

按照 GB/T 221—2000《钢铁产品牌号表示方法》，优质碳素结构钢牌号表示方法为：采用两位阿拉伯数字或阿拉伯数字+化学元素符号+表示产品名称、用途、特性和工艺方法的符号组合而成牌号。两位阿拉伯数字表示平均碳含量（以万分之几计）。

(1) 对优质碳素结构钢的沸腾钢和半镇静钢，在牌号尾部分别加符号“F”和“B”。例如，平均含碳量为0.08%的沸腾钢，其牌号表示为“08F”；平均含碳量为0.10%的半沸腾钢，其牌号表示为“10B”。镇静钢一般不标符号。例如，平均 $w(C)$ 为0.45%的镇静钢，其牌号表示为“45”。

(2) 较高含锰量的优质碳素结构钢，在表示平均含碳量的阿拉伯数字后加锰元素符号。例如，平均 $w(C)$ 为0.50%， $w(Mn)$ 为0.70%~1.00%的钢，其牌号表示为“50Mn”。

(3) 高级优质碳素结构钢，在牌号后面加符号“A”；特级优质碳素结构钢，在牌号后面加符号“E”。例如，平均 $w(C)$ 为0.20%的高级优质碳素结构钢，其牌号表示为“20A”；平均 $w(C)$ 为0.45%的特级优质碳素结构钢，其牌号表示为“45E”。

(4) 专用优质碳素结构钢，采用阿拉伯数字（平均碳含量）和代表产品用途的符号表示。如平均 $w(C)$ 为0.20%的锅炉用钢，其牌号表示为“20g”。

优质碳素结构钢的牌号、统一数字代号及化学成分见表1-5。

表 1-5 优质碳素结构钢的牌号、统一数字代号及化学成分 (GB/T 699—1999)

统一 数字 代号	牌号	化学成分 (质量分数) (%)					
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu
					不大于		
U20080	08F	0.05 ~ 0.11	≤0.03	0.250.50	0.10	0.30	0.25
U20100	10F	0.07 ~ 0.13	≤0.07	0.250.50	0.15	0.30	0.25
U20150	15F	0.12 ~ 0.18	≤0.07	0.25 ~ 0.50	0.25	0.30	0.25
U20082	08	0.05 ~ 0.11	0.17 ~ 0.37	0.35 ~ 0.65	0.10	0.30	0.25
U20120	10	0.07 ~ 0.13	0.17 ~ 0.37	0.35 ~ 0.65	0.15	0.30	0.25
U20152	15	0.12 ~ 0.18	0.17 ~ 0.37	0.35 ~ 0.65	0.25	0.30	0.25
U20202	20	0.17 ~ 0.23	0.17 ~ 0.37	0.35 ~ 0.65	0.25	0.30	0.25
U20252	25	0.22 ~ 0.29	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.25	0.30	0.25
U20302	30	0.27 ~ 0.34	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.25	0.30	0.25
U20352	35	0.32 ~ 0.39	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.25	0.30	0.25
U20402	40	0.37 ~ 0.44	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.25	0.30	0.25
U20452	45	0.42 ~ 0.50	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.25	0.30	0.25
U20502	50	0.47 ~ 0.55	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.25	0.30	0.25
U20552	55	0.52 ~ 0.60	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.25	0.30	0.25
U20602	60	0.57 ~ 0.65	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.25	0.30	0.25
U20652	65	0.62 ~ 0.70	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.25	0.30	0.25
U20702	70	0.67 ~ 0.75	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.25	0.30	0.25
U20752	75	0.72 ~ 0.80	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.25	0.30	0.25
U20802	80	0.77 ~ 0.85	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.25	0.30	0.25
U20852	85	0.82 ~ 0.90	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.25	0.30	0.25
U21152	15Mn	0.12 ~ 0.18	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	0.25	0.30	0.25
U21202	20Mn	0.17 ~ 0.23	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	0.25	0.30	0.25
U21252	25Mn	0.22 ~ 0.29	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	0.25	0.30	0.25
U21302	30Mn	0.27 ~ 0.34	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	0.25	0.30	0.25

续表

统一 数字 代号	牌号	化学成分（质量分数）（%）					
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu
					不大于		
U21352	35Mn	0.32 ~ 0.39	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	0.25	0.30	0.25
U21402	40Mn	0.37 ~ 0.44	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	0.25	0.30	0.25
U21452	45Mn	0.42 ~ 0.50	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	0.25	0.30	0.25
U21502	50Mn	0.48 ~ 0.56	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	0.25	0.30	0.25
U21602	60Mn	0.57 ~ 0.65	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00	0.25	0.30	0.25
U21652	65Mn	0.62 ~ 0.70	0.17 ~ 0.37	0.90 ~ 1.20	0.25	0.30	0.25
U21702	70Mn	0.67 ~ 0.75	0.17 ~ 0.37	0.90 ~ 1.20	0.25	0.30	0.25

1.1.4 专用碳素结构钢

专用优质碳素结构钢采用阿拉伯数字（平均碳含量）和代表产品用途的符号表示。钢材按产品名称和用途等分类常用的表示符号见表 1-6。例如，平均 $w(C)$ 为 0.20% 的锅炉用钢，其牌号表示为“20g”。焊接用碳素钢牌号的表示方法在其牌号前加符号“H”，如“H08”；高级优质焊接用碳素钢，在牌号的尾部加符号“A”，如“H08A”。

表 1-6 钢材按产品名称、用途等分类的表示符号（GB/T 221—2000）

用途	采用汉字及汉语拼音		采用符号	字体	位置
	汉字	汉语拼音			
碳素结构钢	屈	QU	Q	大写	牌号头
低合金高强度钢	屈	QU	Q	大写	牌号头
耐候钢	耐候	NAI HOU	NH	大写	牌号尾
焊接用钢	焊	HAN	H	大写	牌号头
焊接气瓶用钢	焊瓶	HAN PING	HP	大写	牌号尾
锅炉用钢	锅	GUO	g	小写	牌号尾

续表

用途	采用汉字及汉语拼音		采用符号	字体	位置
	汉字	汉语拼音			
压力容器用钢	容	RONG	R	大写	牌号尾
桥梁用钢	桥	QIAO	q	小写	牌号尾
汽车大梁用钢	梁	LIANG	L	大写	牌号尾
管线用钢	—	—	S	大写	牌号头
钢轨钢	轨	GUI	U	大写	牌号头
船用钢	—	—	采用国际符号	—	—
碳素工具钢	碳	TAN	T	大写	牌号头
塑料模具钢	塑膜	SU MO	SM	大写	牌号头

与焊接密切相关的专用碳素结构钢主要有：船用碳素结构钢、焊接气瓶用碳素结构钢、锅炉和压力容器用碳素钢、桥梁用碳素结构钢、建筑结构用碳素钢、石油天然气工业输送钢管用碳素钢、钢轨用碳素钢、汽车制造用优质碳素结构钢和汽车大梁用碳素钢等。这些专用碳素结构钢大都形成了新的国家或行业标准，下面分别介绍。

(1) 船体用碳素结构钢。

根据中国船级社《材料与焊接规范》2006版规定，一般强度船体结构用碳素结构钢脱氧方式和化学成分见表1-7。

船体用碳素结构钢见GB 712—2000。船舶用碳钢和碳锰钢无缝钢管见GB/T 5312—1999。

表1-7 一般强度船体结构用碳素结构钢脱氧方式和化学成分

钢材等级	A	B	D	E
脱氧方法 厚度 t (mm)	$t \leq 50$, 除 沸腾钢外 任何方法 $t > 50$, 镇 静处理	$t \leq 50$, 除 沸腾钢外 任何方法 $t > 50$, 镇 静处理	$t \leq 25$, 镇 静处理 $t > 25$, 镇 静和细晶 处理	镇静和细 晶处理