

现代高技能人才最新实用技术手册丛书

丛书主编 黄存友 彭瑜

职校生学习教材

技校生实习工具

高技能人才上岗随身口袋书

焊工手册

HANGONG SHOUCHE

龚荣伟 丁梦野 主编



湖北长江出版集团
湖北科学技术出版社

前 言

焊接作为一种重要的金属加工工艺,在现代工业中占有十分重要的地位,广泛应用于国民经济的各个行业。随着科学技术的发展,越来越多的新材料、新工艺、新设备和新方法应用在焊接生产中,同时,我国加入世贸后,经济处于高速发展的时期,企业对技能型人才的要求越来越迫切,这将极大地激发广大技能型人才学习技术、提高技术的热情,以满足这部分领域的就业需求。由此这本《现代高技能人才最新实用技术手册丛书——焊工手册》应运而生。

这本手册按以下几条要求编写:一是全面贯彻了有关焊工的最新国家标准,为了保证与旧习惯的衔接,部分焊接材料的牌号,型号采取了新旧对照的形式;二是涵盖的内容以《焊工国家职业标准》界定的初、中、高级焊工的活动内容为主,且内容新,覆盖全,数据准。三是较多地引入了新材料、新设备的内容。

本书适合于从事焊接工作的技术工人和技术人员使用,也可供职业学校老师和学生查询资料和继续学习使用。

本书由龚荣伟高级讲师和丁梦野讲师主编。在编写过程中得到了郑承胜、王碧聪高级讲师的大力支持。陈忠兵高级工程师对本书进行了审定并提出了许多宝贵的意见。在这里表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2006年4月

目 录

第一章 焊接基础知识	1
一、焊接常用金属材料知识	1
1. 常用金属材料的主要物理性能指标	1
2. 碳素钢的分类、牌号、成分、性能	1
3. 合金钢的分类、牌号、成分、性能	12
4. 铸铁的分类、牌号、性能和用途	41
5. 有色金属的分类、牌号、成分、性能和用途 ...	50
二、焊缝符号及装配图	64
1. 焊缝符号和焊接方法代号	64
2. 焊接装配图	72
三、焊接接头和焊接坡口	72
1. 焊接接头的种类	72
2. 焊接坡口	73
第二章 焊条	84
一、焊条的分类、性能及用途	84
1. 焊条型号的分类及编制方法	84
2. 焊条牌号的分类及表示方法	98
3. 焊条型号与牌号的对照	102
4. 结构钢焊条的主要性能及用途	107
5. 钼及铬钼耐热钢焊条的主要性能及用途 ...	112
6. 低温钢焊条的性能及用途	118
7. 不锈钢焊条的主要性能和用途	120
8. 堆焊焊条的主要性能及用途	136
9. 铸铁焊条的性能及用途	154
10. 铜及铜合金焊条的性能及用途	158
11. 铝及铝合金焊条的主要性能及用途	160
12. 特殊用途焊条的主要性能及用途	162

二、焊条的选用	163
1. 焊条选用的基本原则	164
2. 焊接碳钢的焊条选用	166
3. 焊接低合金高强钢的焊条选用	171
4. 焊接低合金耐腐蚀钢的焊条选用	182
5. 焊接低温用钢焊条的选用	186
6. 焊接耐热钢的焊条选用	187
7. 焊接不锈钢的焊条选用	200
8. 堆焊焊条的选用	201
9. 焊接铸铁时焊条的选用	212
10. 焊接铜及铜合金时的焊条选用	228
11. 焊接铝及铝合金时的焊条选用	232
12. 焊接异种钢时焊条的选用	232
13. 特殊用途及特殊性能钢焊接时焊条的 选用	254
第三章 焊丝与焊剂	259
一、焊丝	259
1. 焊丝的分类	259
2. 实芯焊丝的型号、牌号及成分	259
3. 药芯焊丝的型号、牌号及性能	277
二、焊剂	296
1. 焊剂的分类	296
2. 焊剂的型号	297
3. 焊剂的牌号	301
4. 常见焊剂的组成成分及用途	303
三、埋弧焊焊剂与焊丝的选用	308
1. 焊剂与焊丝的选配原则	308
2. 低碳钢埋弧焊焊剂与焊丝的选用	310
3. 低合金高强钢埋弧焊焊剂与焊丝的选用 ...	313
4. 低温钢、耐候钢埋弧焊焊剂与焊丝的选用 ...	318
5. 耐热钢埋弧焊焊剂与焊丝的选用	319

6. 不锈钢埋弧焊焊剂与焊丝的选用	319
7. 铜及铜合金埋弧焊焊剂及焊丝的选用	323
四、电渣焊时焊剂与焊丝的选用	323
五、气体保护焊焊接材料的选用	325
1. 碳钢和低合金结构钢气体保护焊焊接 材料的选用	325
2. 耐热钢气体保护焊焊接材料的选用	325
3. 不锈钢气体保护焊焊接材料的选用	325
4. 铜及铜合金气体保护焊焊接材料的选用 ...	334
5. 铝及铝合金气体保护焊焊丝的选用	335
6. 异种金属气体保护焊焊接材料的选用	345
第四章 焊接用气体	358
一、焊接用气体的基本性质及技术要求	358
1. 氩气(Ar)	358
2. 氦气(He)	359
3. 二氧化碳(CO ₂)	359
4. 氧气(O ₂)	361
5. 可燃气体(C ₂ H ₂ 、C ₃ H ₈ 、C ₃ H ₆ 、CH ₄ 、H ₄)	361
6. 氮气(N ₂)	364
二、焊接用气体的选用	365
第五章 焊接设备	375
一、手工焊条电弧焊电源	375
1. 对弧焊电源的基本要求	375
2. 焊条电弧焊电源的分类和型号	376
3. 弧焊变压器	378
4. 弧焊发电机	384
5. 弧焊整流器	386
6. 焊条电弧焊电源的选择	390
7. 弧焊电源的使用	391
8. 常用工具及其他辅具	393

二、埋弧焊设备	396
1. 埋弧焊设备的分类及其结构特点	396
2. 埋弧焊电源	396
3. 埋弧焊控制系统	396
4. 埋弧焊机的型号及技术数据	397
5. 埋弧焊用辅助设备	397
三、氩弧焊设备	402
1. 钨极氩弧焊设备	402
2. 熔化极氩弧焊设备	413
四、CO ₂ 气体保护焊设备	419
1. 概述	419
2. CO ₂ 气体保护焊接设备组成	420
3. 典型半自动 CO ₂ 气保护焊机的安装及 使用	423
五、等离子弧焊设备	426
1. 焊接电源	427
2. 焊枪	432
3. 电极	433
4. 控制电路	433
5. 引弧装置	434
6. 气路系统和冷却水路系统	434
7. 等离子弧焊设备使用方法	434
第六章 材料的焊接	435
一、碳钢的焊接	435
1. 低碳钢的焊接	435
2. 中碳钢的焊接	437
3. 高碳钢的焊接	438
4. 碳钢焊接实例	439
二、合金钢的焊接	440
1. 热轧, 正火钢(低合金高强度)的焊接	441
2. 低碳低合金调质钢的焊接	443

3. 中碳低合金调质钢的焊接	448
4. 低温用钢的焊接	452
5. 耐候钢及耐海水腐蚀用钢的焊接	453
三、耐热钢的焊接	458
1. 低合金耐热钢的焊接	458
2. 中合金耐热钢的焊接	459
3. 举例:SA335P91 钢的焊接	461
4. 高合金耐热钢的焊接	463
5. 奥氏体耐热钢的焊接	466
四、不锈钢的焊接	467
1. 奥氏体不锈钢的焊接	468
2. 铁素体型不锈钢的焊接	474
3. 马氏体型不锈钢的焊接	476
五、铸铁的焊接	477
1. 灰铸铁的焊接	478
2. 灰铸铁的补焊实例	481
3. 球墨铸铁的焊接	482
六、铝和铝合金的焊接	485
1. 铝及铝合金的焊接性分析	485
2. 各种焊接方法焊接铝及铝合金时的比较 ...	487
七、铜及铜合金的焊接	496
1. 铜及铜合金的焊接性分析	496
2. 纯铜的焊接工艺	498
3. 黄铜的焊接工艺	507
4. 青铜的焊接工艺	509

第一章 焊接基础知识

一、焊接常用金属材料知识

1. 常用金属材料的主要物理性能指标

焊接时,金属的物理性能对焊接性有一定的影响,因此,在制定焊接工艺和施焊时要考虑到金属材料的物理性能指标。见表1-1。

2. 碳素钢的分类、牌号、成分、性能

碳素钢是含碳量在0.02%~2.11%的铁碳合金,简称为碳钢。在碳钢中除了有铁和碳这两种元素之外,还有少量的硅、锰、硫、磷等杂质元素。实际使用的碳钢含碳量一般不超过1.4%,钢中的碳对钢的性能起着决定性的影响。

(1) 碳素钢的分类

1) 按钢的含碳量分类

① 低碳钢:含碳量小于0.25%。

② 中碳钢:含碳量为0.25%~0.60%。

③ 高碳钢:含碳量大于0.60%。

2) 按钢的质量分类 根据钢中有害杂质硫、磷含量多少可分为:

① 普通质量钢: $S \leq 0.05\%$, $P \leq 0.045\%$ 。

② 优质钢: $S \leq 0.035\%$, $P \leq 0.035\%$ 。

③ 高级优质钢: $S \leq 0.025\%$, $P \leq 0.025\%$ 。

3) 按钢的用途分类

① 结构钢:主要用于制造各种机械零件和工程结构件,其含碳量一般都小于0.70%。

② 工具钢:主要用于制造各种刀具、模具和量具。其含碳量一般都大于0.70%。

表 1-1 常用金属材料的主要物理性能

特性参数 金属名称	密度/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	电阻率(0°C) $\times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$	热导率/ $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$
铝	2 700	2.655	222
铜	8 925	1.68	394
65/35 黄铜	8 430	6.2	117
低碳钢	7 800	15	46
304 不锈钢	7 880	73	21
镁	1 740	4.47	159
钛	4 508	42.1 ~ 47.8	15.1
银	10 490	1.5	418.6
钨	19 300	5.1	166.2
镍	4 500	6.84	92.1
锡	7 300	11.5	62.8
铬	7 190	12.9	67
锰	7 430	185(20°C)	4.98

4) 按冶炼方法分类

①平炉钢:是在有拱形炉顶的平炉里,靠外来火焰加热熔化铸铁和废钢所炼出的钢。

②电炉钢:是在电炉里,利用电弧的高温来熔化铸铁和废钢所炼出的钢。

③转炉钢:是在可转动的炉里,靠空气吹液态铸铁从而烧掉碳、硅、锰等元素所冶炼出来的钢。

5) 按脱氧情况不同分类

①镇静钢:用锰铁、硅铁和铝进行完全脱氧的钢属于镇静钢,其组织致密。

②沸腾钢:在钢锭模中进行脱氧,脱氧不完全的钢,其组织疏松。

线膨胀系数 α 1/°C	比热容/ $J(\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$	熔点/°C
23.6×10^{-6}	940	660
16.5×10^{-6}	376	1 083
20.3×10^{-6}	368	930
12.6×10^{-6}	496	1 350
16.2×10^{-6}	490	1 426
25.8×10^{-6}	1 022	651
8.2×10^{-6}	519	1 677
19.7×10^{-6}	234	960.8
4.6×10^{-6}	142	3 380
13.4×10^{-6}	440	1 453
2.3×10^{-6}	226	231.9
6.2×10^{-6}	461	1 903
37×10^{-6}	481	1 244

③半镇静钢:介于镇静钢与沸腾钢之间。

(2) 碳素钢的牌号

1) 普通碳素结构钢 普通碳素结构钢的牌号按国标 (GB700-88) 规定,有 Q195、Q215、Q235、Q255、Q275 五个牌号。牌号由代表屈服点的拼音字母“Q”,屈服点数值、质量等级符号和脱氧方法符号四个部分按顺序组成。其中 Q 表示钢材屈服强度“屈”字汉语拼音首位字母;3 位连在一起的数字表示屈服强度最低值;质量等级分 A、B、C、D 四个等级,D 级质量最好,A 级最差;脱氧方法分四种,用四种符号表示,F 表示沸腾钢,Z 表示镇静钢,B 表示半镇静钢,TZ 表示特殊镇静钢。其化学成分如表 1-2 所示。普通碳素结构钢的力学性能如表 1-3 所示。

表 1-2 普通碳素结构钢的化学成分 (GB700-1988)

牌号	等级	化学成分 (%)	
		C	Mn
Q195	-	0.06 ~ 0.12	0.25 ~ 0.50
Q215	A	0.09 ~ 0.15	0.25 ~ 0.55
	B		
Q235	A	0.14 ~ 0.22	0.30 ~ 0.65
	B	0.12 ~ 0.20	0.30 ~ 0.70
	C	≤ 0.18	0.35 ~ 0.80
	D	≤ 0.17	
Q255	AB	0.18 ~ 0.28	0.40 ~ 0.70
Q275	-	0.28 ~ 0.38	0.50 ~ 0.80

表 1-3 普通碳素结构钢的力学性能

牌号	等级	拉伸试验 (不小于)		
		σ_b / MPa	σ_s / MPa	δ_5 (%)
Q195	-	315 ~ 390	195	33
Q215	A	355 ~ 410	215	31
	B			
Q235	A	375 ~ 460	235	26
	B			
	C			
	D			
Q255	A	410 ~ 510	255	24
	B			
Q275	-	490 ~ 610	275	20

化学成分(%)			脱氧方法
Si	S	P	
不大于			
0.30	0.050	0.045	F、b、Z
0.30	0.050 0.045	0.045	F、b、Z
0.30	0.050 0.045	0.045	F、b、Z
0.30	0.040 0.035	0.040 0.035	Z TZ
0.35	0.050 0.045	0.045	F、b、Z
0.35	0.050	0.045	b、Z

冲击试验		冷弯试验	
温度/℃	V形缺口 冲击吸收功 (纵向)/J	$b = 2a \quad 180^\circ$	
		弯曲直径	
		纵向试样	横向试样
-	-	0	0.5a
- 20	- ≥ 27	0.5a	a
- 20 0 -20	- ≥ 27	a	1.5a
- 20	≥ 27	2a	2a
-	-	3a	3a

2) 优质碳素结构钢 优质碳素结构钢必须同时保证钢材的化学成分和力学性能。其牌号按 GB699-1988 规定,用两位数字表示,这两位数字表示其含碳量的万分之几;如 45 表示平均含碳量为 0.45% 的优质碳素结构钢。又可分为正常含锰量和较高含锰量两类,较高含锰量的钢含锰量为

表 1-4 优质碳素结构钢的化学成分及力学性能 (GB699-1988)

牌号	化学成分(%)		
	C	Si	Mn
08F	0.05 ~ 0.11	≤0.03	0.25 ~ 0.50
08	0.05 ~ 0.12	0.17 ~ 0.37	0.35 ~ 0.65
10F	0.07 ~ 0.14	≤0.07	0.25 ~ 0.50
10	0.07 ~ 0.14	0.17 ~ 0.37	0.35 ~ 0.65
15F	0.12 ~ 0.19	≤0.07	0.25 ~ 0.50
15	0.12 ~ 0.19	0.17 ~ 0.37	0.35 ~ 0.65
20	0.17 ~ 0.24	0.17 ~ 0.37	0.35 ~ 0.65
25	0.22 ~ 0.30	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80
30	0.27 ~ 0.35	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80
35	0.32 ~ 0.40	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80
40	0.37 ~ 0.45	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80
45	0.42 ~ 0.50	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80
50	0.47 ~ 0.55	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80
55	0.52 ~ 0.60	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80
60	0.57 ~ 0.65	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80
65	0.62 ~ 0.70	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80
70	0.67 ~ 0.75	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80

0.7% ~ 1.2% ,其表示方法是在数字后面附以锰字或元素符号 Mn。

优质碳素结构钢的化学成分及力学性能,如表 1-4 所示。

力 学 性 能						
σ_s	σ_b	δ_5	ψ	α_k	HBS	
N/mm ²		%		J/cm ²	热轧钢	退火钢
不小于				不大于		
175	295	35	60	—	131	—
195	325	33	60	—	131	—
185	315	33	55	—	137	—
205	335	31	55	—	137	—
205	355	29	55	—	143	—
225	375	27	55	—	143	—
245	410	25	55	—	156	—
275	450	23	50	88.3	170	—
295	490	21	50	78.5	179	—
315	530	20	45	68.7	197	—
335	570	19	45	58.8	217	187
355	600	6	40	49.0	229	197
375	630	14	40	39.2	241	207
380	645	13	35	—	255	217
400	675	12	35	—	255	229
410	695	10	30	—	255	229
420	715	9	30	—	269	229

牌号	化学成分(%)		
	C	Si	Mn
75	0.72 ~ 0.80	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80
80	0.77 ~ 0.85	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80
85	0.82 ~ 0.90	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80
15Mn	0.12 ~ 0.19	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00
20Mn	0.17 ~ 0.24	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00
25Mn	0.22 ~ 0.30	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00
30Mn	0.27 ~ 0.35	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00
35Mn	0.32 ~ 0.40	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00
40Mn	0.37 ~ 0.45	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00
45Mn	0.42 ~ 0.50	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00
50Mn	0.47 ~ 0.55	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00
60Mn	0.57 ~ 0.65	0.17 ~ 0.37	0.70 ~ 1.00
65Mn	0.62 ~ 0.70	0.17 ~ 0.37	0.90 ~ 1.20
70Mn	0.67 ~ 0.75	0.17 ~ 0.37	0.90 ~ 1.20

3) 专门用途碳素结构钢 专门用途的碳素结构钢有如下几类,可查阅相关标准。

- ①船体用碳素结构钢:见 GB712-1988。
- ②焊接气瓶用碳素结构钢:见 GB6653-1994。
- ③压力容器用碳素钢:见 GB6654-1996。
- ④锅炉用碳素钢:见 GB713-1997。
- ⑤桥梁用碳素结构钢:见 YB(T)10-1981。
- ⑥管道用碳素钢:见 GB9711-1988。
- ⑦铁道钢轨用碳素钢:见 GB2585-1981。

续表

力学性能						
σ_s	σ_b	δ_5	ψ	α_k	HBS	
N/mm ²		%		J/cm ²	热轧钢	退火钢
不小于				不大于		
880	1 080	7	30	—	285	241
930	1 080	6	30	—	285	241
980	1 130	6	30	—	302	255
245	410	26	55	—	163	—
275	450	24	50	—	197	—
295	490	22	50	88.3	207	—
315	540	20	45	78.5	217	187
335	560	18	45	68.7	229	197
355	590	17	45	58.8	229	207
375	620	15	40	49.0	241	217
390	645	13	40	39.2	255	217
410	695	11	35	—	269	229
430	735	9	30	—	285	229
450	785	8	30	—	285	229

⑧核压力容器用碳素结构钢:暂时没有公布标准。

⑨汽车制造用碳素结构钢:见 GB3275-91。

4) 铸造碳钢 一般用于制造形状复杂、力学性能要求较高的机械零件。铸造碳钢的牌号表示方法由字母 ZG 和两组数字组成,这两组数字分别表示碳钢的最小屈服强度和抗拉强度。如 ZG200-400 表示最小屈服强度为 200MPa,最小抗拉强度为 400MPa 的铸造碳钢。常见的铸造碳钢的化学成分和力学性能如表 1-5 和表 1-6 所示。

表 1-5 铸造碳钢的化学成分

铸造碳钢类别	牌号	化学成分(质量分数)%				
		不大于				
		C	Mn	Si	S	P
焊接结构用铸造碳钢	ZG200-400H	0.20	0.80	0.50	0.04	
	ZG230-450H	0.20	1.20			
	ZG275-485H	0.25	1.20			
一般工程用铸造碳钢	ZG200-400	0.20	0.80	0.90	0.50	0.04
	ZG230-450	0.30				
	ZG270-500	0.40				
	ZG310-570	0.50				
	ZG310-640	0.60				

注:牌号末尾的“H”为“焊”字汉语拼音首位字母,表示焊接用钢。

表 1-6 铸造碳钢的力学性能

铸造碳钢类别	牌 号	σ_b /MPa	σ_s /MPa
		不小于	
焊接结构用铸造碳钢	ZG200-400H	400	200
	ZG230-450H	450	230
	ZG275-485H	485	275
一般工程用铸造碳钢	ZG200-400	400	200
	ZG230-450	450	230
	ZG270-500	500	270
	ZG310-570	570	310
	ZG310-640	640	340

化学成分(质量分数)%						标准
不大于						
其他合金元素						
Ni	Cr	Cu	Mo	V	总和	
0.30	0.30	0.30	0.15	0.05	0.80	GB7659-1987
0.30	0.35	0.30	0.20	0.50	1.00	GB11352-1989

δ_5 (%)	ψ (%)	A_{KV}/J	标准
不小于			
25	40	30	GB7659-1987
22	35	25	
20	35	22	
25	40	30	GB11352-1989
22	32	25	
18	25	22	
15	21	15	
10	18	10	

3. 合金钢的分类、牌号、成分、性能

合金钢是在碳素钢基础上,为了获得特定的性能,有目的地加入一种或多种合金元素的钢。常加入的元素有 Si、Mn、Cr、Ni、W、Mo、V、Ti、Al 及稀土等。

(1) 合金钢的分类

1) 按用途分类

- ①合金结构钢:用于制造机械零件和工程结构的钢。
- ②合金工具钢:用于制造各种加工工具的钢。
- ③特殊性能钢:具有某种特殊物理、化学性能的钢。如不锈钢、耐热钢、耐磨钢。

2) 按所含合金元素总含量分类

- ①低合金钢:合金元素总含量 $< 5\%$ 。
- ②中合金钢:合金元素总含量 $5\% \sim 10\%$ 。
- ③高合金钢:合金元素总含量 $> 10\%$ 。

3) 按化学成分分类 按钢中所含合金元素的种类可分为锰钢、铬钢、硅钢、铬钼钢、铬镍钢、铬镍钛钢等。

4) 按金相组织分类

①按退火组织分:亚共析钢、共析钢、过共析钢和莱氏体钢。

②按正火组织分:珠光体钢、贝氏体钢、马氏体钢、奥氏体钢。

(2) 合金钢的牌号。合金钢的牌号是按用途分类后的钢种进行编制的。采用了“数字 + 化学元素 + 数字”的方法。

合金结构钢的牌号表示方法:前面两位数字表示平均含碳量的万分之几。合金元素以汉字或化学元素符号表示。化学元素后面的数字表示该合金元素含量的百分数。如 16Mn 钢。表示平均含碳量 $\omega(C) = 0.16\%$; 平均含锰量是 $\omega(Mn) < 1.5\%$ 。

合金工具钢的牌号表示方法与合金结构钢的不同之处在于只用一位数字表示含碳量。其意义为平均含碳量的千

分之几。如含碳量超过 1%，则不予标出。

特殊性能钢的牌号与合金工具钢的表示方法相同。但表示含碳量时有一些特殊规定。当含碳量为 0.03% ~ 0.10% 时，含碳量用 0 表示，含碳量小于或等于 0.03% 时，用 00 表示。

还有一些特殊专用钢，为了表示钢的用途，在钢的牌号前冠以汉语拼音字母字头，而不标含碳量，合金元素的标注也不相同。如滚动轴承钢前面标以“G”，如 GCr15SiMn，含铬量为 15‰，而硅锰的含量仍用百分数表示。

(3) 常用合金钢的成分及性能。主要介绍用于焊接结构的常用合金钢的成分及性能。

1) 低合金钢 常用来制作焊接结构的低合金钢可分为高强度钢、低温用钢、耐腐蚀钢及珠光体耐热钢。

低合金高强度钢是根据 GB/T 1591-1994 的规定，低合金高强度钢是在热轧、控轧控冷及正火（或正火加回火）状态焊接下使用的屈服强度为 295 ~ 460MPa 的低合金结构钢。可分为 5 个强度等级，分别是 295MPa、345MPa、390MPa、420MPa 及 460MPa。每个强度等级要根据韧性要求分为 A、B、C、D、E 五个质量等级。其化学成分和力学性能如表 1-7，表 1-8，表 1-9。

表 1-7 GB/T 1591-1994 的牌号与 GB 1591-1988 标准中低合金高强度结构钢的对应牌号

GB/T 1591-1994	GB 1591-1988
Q295	09MnV 09MnNb 09Mn2 12Mn
Q345	12MnV 14MnNb 16Mn 16MnRE 18Nb 09MnCuPTi 10MnSiCu
Q390	15MnV 15MnTi 16MnNb 10MnPNbRE
Q420	15MnVN 14MnVTiRE
Q460	——

2) 低碳低合金调质钢 低碳低合金调质钢一般具有较
高的屈服强度(450~980MPa),良好的塑性、韧性、耐磨及

表 1-8 低合金高强度结构钢的化学成分(GB/T 1591-1994)

牌号	质量等级	化 学 成 分(质量分数)(%)			
		C≤	Mn	Si≤	P≤
Q295	A	0.16	0.80	0.55	0.45
	B	0.16	~ 0.15		0.40
Q345	A	0.20	1.00 ~ 1.60	0.55	0.45
	B	0.20			0.40
	C	0.20			0.35
	D	0.18			0.30
	E	0.18			0.25
Q390	A	0.20	1.00 ~ 1.60	0.55	0.45
	B	0.20			0.40
	C	0.20			0.35
	D	0.20			0.30
	E	0.20			0.25
Q420	A	0.20	1.00 ~ 1.70	0.55	0.45
	B	0.20			0.40
	C	0.20			0.35
	D	0.20			0.30
	E	0.20			0.25
Q460	C	0.20	1.00	0.55	0.35
	D	0.20	~		0.30
	E	0.20	1.70		0.25

耐蚀性。其含碳量一般不超过0.21%。常用几种低碳低合金调质钢的化学成分及力学性能如表1-10及表1-11。

化 学 成 分(质量分数) (%)						
S \leq	V	Nb	Ti	Al \geq	Cr \leq	Ni \leq
0.45	0.02	0.015	0.02	-	-	-
0.40	~	~	~	-	-	-
	0.15	0.16	0.20	-	-	-
0.45				-		
0.40	0.02	0.015	0.02	-		
0.35	~	~	~	0.15	-	-
0.30	0.15	0.16	0.20	0.15		
0.25				0.15		
0.45				-		
0.40	0.02	0.015	0.02	-		
0.35	~	~	~	0.15	0.30	0.70
0.30	0.20	0.16	0.20	0.15		
0.25				0.15		
0.45				-		
0.40	0.02	0.015	0.02	-		
0.35	~	~	~	0.15	0.40	0.70
0.30	0.20	0.16	0.20	0.15		
0.25				0.15		
0.35	0.02	0.015	0.02	0.15		
0.30	~	~	~	0.15	0.70	0.70
0.25	0.20	0.16	0.20	0.15		

表 1-9 低合金高强度结构钢的力学性能及应用

牌号	σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ_5 /%
Q295	235 ~ 295	390 ~ 570	23
Q345	275 ~ 345	470 ~ 630	21
Q390	330 ~ 390	490 ~ 650	19
Q420	360 ~ 420	520 ~ 680	18
Q460	400 ~ 460	550 ~ 720	17

表 1-10 常用几种低碳低合金调质钢的化学成分(质量分数)(%)

钢号	C	Si	Mn	P
07MnCrMoVR	≤ 0.09	0.15 ~ 0.40	1.20 ~ 1.60	≤ 0.030
07MnCrMoVDR	≤ 0.09	0.15 ~ 0.40	1.20 ~ 1.60	≤ 0.030
07MnCrMoV-D	≤ 0.11	0.15 ~ 0.40	1.20 ~ 1.60	≤ 0.030

特性及应用举例

具有优良的韧性、塑性,冷弯性和焊接性,冲压成形性能好,一般在热轧或正火状态下使用。适用于制作各种容器、螺旋焊管、车辆用冲压件、建筑用结构件、农机结构件、储油罐、低压锅炉汽包、输油管道、造船及金属结构等

具有良好的综合力学性能,塑性和焊接性良好,冲击韧性较好,一般在热轧或正火状态下使用。适于制作桥梁、船舶、车辆、管道、锅炉、各种容器、油罐、电站、厂房结构、低温压力容器等结构件

具有良好的综合力学性能,焊接性及冲击韧性较好。一般在热轧状态下使用。适于制作锅炉、中高压石油化工容器、桥梁、船舶、起重机、较高负荷的焊接件、连接件等

具有良好的综合力学性能,优良的低温韧性,焊接性好,冷热加工性良好,一般在热轧或正火状态下使用。适于制作高压容器、重型机械、桥梁、船舶、机车车辆、锅炉及大型焊接结构件

S	Cr	Ni	Mo	V	其他
≤0.020	0.10 ~ 0.30	≤0.30	0.10 ~ 0.30	0.02 ~ 0.06	B ≤ 0.003 0
≤0.020	0.10 ~ 0.30	0.20 ~ 0.50	0.10 ~ 0.30	0.02 ~ 0.06	B ≤ 0.003 0
≤0.020	≤0.30	≤0.30	≤0.30	0.02 ~ 0.06	B ≤ 0.003 0

钢号	C	Si	Mn	P
07MnCrMoV-E	≤0.11	0.15 ~ 0.40	1.20 ~ 1.60	≤0.030
HQ60	0.09 ~ 0.16	0.20 ~ 0.60	0.90 ~ 1.50	≤0.030
HQ70	0.09 ~ 0.16	0.15 ~ 0.40	0.60 ~ 1.20	≤0.030
HQ80C	0.10 ~ 0.16	0.15 ~ 0.35	0.60 ~ 1.20	≤0.025
HQ100	0.10 ~ 0.18	0.15 ~ 0.35	0.80 ~ 1.40	≤0.030
14MnMoNbB	0.12 ~ 0.18	0.15 ~ 0.35	1.30 ~ 1.80	≤0.030
ASTM A514-B	0.12 ~ 0.21	0.20 ~ 0.35	0.70 ~ 1.00	≤0.035
Welten80C	≤0.16	0.15 ~ 0.35	0.60 ~ 1.20	≤0.030
15NiCuMoNb5 (WB36)	0.08 ~ 0.19	0.20 ~ 0.56	0.75 ~ 0.30	≤0.030
ASTM A533-C	≤0.25	0.15 ~ 0.30	1.15 ~ 1.50	≤0.035
12Ni3CrMoV	0.07 ~ 0.14	0.17 ~ 0.37	0.30 ~ 0.60	≤0.020
HY-130	≤0.12	0.15 ~ 0.35	0.60 ~ 0.90	≤0.010

续表

S	Cr	Ni	Mo	V	其他
≤ 0.020	≤ 0.30	≤ 0.50	≤ 0.30	0.02 ~ 0.06	B \leq 0.003 0
≤ 0.025	≤ 0.30	0.30 ~ 0.60	0.08 ~ 0.20	0.03 ~ 0.08	
≤ 0.030	0.30 ~ 0.60	0.30 ~ 1.00	0.20 ~ 0.40	V + Nb ≤ 0.10	Cu: 0.15 ~ 0.50 B: 0.000 5 ~ 0.003 0
≤ 0.015	0.60 ~ 1.20	Cu: 0.15 ~ 0.50	0.30 ~ 0.60	0.03 ~ 0.08	B: 0.000 5 ~ 0.005 0
≤ 0.030	0.40 ~ 0.80	0.70 ~ 0.30 ~ 0.60 ~ 1.50	0.30 ~ 0.60	0.03 ~ 0.08	Cu: 0.15 ~ 0.50
≤ 0.030	Nb: 0.02 ~ 0.07	Cu ≤ 0.40	0.45 ~ 0.70		B: 0.000 5 ~ 0.005 0
≤ 0.040	0.40 ~ 0.65	Ti: 0.01 ~ 0.03	0.15 ~ 0.25	0.03 ~ 0.08	B: 0.000 5 ~ 0.005 0
≤ 0.030	0.60 ~ 1.20	Cu 0.15 ~ 0.50	0.30 ~ 0.60	V \leq 0.10	B $\leq 0.006 0$
≤ 0.025	≤ 0.035	0.95 ~ 1.35	0.22 ~ 0.54	Nb: 0.10 ~ 0.50 Cu: 0.45 ~ 0.85	N ≤ 0.022 Al: 0.010 ~ 0.060
≤ 0.040		0.70 ~ 1.00	0.45 ~ 0.60		
≤ 0.015	0.90 ~ 1.20	2.60 ~ 3.00	0.20 ~ 0.27	0.04 ~ 0.10	
≤ 0.015	0.40 ~ 0.70	4.75 ~ 5.25	0.30 ~ 0.65	0.005 ~ 0.10	

表 1-11 常用几种低碳低合金调质钢的力学性能

钢号	板厚/mm	σ_b /MPa
07MnCrMoVR	16 ~ 50	610 ~ 740
07MnCrMoVDR		
07MnCrMoV-D	16 ~ 60	570 ~ 710
07MnCrMoV-E		
HQ60	≤ 50	≥ 590
HQ70	≤ 50	≥ 680
HQ80C		≥ 785
HQ100		≥ 950
14MnMoNbB	20 ~ 50	755 ~ 960
ASTM A514-B		689 ~ 896
Welten80C	6 ~ 50	784 ~ 931
ASTM A533-C		551 ~ 862
12Ni3CrMoV	≥ 16	
HY-130		
15NiCuMoNb5 (WB36)	< 60	610 ~ 780

σ_s /MPa	δ_5 (%)	A_{KV} /J	热处理状态
≥ 490	≥ 17	$-40^\circ\text{C} \geq 47$	调质
≥ 450	≥ 17	$-40^\circ\text{C} \geq 47$	调质
≥ 450	≥ 16	$-10^\circ\text{C} \geq 47$ $-40^\circ\text{C} \geq 29$	调质
≥ 590	≥ 17	$-20^\circ\text{C} \geq 39$ $-40^\circ\text{C} \geq 29$	调质
≥ 685	≥ 16	$-20^\circ\text{C} \geq 47$ $-40^\circ\text{C} \geq 29$	调质
≥ 880	≥ 10	$-25^\circ\text{C} \geq 27$	调质
≥ 685	≥ 14	$\alpha_{KV}/\text{J} \cdot \text{cm}^{-2} \geq 39$	调质
620 ~ 689			调质
686	≥ 20	$-20^\circ\text{C} \geq 27$	调质
344 ~ 569			调质
588 ~ 745	≥ 16	$-20^\circ\text{C} \geq 64$	调质
896			调质
≥ 440	纵向:19 横向:17	20℃ 横向 ≥ 44 纵向 ≥ 64	正火或 调质

上述表中的几类钢的应用如下：

HQ60、HQ70、HQ80C、HQ100 及 14MnMoNbB 钢主要应用于工程矿山机械的制造，如牙轮钻机、推土机、煤矿液压支架、重型汽车及工程起重机等。

美国钢号 ASTM A514-B 钢和日本钢号 Welten80C 与 HQ80C 相近，主要应用于高寒地区露天煤矿的大型挖掘机及电动轮自卸车等。

07MnCrMoVR 系列钢具有较好的低温韧性，可用于低温下使用的焊接结构。

表 1-12 中碳调质钢的化学成分(质量分数)(%)

钢号	C	Si	Mn	Cr
27SiMn	0.24 ~ 0.32	1.10 ~ 1.40	1.10 ~ 1.40	-
40Cr	0.37 ~ 0.44	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.80 ~ 1.10
30CrMo	0.26 ~ 0.34	0.17 ~ 0.37	0.40 ~ 0.70	0.80 ~ 1.10
35CrMo	0.32 ~ 0.40	0.17 ~ 0.37	0.40 ~ 0.70	0.80 ~ 1.10
30CrMnSi	0.27 ~ 0.34	0.90 ~ 1.20	0.80 ~ 1.10	0.80 ~ 1.10
30CrMnSiA	0.28 ~ 0.35	0.90 ~ 1.20	0.80 ~ 1.10	0.80 ~ 1.10
30CrMnSiNi2A	0.27 ~ 0.37	0.90 ~ 1.20	1.00 ~ 1.30	0.90 ~ 1.20
34CrNi3MoA	0.30 ~ 0.40	0.27 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.70 ~ 1.10

15NiCuMoNb5(WB36)具有较高的强度和良好的焊接性,主要用于高压锅炉给水管,可使壁厚大为减薄,从而有利于加工、制造和安装。

ASTM A533-C、HY130 和 12Ni3CrMoV 主要用于核动力装置及航海、航天设备。

3) 中碳调质钢 中碳调质钢的含碳量较高($\omega(C) = 0.25\% \sim 0.50\%$),并含有较多的合金元素,保证钢的淬透性及防止回火脆性,这类钢在调质状态下具有良好的综合力学性能,屈服强度高达 880 ~ 1 176MPa。常见中碳调质钢的化学成分及力学性能如表 1-12 及表 1-13。

Ni	Mo	V	S	P
-	-	-	≤ 0.035	≤ 0.035
-	-	-	≤ 0.035	≤ 0.035
-	0.15 ~ 0.25	-	≤ 0.035	≤ 0.035
-	0.15 ~ 0.25	-	≤ 0.035	≤ 0.035
-	-	-	≤ 0.035	≤ 0.035
≤ 0.40	-	-	≤ 0.02	≤ 0.02
1.40 ~ 1.80	-	-	≤ 0.02	≤ 0.02
2.75 ~ 3.25	0.25 ~ 0.40	-	≤ 0.03	≤ 0.03

钢号	C	Si	Mn	Cr
40CrMnMo	0.37 ~ 0.45	0.17 ~ 0.37	0.90 ~ 1.20	0.90 ~ 1.20
40CrNiMoA	0.37 ~ 0.44	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.60 ~ 0.90
40CrMnSiMoVA	0.36 ~ 0.40	1.20 ~ 1.60	0.80 ~ 1.20	1.20 ~ 1.50
40CrNi2Mo	0.38 ~ 0.43	0.15 ~ 0.35	0.65 ~ 0.85	0.70 ~ 0.90
H11	0.30 ~ 0.40	0.80 ~ 1.20	0.20 ~ 0.40	4.75 ~ 5.50
D6AC	0.42 ~ 0.48	0.15 ~ 0.35	0.60 ~ 0.90	1.90 ~ 1.20

表 1-13 常用中碳调质钢的力学性能

钢号	σ_b /MPa ≥	σ_s /MPa ≥	δ_5 (%) ≥
27SiMn	980	835	12
40Cr	980	785	9
30CrMo(A)	930	785	12
35CrMo(A)	980	835	12
30CrMnSi	1 080	885	10
30CrMnSiA	1 080	835	10
30CrMnSiNi2A	1 570		9
34CrNi3MoA	931	833	12
40CrMnMo	980	785	10
40CrNiMoA	980	835	12
40CrMnSiMoVA	1 860	1 515	8
40CrNiMoVA	965 ~ 1 102	—	—
H11	1 725 ~ 2 070	—	—
D6AC	1 570	1 470	14

续表

Ni	Mo	V	S	P
-	0.20 ~ 0.30	-	≤0.035	≤0.035
1.25 ~ 1.65	0.15 ~ 0.25	-	≤0.025	≤0.025
-	0.45 ~ 0.60	0.07 ~ 0.12	≤0.020	≤0.020
1.65 ~ 2.00	0.20 ~ 0.30	-	≤0.025	≤0.025
-	1.25 ~ 1.75	0.30 ~ 0.50	≤0.010	≤0.010
0.40 ~ 0.70	0.90 ~ 1.10	0.05 ~ 0.10	≤0.015	≤0.015

$\Psi(\%)$ ≥	A_{KV}/J ≥	HB _{max} (退火或高温回火)
40	39	217
45	47	207
50	63	229
45	63	229
45	39	229
45	$\alpha_{KV}/kJ \cdot m^{-2}$ 490	383
45	$\alpha_{KV}/kJ \cdot m^{-2}$ 590	444
35	31	341
45	63	217
55	78	269
	$\alpha_{KV}/kJ \cdot m^{-2}$ 780	
-	-	-
-	-	-
50	25	

表 1-14 低温压力容器用低合金钢板的牌号和化学成分
(质量分数) (GB/T3531-1996)

钢材牌号	C	Mn	Si
16MnDR	≤0.20	1.20 ~ 1.60	0.15 ~ 0.50
09Mn2VDR	≤0.12	1.40 ~ 1.80	0.15 ~ 0.50
15MnNiDR	≤0.18	1.20 ~ 1.60	0.15 ~ 0.50
09MnNiDR	≤0.12	1.20 ~ 1.60	0.15 ~ 0.50

表 1-15 低温压力容器用低合金钢板的力学性能
(GB3531-1996)

钢材牌号	板 厚	σ_b /MPa
16MnDR	6 ~ 16	490 ~ 620
	> 16 ~ 36	470 ~ 600
	> 36 ~ 60	450 ~ 580
	> 60 ~ 100	450 ~ 580
15MnNiDR	6 ~ 16	490 ~ 630
	> 16 ~ 36	470 ~ 610
	> 36 ~ 60	460 ~ 600
09Mn2VDR	6 ~ 16	440 ~ 570
	> 16 ~ 36	430 ~ 560
09MnNiDR	6 ~ 16	440 ~ 570
	> 16 ~ 36	430 ~ 560
	> 36 ~ 60	430 ~ 560

4) 低合金低温用钢 低合金低温用钢主要用于低温下工作的容器、管道和结构,如液化石油气储罐、冷冻设备及石油化工低温设备等。对低温用钢的主要性能要求是保证

V	Al	Ni	Nb	S	P
-	≥0.015	-	-	≤0.025	≤0.030
0.02~0.06	≥0.015	-	-	≤0.025	≤0.030
≤0.06	≥0.015	0.20~0.60	-	≤0.025	≤0.030
-	≥0.015	0.30~0.80	≤0.04	≤0.020	≤0.025

σ_s /MPa	δ_5 (%)	A_{KV} /J
≥315 ≥295 ≥275 ≥255	≥21	-40℃, ≥24 -40℃, ≥24 -30℃, ≥24 -30℃, ≥24
≥325 ≥305 ≥290	≥20	-45℃, ≥27 -45℃, ≥27 -45℃, ≥27
≥290 ≥270	≥22	-50℃, ≥27 -50℃, ≥27
≥300 ≥280 ≥260	≥23	-70℃, ≥27 -70℃, ≥27 -70℃, ≥27

在使用温度下具有足够的韧性及抵抗脆性破坏的能力。可分为含 Ni 及不含 Ni 两大类,其牌号、化学成分、力学性能如表 1-14 和表 1-15 及表 1-16 所示。

表 1-16 含镍低温钢的化学成分和力学性能

国别	标准号	牌号	化学成分(质量分数)(%)				
			板厚	C	Si	Mn	Ni
日	JISG3217	SL2N26	6 ~ 50	≤0.17	0.15 ≤0.30	≤0.70	2.10 ~ 2.50
美	ASTM A203-72	A级	$h \leq 50$	≤0.17	0.15 ≤0.30	≤0.70	2.10 ~ 2.50
			$50 < h \leq 100$	≤0.21	≤0.30	≤0.80	
			$100 < h \leq 150$	≤0.23	≤0.80	≤0.80	
		B级	$h \leq 50$	≤0.21	0.15 ≤0.30	≤0.70	2.10 ~ 2.50
$50 < h \leq 100$	≤0.24	≤0.30	≤0.80				
$100 < h \leq 150$	≤0.25	≤0.80	≤0.80				
法	NF A36-208-66	2.25Ni	3 ~ 50	≤0.15	0.15 ≤0.30	≤0.80	2.10 ~ 2.50
日	JISG3217	SL3N26	6 ~ 50	≤0.15	0.15 ≤0.30	≤0.70	3.25 ~ 3.75
		SL3N45	6 ~ 50	≤0.15	0.15 ≤0.30	≤0.70	3.25 ~ 3.75
美	ASTM A203-72	D级	$h \leq 50$	≤0.17	0.15 ≤0.30	≤0.70	3.25 ~ 3.75
			$50 < h \leq 100$	≤0.20	≤0.30	≤0.80	
		E级	$h \leq 50$	≤0.20	0.15 ≤0.30	≤0.70	3.25 ~ 3.75
			$50 < h \leq 100$	≤0.23	≤0.30	≤0.80	
法	NF A36-208-66	3.5Ni	3 ~ 50	≤0.15	0.15 ~ 0.30	≤0.80	3.25 ~ 3.75

		力学性能			
P	S	热处理	σ_s /MPa	σ_b /MPa	冲击吸收功 A_{KV} /J
≤ 0.025	≤ 0.025	正火	255	451 ~ 588	21 (-70℃)
≤ 0.035	≤ 0.040	正火	255	451 ~ 529	—
≤ 0.030	≤ 0.040	正火	274	480 ~ 588	—
≤ 0.025	≤ 0.030	正火	274 265	451 ~ 529	40 (-80℃)
≤ 0.025	≤ 0.025	正火	255	441 ~ 588	21 (-110℃)
≤ 0.025	≤ 0.025	调质	441	539 ~ 686	27 (-110℃)
≤ 0.035	≤ 0.040	调质	255	451 ~ 529	—
≤ 0.035	≤ 0.040	正火	274	480 ~ 588	—
≤ 0.030	≤ 0.030		274 265	451 ~ 529	40 (-100℃)

表 1-17 耐候钢及耐海水腐蚀用钢的化学成分
(GB/T 4172-1984)

钢材牌号	C	Si	Mn
16CuCr	0.12 ~ 0.20	0.15 ~ 0.35	0.35 ~ 0.65
12MnCuCr	0.08 ~ 0.15	0.15 ~ 0.35	0.60 ~ 1.00
15MnCuCr	0.10 ~ 0.19	0.15 ~ 0.35	0.90 ~ 1.30
15MnCuCr-QT	0.10 ~ 0.19	0.15 ~ 0.35	0.90 ~ 1.30
09CuPCrNi-A	≤0.12	0.25 ~ 0.75	0.20 ~ 0.50
09CuPCrNi-B	≤0.12	0.10 ~ 0.40	0.20 ~ 0.50
09CuP	≤0.12	0.20 ~ 0.40	0.20 ~ 0.50
CortenA	≤0.12	0.25 ~ 0.75	0.20 ~ 0.50
CortenB	≤0.12	0.25 ~ 0.75	0.20 ~ 0.50
CortenC	0.10 ~ 0.19	0.15 ~ 0.30	0.90 ~ 1.35

5) 耐候钢及耐海水腐蚀用钢 耐候钢及耐海水腐蚀钢广泛用于车辆、船舶、箱、罐、塔、桥及门窗等结构及产品的制造。我国的耐候钢及耐海水腐蚀钢以符合我国资源特点 Cu、P 为主要合金元素,并配以 Cr、Mn、Ti、Ni、Nb、RE 等合金

P	S	Cu	Cr	Ni
≤0.040	≤0.040	0.20 ~ 0.40	0.20 ~ 0.60	—
≤0.040	≤0.040	0.20 ~ 0.40	0.30 ~ 0.65	—
≤0.040	≤0.040	0.20 ~ 0.40	0.30 ~ 0.65	—
≤0.040	≤0.040	0.20 ~ 0.40	0.30 ~ 0.65	—
0.07 ~ 0.15	≤0.040	0.25 ~ 0.55	0.30 ~ 1.25	≤0.65
0.07 ~ 0.12	≤0.040	0.24 ~ 0.45	0.30 ~ 0.65	0.25 ~ 0.50
0.07 ~ 0.12	≤0.040	0.25 ~ 0.45		—
—	—	0.25 ~ 0.55	0.30 ~ 1.25	≤0.65
V:0.02 ~0.10	—	0.25 ~ 0.40	0.30 ~ 1.25	≤0.65
V:0.04 ~0.10	—	0.25 ~ 0.40	0.40 ~ 0.70	≤0.65

元素。其中对 C 的含量限制在 0.16% 以内。我国常使用的耐候钢及耐海水腐蚀用钢以及部分国外钢号的成分及力学性能如表 1-17 及表 1-18。

表 1-18 耐候钢及耐海水腐蚀用钢的力学性能

钢材 牌号	钢材 厚度	σ_b / MPa	σ_s / MPa	δ_5 (%)	A_{KV}/J
16CuCr	≤16	402	245	22	A - -
	>16 - 40	402	235	24	B 0℃ ≥27.5
	>40	382	216	22	C -20℃ ≥27.5
12MnCuCr	≤16	421	294	22	A - -
	>16 - 40	421	284	24	B 0℃ ≥27.5
	>40	412	265	22	C -20℃ ≥27.5
15MnCuCr	≤16	490	343	20	A - -
	>16 - 40	490	333	22	B 0℃ ≥27.5
	>40	470	312	20	C -20℃ ≥27.5
15MnCuCr-QT	≤16	549 - 696	441	20	-20℃ ≥31.4
	>16 - 40	549 - 696	431	22	
	>40	549 - 696	412	20	
09CuPCrNi-A	≤6(热轧)	480	343	22	0℃ ≥27.5
	>6(热轧)	480	343	22	
	≤2.5(冷轧)	451	314	26	
09CuPCrNi-B	≤6(热轧)	431	294	24	0℃ ≥27.5
	>6(热轧)	431	294	24	
	≤2.5(冷轧)	402	265	27	
09CuP	≤6(热轧)	412	294	24	0℃ ≥27.5
	>6(热轧)	412	294	24	
CortenA	13	485	345	22	-
CortenB	102	485	345	21	-
CortenC	25	550	415	21	-

6) 耐热钢 耐热钢是指在高温下具有较高抗氧化性和较高强度的钢,它通过在钢中加入一定量的合金元素以提高钢的高温强度和持久强度。根据加入合金成分的质量分数,可分为低合金、中合金、高合金耐热钢。其合金系列有 Mo, Cr-Mo, Mo-V, Cr-Mo-V, Mn-Mo-V, Mn-Ni-Mo 和 Cr-Mo-W-V-Ti-B。对于焊接用的低合金耐热钢,其含碳量控制在 0.2%,合金元素总质量分数在 5% 以内。供货组织状态为珠光体 + 铁素体组织的,称为珠光体耐热钢,其合金总质量分数在 2.5% 以下;供货组织为贝氏体 + 铁素体组织的,称为贝氏体耐热钢,其合金总质量分数在 3% ~ 5%。

合金总质量分数在 6% ~ 12% 的耐热钢称为中合金耐热钢,其供货组织可以是铁素体 + 贝氏体,也可以是马氏体。

合金总质量分数高于 13% 的合金钢称为高合金耐热钢,按其供货状态下的组织可分为马氏体、铁素体和奥氏体。

在动力工程中,石油化工和其他工业部门应用的低合金耐热钢已有 20 余种,其中最常用的是 Cr-Mo, Mn-Mo 型耐热钢和 Cr-Mo 基多元合金耐热钢。常用低合金耐热钢的化学成分和力学性能见表 1-19 和表 1-20 中合金耐热钢的化学成分和力学性能见表 1-21 和表 1-22。

对于高合金耐热钢,其一般是不锈钢,放在不锈钢里介绍。

7) 不锈钢 不锈钢是指主加元素铬含量能使钢处于钝化状态,又具有不锈特性的钢。其中铬的含量应高于 12%。此时,钢的表面能迅速形成致密的 Cr_2O_3 氧化膜,使钢的电极电位和在氧化性介质中的耐蚀性发生突变性提高。通常所说的不锈钢是不锈钢和耐酸钢的总称。

不锈钢按组织分类可分为五类,铁素体不锈钢、马氏体不锈钢、奥氏体不锈钢、双相不锈钢和沉淀硬化不锈钢。

表 1-19 常用低合金耐热钢的化学成分

钢种类型	钢号		主要化学成分	
	国标	ASME(DIN)	C	Si
0.3Mo	15Mo	A335-P1 (15Mo3)	0.12 ~ 0.20	0.17 ~ 0.37
0.5Mo	20Mo	-	0.15 ~ 0.25	0.17 ~ 0.37
1Cr-0.5Mo	12CrMo	A335-P2	0.08 ~ 0.15	0.17 ~ 0.37
	15CrMo	A335-P11 A387-P12 (13CrMo44)	0.12 ~ 0.18	0.17 ~ 0.37
1Cr-Mo-V	12Cr1MoV	(13CrMo42)	0.08 ~ 0.15	0.17 ~ 0.37
2.25Cr-1Mo	12Cr2Mo	A387-22 A335-P22 (10CrMo910)	0.08 ~ 0.15	≤0.5
2Cr-Mo-W- V-Ti-B	12Cr2MoW VTiB	-	0.08 ~ 0.15	0.45 ~ 0.75
3Cr-Mo-V- Si-Ti-B	12Cr3MoW SiTiB	-	0.09 ~ 0.15	0.60 ~ 0.90
Mn-Mo-Nb	18MnMoNb	A302AB	≤0.22	0.15 ~ 0.50
Mn-Ni-Mo-Nb	18MnNiMoNb	A533-B (18MnNiMo54)	≤0.15	0.15 ~ 0.50

主要化学成分				
Mn	Mo	Cr	V	其他
0.40 ~ 0.80	0.25 ~ 0.35	-	-	-
0.40 ~ 0.80	0.44 ~ 0.65	-	-	-
0.40 ~ 0.70	0.40 ~ 0.55	0.40 ~ 0.70	-	-
0.40 ~ 0.70	0.40 ~ 0.55	0.80 ~ 1.10	-	-
0.40 ~ 0.70	0.25 ~ 0.35	0.90 ~ 1.20	0.15 ~ 0.30	-
0.40 ~ 0.70	0.90 ~ 1.20	2.00 ~ 2.50	-	-
0.45 ~ 0.65	0.50 ~ 0.65	1.60 ~ 2.10	0.28 ~ 0.42	W:0.30 ~0.55 Ti:0.08 ~0.18 B:0.002 ~0.008
0.50 ~ 0.80	1.00 ~ 1.20	2.50 ~ 3.00	0.25 ~ 0.35	Ti:0.22 ~0.38 B:0.005 ~0.011
1.20 ~ 1.60	0.45 ~ 0.65	-	-	Nb:0.025 ~0.050
1.20 ~ 1.60	0.20 ~ 0.40	0.20 ~ 0.40	-	Nb:0.025 ~0.050 Ni:0.60 ~1.00

表 1-20 常用低合金耐热钢的标准力学性能

钢号	热处理状态	厚度/mm
15Mo	正火	2~70
20Mo	正火	2~70
12CrMo	正火+回火	2~70
15CrMo	正火+回火	2~70
12Cr1MoV	正火+回火 壁厚大于40mm 淬火+回火	2~70
12Cr2Mo	正火+回火	2~70
12Cr2MoWVTiB	正火+回火	2~70
12Cr3MoVSiTiB	正火+回火	2~70
18MnMoNb	正火+回火	30~60 >60~100
13MnNiMoNb	正火+回火	≤100 >100~120

奥氏体不锈钢是应用最广泛,品种最多的不锈钢,其在氧化性、中性及弱还原性介质中均具有良好的耐蚀性。其塑性和韧性优良,冷热加工性能良好,焊接性能优于其他不锈钢,广泛用于建筑装饰、食品工业、医疗器械、纺织印染设备以及石油、化工、原子能等工业领域。

铁素体不锈钢的应用比较广泛,其中 Cr13 和 Cr17 型主要用于腐蚀环境不太苛刻的场合,例如室内装饰、厨房设备、家电产品、家用器具等。

力学性能			
σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 (%)	A_{KV} /J
450 ~ 650	≥ 270	≥ 22	≥ 35
≥ 415	≥ 220	≥ 22	≥ 35
410 ~ 560	≥ 205	≥ 21	≥ 35
440 ~ 640	≥ 235	≥ 21	≥ 35
470 ~ 640	≥ 255	≥ 21	≥ 35
450 ~ 600	≥ 280	≥ 20	≥ 35
540 ~ 735	≥ 345	≥ 18	≥ 35
610 ~ 805	≥ 440	≥ 16	≥ 35
590 ~ 740	≥ 440	≥ 17	≥ 34
570 ~ 720	≥ 410	≥ 17	≥ 34
570 ~ 720	≥ 390 ≥ 380	≥ 18 ≥ 18	0℃时 ≥ 31

马氏体不锈钢应用较为普遍的是 Cr13 型马氏体不锈钢,为了改善某些性能,添加了 Ni、Mo 等合金元素,主要用于一些硬度、强度要求较高,耐腐蚀性要求不太高的场合,如量具、轴承、汽轮机叶片、水轮机转轮、泵、阀等。

双相不锈钢是金相组织由奥氏体和铁素体两相组成的不锈钢,而且两相都占有较大的比例。其具有奥氏体不锈钢和铁素体不锈钢的一些特性,如韧性良好,强度较高,耐氯化物应力腐蚀。适于制作海水处理设备、冷凝器、热交换

表 1-21 常用中合金耐热钢的化学成分

钢种	钢号	化学成分(质量分数)(%)		
		C	Si	Mn
5Cr-0.5Mo	1Cr5Mo	≤0.15	≤0.50	≤0.60
	A213-T5 (ASTM) AA335-P5 (ASTM)	≤0.15	≤0.50	0.30 ~ 0.60
7Cr-0.5Mo	A213-T7 (ASTM)	≤0.15	0.50	0.30 ~ 0.60
	A335-P7 (ASTM)		~1.0	
9Cr1-Mo	A213-T9 (ASTM)	≤0.15	0.25	0.30 ~ 0.60
	A335-P9 (ASTM)		~1.0	
9Cr1-MoV	A213-T91 (ASTM)	0.08 ~0.12	0.20 ~0.50	0.30 ~ 0.60
9Cr-1MoVNB	10Cr9Mo1VNB	0.08 ~0.12	0.30 ~0.50	0.30 ~ 0.60
5CrMoWVTiB	10Cr5MoWVTiB	0.07 ~0.12	0.40 ~0.70	0.40 ~ 0.70

表 1-22 常用中合金耐热钢的标准力学性能

钢种	钢号
5Cr-0.5Mo	1Cr5Mo A213-T5 (ASTM) AA335-P5 (ASTM)
7Cr-0.5Mo	A213-T7 (ASTM) A335-P7 (ASTM)
9Cr1-Mo	A213-T9 (ASTM) A335-P9 (ASTM)
9Cr1-MoV	A213-T91 (ASTM)
9Cr-1MoVNB	10Cr9Mo1VNB
5CrMoWVTiB	10Cr5MoWVTiB

化学成分(质量分数)(%)				
S	P	Cr	Mo	其他
≤ 0.030	≤ 0.035	4.0 ~ 6.0	0.45 ~ 0.60	
≤ 0.030	≤ 0.030	4.0 ~ 6.0	0.45 ~ 0.65	
≤ 0.030	≤ 0.030	6.0 ~ 8.0	0.45 ~ 0.65	
≤ 0.030	≤ 0.030	8.0 ~ 10.0	0.90 ~ 1.10	
≤ 0.010	≤ 0.020	8.0 ~ 9.50	0.85 ~ 1.05	V:0.18 ~ 0.25 Nb:0.06 ~ 0.10
≤ 0.010	≤ 0.020	8.0 ~ 9.50	0.85 ~ 1.05	V:0.18 ~ 0.25 Nb:0.06 ~ 0.10 N:0.03 ~ 0.07 Ni ≤ 0.40
≤ 0.030	≤ 0.030	4.5 ~ 6.0	0.48 ~ 0.65	V:0.20 ~ 0.33 Ti:0.16 ~ 0.24 W:0.20 ~ 0.40 B:0.008 ~ 0.014

拉伸力学性能			冲击吸收功 $A_{KV}/J(20^{\circ}C)$
σ_s/MPa	σ_b/MPa	$\delta_5(\%)$	
≥ 195	≥ 390	22	92
≥ 206	≥ 414	≥ 30	-
≥ 392	539 ~ 735	≥ 18	-
≥ 206	≥ 414	≥ 30	-
≥ 206	≥ 414	≥ 30	-
≥ 414	≥ 586	≥ 20	-
≥ 415	≥ 585	≥ 20	35

表 1-23 奥氏体不锈钢的化学成分

牌号	化学成分(质量分数)(%)			
	C	Si	Mn	S
0Cr18Ni9	≤ 0.07	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.030
1Cr18Ni9	≤ 0.15	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.030
1Cr18Ni9Ti	≤ 0.12	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.030
0Cr18Ni12Mo2Cu2	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.030
0Cr17Ni12Mo2	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.030
0Cr18Ni12Mo2Ti	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.030
1Cr18Ni12Mo2Ti	≤ 0.12	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.030
0Cr25Ni20	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.030

器等,在石油化工领域应用较广。

沉淀硬化不锈钢是在不锈钢中单独或复合添加硬化元素,通过热处理获得高强度、高韧性并具有良好的耐蚀性的一类不锈钢,通常作为耐磨、耐蚀、高强度结构件。

常用不锈钢的化学成分如表 1-23、表 1-24、表 1-25、表 1-26。

化学成分(质量分数)(%)				
P	Cr	Ni	Mo	其他
≤ 0.035	17.00 ~ 19.00	8.00 ~ 11.00	-	-
≤ 0.035	17.00 ~ 19.00	8.00 ~ 10.00	-	-
≤ 0.035	17.00 ~ 19.00	8.00 ~ 11.00	-	Ti = 5 × (C% - 0.02) ~ 0.08
≤ 0.035	17.00 ~ 19.00	10.00 ~ 14.00	1.20 ~ 2.75	Cu: 1.00 ~ 2.50
≤ 0.035	16.00 ~ 18.00	10.00 ~ 14.00	2.00 ~ 3.00	
≤ 0.035	16.00 ~ 19.00	11.00 ~ 14.00	1.80 ~ 2.50	Ti = 5 × C% ~ 0.07
≤ 0.035	16.00 ~ 19.00	11.00 ~ 14.00	1.80 ~ 2.50	Ti = 5 × (C% - 0.02) ~ 0.08
≤ 0.035	24.00 ~ 26.00	19.00 ~ 22.00	-	-

4. 铸铁的分类、牌号、性能和用途

铸铁是 $\omega(\text{C}) > 2.11\%$ 的铁碳合金, 工业上的铸铁实质上是以 Fe、C、Si 为主的多元合金。

按铸铁中碳的存在形式可分为:

白口铸铁: 其中碳以渗碳体的形式存在, 其断口呈现白色。常用于炼钢。

表 1-24 铁素体—奥氏体双相不锈钢的化学成分

牌号	化学成分(质量分数)(%)			
	C	Si	Mn	S
0Cr26Ni5Mo2	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 1.50	≤ 0.030
00Cr18Ni5Mo3Si2	≤ 0.03	1.30 ~ 2.00	1.00 ~ 2.00	≤ 0.030

表 1-25 铁素体不锈钢的化学成分

牌号	化学成分(质量分数)(%)			
	C	Si	Mn	S
0Cr13Al	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.030
00Cr12	≤ 0.030	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.030
1Cr15	≤ 0.12	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.030
1Cr17	≤ 0.12	≤ 0.75	≤ 1.00	≤ 0.030
1Cr17Mo	≤ 0.12	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.030
00Cr17Mo	≤ 0.025	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.030
00Cr18Mo2	≤ 0.025	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.030
00Cr30Mo2	≤ 0.010	≤ 0.40	≤ 0.40	≤ 0.020
00Cr27Mo	≤ 0.010	≤ 0.40	≤ 0.40	≤ 0.020

化学成分(质量分数)(%)				
P	Cr	Ni	Mo	其他
≤ 0.035	23.00 ~ 28.00	3.00 ~ 4.00	1.00 ~ 3.00	-
≤ 0.030	18.00 ~ 19.5	4.50 ~ 5.50	2.5 ~ 3.0	N ≤ 0.10

化学成分(质量分数)(%)			
P	Cr	Mo	其他
≤ 0.035	11.50 ~ 14.50	-	Al 0.10 ~ 0.30
≤ 0.035	11.00 ~ 13.50	-	-
≤ 0.035	14.00 ~ 16.00	-	-
≤ 0.035	16.00 ~ 18.00	-	-
≤ 0.035	16.00 ~ 18.00	0.75 ~ 1.25	-
≤ 0.035	16.00 ~ 19.00	0.75 ~ 1.25	N ≤ 0.025 Ti, Nb, Zr = $8 \times$ (C% + N%) - 0.8
≤ 0.035	17.00 ~ 20.00	1.75 ~ 2.25	N ≤ 0.025 Ti, Nb, Zr = $8 \times$ (C% + N%) - 0.8
≤ 0.030	28.00 ~ 32.00	1.50 ~ 2.50	N ≤ 0.015
≤ 0.030	25.00 ~ 27.50	0.75 ~ 1.50	N ≤ 0.015

表 1-26 马氏体不锈钢的化学成分

牌号	化学成分(质量分数)(%)			
	C	Si	Mn	S
1Cr12	≤ 0.15	≤ 0.50	≤ 1.00	≤ 0.030
0Cr13	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.030
1Cr13	≤ 0.15	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.030
2Cr13	0.16 ~ 0.25	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.030
3Cr13	0.26 ~ 0.35	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.030
4Cr13	0.36 ~ 0.45	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.030
3Cr16	0.25 ~ 0.40	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.030
7Cr17	0.60 ~ 0.75	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.030

灰口铸铁:其中碳以石墨的形式存在,断口呈灰色。

麻口铸铁:碳以石墨和渗碳体的形式共同存在。

灰口铸铁显微状态下的组织可以看作是钢的基体加石墨所组成,按石墨的形态不同划分。

(1)灰铸铁。其中的碳以片状石墨存在于珠光体或铁素体或二者按不同比例混合的基体组织中,其不同的数量、长短及粗细分布于基体中,对灰铸铁的性能产生很大的影响。

常用灰铸铁的化学成分质量分数见表 1-27。

表 1-27 常用灰铸铁的化学成分

化学成分 元素符号	C	Si	Mn	S	P
质量分数 (%)	2.6 ~ 3.8	1.2 ~ 3.0	0.4 ~ 1.2	≤ 0.4	≤ 0.15

化学成分(质量分数)(%)			
P	Cr	-	其他
≤0.035	11.50 ~ 13.00	-	-
≤0.035	11.50 ~ 13.00	-	-
≤0.035	11.50 ~ 13.00	-	-
≤0.035	12.00 ~ 14.00	-	-
≤0.035	12.00 ~ 14.00	-	-
≤0.035	12.00 ~ 14.00	-	-
≤0.035	15.00 ~ 17.00	-	-
≤0.035	16.00 ~ 18.00	-	-

表 1-28 灰铸铁的力学性能和用途

牌号	抗拉强度 /MPa ≥	主要用途
HT100	100	适用于负荷小,对摩擦、磨损无特殊要求的零件,如盖、油盘、支架、手轮
HT150	150	适用于承受中等负荷的零件,如机床支柱、底座、刀架、齿轮箱、轴承座
HT200	200	适用于承受较大负荷的零件,如机床床身、立柱、汽车缸体、缸盖、轮毂、联轴器、油缸、齿轮、飞轮
HT250	250	
HT300	300	适用于承受高负荷的重要零件,如齿轮、凸轮、大型发电机曲轴、缸体、缸套、缸盖、高压油缸、阀体、泵体
HT350	350	

牌号中 HT 表示灰铸铁,是“灰铁”二字的汉语拼音的字头,随后的数字表示以 MPa 为单位的抗拉强度,基本上无塑性和韧性。其力学性能如表 1-28 所示。

(2)可锻铸铁。是由一定成分白口铸铁经高温退火处理使其渗碳体分解而形成团絮状石墨,然后通过热处理可使其基体组织为珠光体或铁素体。

常见的可锻铸铁的化学成分见表 1-29。

由于其石墨形态的改善,具有了较高的强度,还有一定的塑性和韧性。其力学性能如表 1-30 所示。

表 1-30 可锻铸铁的力学性能

牌号	$\sigma_b/\text{MPa} \geq$	$\sigma_{0.2}/\text{MPa} \geq$	$\delta(\%) \geq$ $L_0 = 3d$
KTH300-06	300		6
KTH330-08	330		8
KTH350-10	350	200	10
KTH370-12	370		12
KTZ450-06	450	270	6
KTZ550-04	550	340	4
KTZ650-02	650	430	2
KTZ700-02	700	530	2

表 1-29 常用可锻铸铁的化学成分

化学成分 元素符号	C	Si	Mn	S	P
质量分数(%)	2.2 ~ 3.0	0.7 ~ 1.4	0.3 ~ 0.65	≤0.2	≤0.2

(3)球墨铸铁。其正常组织是细小圆整的球状石墨加金属基体,它是在浇注时往高温铁水中加入适量球化剂后,使石墨成为球状而形成的,金属基体通常是铁素体加珠光体的混合组织。常见球墨铸铁的力学性能如表 1-31。

HBS	用 途
≤150	适用于动载和静载且要求气密性好的零件,如管道配、中低压阀门
≤150	适用于中等动载和静载的零件,如机床用扳手、车轮壳、钢丝绳接头
≤150	适用承受较高的冲击、振动及扭转负荷下工作的零件,如汽车上的差速器壳、前后轮壳、制动器
≤150	
150 ~ 200	适于承受较高载荷、耐磨损且要求有一定韧性的重要零件,如曲轴、凸轮轴、连杆、齿轮、活塞环、摇臂、扳手
180 ~ 250	
210 ~ 260	
240 ~ 290	

表 1-31 球墨铸铁的力学性能

牌号	$\sigma_b/\text{MPa} \geq$	$\sigma_{0.2}/\text{MPa} \geq$	$\delta(\%) \geq$	HBS
QT400-18	400	250	18	130 ~ 180
QT400-15	400	250	15	130 ~ 180
QT450-10	450	310	10	160 ~ 210
QT500-7	500	320	7	170 ~ 230
QT600-3	600	370	3	190 ~ 270
QT700-2	700	420	2	225 ~ 305
QT800-2	800	480	2	245 ~ 335
QT900-2	900	600	2	280 ~ 360

(4) 蠕墨铸铁。是蠕虫状石墨铸铁的简称,其中石墨以蠕虫状存在,与片状石墨的不同之处在于头部较圆,长度与厚度之比为 2 : 10,比片状石墨小得多。制造时通过在高温

表 1-32 蠕墨铸铁的力学性能

牌号	$\sigma_b/\text{MPa} \geq$	$\sigma_{0.2}/\text{MPa} \geq$	$\delta(\%) \geq$	HBS
RUT420	420	335	0.75	200 ~ 280
RUT380	380	300	0.75	193 ~ 274
RUT340	340	270	1.0	170 ~ 249
RUT300	300	240	1.5	140 ~ 217
RUT260	260	195	3	121 ~ 197

主要基体组织	用 途
铁素体	汽车轮毂、驱动桥壳体、变速器壳体、离合器壳、拨叉、阀体、阀盖
铁素体	
铁素体	
铁素体 + 珠光体	内燃机的机油泵齿轮、铁路车辆轴瓦、飞轮
珠光体 + 铁素体	柴油机曲轴, 轻型柴油机凸轮轴, 连杆, 汽缸套, 进排气门座; 磨床、铣床、车床主轴, 矿车车轮
珠光体	
珠光体或回火组织	
贝氏体或回火索氏体	汽车锥齿轮、转向节、传动轴、内燃机曲轴、凸轮轴

铁水中加入适量的蠕化剂处理后而获得, 其力学性能如表 1-32 所示。

主要基体组织	用 途
珠光体	适于制造要求强度或耐磨性高的零件, 如活塞、制动盘、制动鼓、玻璃模具
珠光体	
珠光体 + 铁素体	适于制造要求较高强度、刚度和耐磨的零件, 如飞轮、制动鼓、玻璃模具
珠光体 + 铁素体	适于制造要求较高强度及承受热疲劳的零件, 如排气管、汽缸盖、液压件、钢锭模
铁素体	适于承受冲击负荷及热疲劳的零件, 如汽车的底盘零件、增压器、废气进气壳体

表 1-33 纯铜的牌号、化学成分和用途

组别	牌号	代号	化学成分(质量分数)(%)		
			主要成分		
			Cu 不大于	P	Mn
纯铜	C11000	T ₁	99.95	-	-
		T ₂	99.90	-	-
	C13000	T ₃	99.70	-	-
		T ₄	99.50	-	-
无氧铜	C10200	TU ₁	99.97	-	-
		TU ₂	99.95	-	-
	C12200	TUP	99.50	0.01 ~ 0.04	-
		TUMn	99.60	-	0.1 ~ 0.3

5. 有色金属的分类、牌号、成分、性能和用途

通常把铁及其合金称为黑色金属,而把黑色金属以外的金属称为有色金属。其中密度小于 3.5 的称为轻有色金属;密度大于 3.5 的称为重有色金属。有色金属由于具有许多特殊的性能,如导热性和导电性好、密度和熔点较低、力学性能和工艺性能良好,所以应用也较广。常用的有色金属有:铜及其合金、铝及其合金、镁及其合金、钛及其合金和轴承合金。

(1) 铜及其合金。纯铜呈紫红色,又称紫铜。导电性和导热性良好,塑性极好,易于冷热压力加工,在大气及淡水中有良好的抗蚀性能。

杂质不大于						用途
Bi	Pb	S	P	O	总和	
0.002	0.005	0.005	0.001	0.02	0.05	电线、电缆雷管
0.002	0.005	0.005		0.06	0.1	导电用铜材,冷凝管
0.002	0.01	0.01		0.1	0.3	一般用铜材,如 电气开关,散热片
0.003	0.05	0.01		0.1	0.5	一般用铜材,输 电管道
0.002	0.005	0.005	0.003	0.003	0.03	电真空器件用铜件
0.002	0.005	0.005	0.003	0.003	0.05	电真空器件用铜件
0.003	0.01	0.01		0.01	0.49	焊接等用铜材
0.002	0.005	0.005	0.003		0.30	电子管的脚栅 极支杆

常见的铜加工产品如表 1-33 所示。

工业上广泛使用的是铜合金。常用的铜合金有黄铜、青铜和白铜三类。

黄铜原指由铜和锌组成的二元合金,具有比纯铜高得多的强度、硬度和耐腐蚀性,并有一定的塑性,能承受冷、热加工。按化学成分的不同又可分为普通黄铜和特殊黄铜。特殊黄铜是在普通黄铜中加入其他合金元素所组成的合金,常加入的合金元素有 Sn、Si、Mn、Pb、Al,提高了黄铜的强度、耐蚀性和机加工性能,但焊接性下降。

青铜实际上是除铜—锌、铜—镍合金以外的所有铜基合金的统称,如锡青铜、铝青铜、硅青铜、铍青铜等。它广泛

用作耐蚀性的机械结构材料、铸件材料和堆焊材料。

白铜是铜和镍的合金。作为一种高耐蚀性能结构材料广泛应用于化工、海水工程中。具有较好的综合力学性能

表 1-34 常用铜合金的化学成分和应用范围

材料名称	牌号	化学成分(质量分数)(%)		
		Cu	其他	
黄铜	普通黄铜	H90	88.0 ~ 91.0	余量 Zn
		H68	67.0 ~ 70.0	余量 Zn
		H62	60.5 ~ 63.5	余量 Zn
		H59	57.0 ~ 60.0	余量 Zn
	特殊黄铜	HPb59-1	57.0 ~ 60.0	0.8 ~ 1.9Pb, 余量 Zn
		HSn90-1	88.0 ~ 91.0	0.25 ~ 0.75Sn, 余量 Zn
		HMn58-2	57.0 ~ 60.0	1.0 ~ 2.0Mn, 余量 Zn
		HA159-3-2	57.0 ~ 60.0	2.5 ~ 3.5Al, 2.0 ~ 3.0Ni, 余量 Zn
		HSi80-3	79.0 ~ 81.0	2.5 ~ 4.0Si, 余量 Zn
	铸造黄铜	ZHAlFeMn 66-6-3-2	64 ~ 68	3 ~ 4 Mn, 2 ~ 4 Fe, 余量 Zn
		ZHMnFe 55-3-1	33 ~ 68	0.5 ~ 1.5Fe, 杂质 ≤ 2.0, 余量为 Zn
		ZHSi80-3	79 ~ 81	2.5 ~ 4.5Si, 1.5 ~ 2.5Mn, 余量 Zn
		ZHMn 58-2-2	57 ~ 60	1.5 ~ 2.5Pb, 杂质 ≤ 2.5, 余量 Zn

和焊接工艺性能。

表 1-34 列出常见的铜合金的化学成分,用途及力学性能。

力学性能			用 途
σ_b /MPa	δ /%	HBS	
260/480 ^①	45/4	53/130	双金属片、供水和排水管、艺术品、徽章
320/660	55/3	/150	复杂的冲压件、散热器外壳、波纹管、轴套、弹壳
330/600	49/3	56/140	销钉、铆钉、螺钉、螺母、垫圈、夹线板、弹簧
400/650	45/16	44/80	热冲压及切削加工零件,如销、螺钉、螺母、轴套
280/520	45/5	/82	船舶零件、汽车和拖拉机的弹性套管
400/700	40/10	85/175	弱电电路用的零件
380/650	50/15	75/155	船舶、电动机及其他在常温下工作的高强度、耐蚀零件
300/600	58/4	90/110	船舶零件,蒸汽 < 265℃ 条件下工作的零件
—	—	—	重载螺帽,大型蜗杆配件、衬套、轴承
—	—	—	形状不复杂的重要零件、海轮配件
245/295	10/15	100/110	铸造配件、齿轮等
—	—	—	轴承、衬套和其他耐磨零件

材料名称	牌号	化学成分(质量分数)(%)		
		Cu	其他	
青铜	压力加工青铜	QSn6.5-0.4	余量	6.0~7.0Sn, 杂质 \leq 0.1
		QA19-2	余量	8.0~10.0Al, 1.5~2.5Mn, 杂质 \leq 1.7
		QBe2.5	余量	2.3~2.6Be
		QSi3-1	余量	2.75~3.5Si, 1.0~1.5Mn
	铸造青铜	ZQSnP10-1	余量	9~11Sn, 0.3~1.2P
		ZQSnZnPb6-6-3	余量	5~7Zn, 5~7Sn, 2~4Pb
		ZQAlMn9-2	余量	8~10Sn, 8~10Al, 1.5~2.5Mn, 杂质 \leq 2.8
		ZQAlFe9-4	余量	8~10Al, 2~4Fe 杂质 \leq 2.7
	白铜	B10	余量	9~11Ni, 0.5~1.0Mn, 0.5~1.0Fe 杂质 \leq 0.5
B30		余量	29~33(Ni + Co)	

注:①上表中的力学性能指标为在软态和硬态下测量出的两组值。

(2) 铝及其合金。铝及铝合金具有优异的物理特性和力学性能,其密度低、比强度高、导热能力和导电能力强,耐

续表

力学性能			用途
σ_b /MPa	δ /%	HBS	
350/700	60/7.5	70/160	造纸工业用铜网、弹簧和耐蚀零件
441/588	20/4	80/160	船舶和电气设备零件
500/850	3/40	84/247	重要弹簧及其零件和高速、高压、高温工作的齿轮
370/700	3/55	80/180	弹簧和耐蚀零件
—	—	—	重要轴承、齿轮、套圈
—	—	—	耐磨零件
390 440	20/20	85/95	海船制造业中铸造简单的大型铸件等
490/784	40/5	110/160	重型重要零件
—	—	—	—
392/468	23/4	60/100	海船和船舶电气工业用的冷凝管

蚀能力强,广泛用于机械、电力、化工、轻工、航空、航天、铁道、舰船、车辆等工业部门内。铝及铝合金按成材方

式可分为变形铝及铝合金和铸造铝合金。

按合金化系列,铝及铝合金可分为1×××系(工业纯铝)、2×××系(铝—铜)、3×××系(铝—锰)、4×××系(铝—硅)、5×××系(铝—镁)、6×××系(铝—镁—硅)、7×××系(铝—锌—镁—铜)、8×××系(其他)等八类合金。按强化方式,可分为热处理不能强化铝及铝合金和热处理强化铝合金。前者可变形强化,后者既可热处理强化,亦可变形强化。常用铝及铝合金的牌号,主要化学成分及用途如表1-35、表1-36、表1-37:

表 1-36 常用变形铝合金的牌号、力学性能和用途

类别	原牌号	新牌号	半成品种类	状态 ^①
防锈铝合金	LF2	5A02	冷轧板材 热轧板材 挤压板材	0 H112 0
	LF21	3A21	冷轧板材 热轧板材 挤制厚壁管材	0 H112 H112
硬铝合金	LY11	2A11	冷轧板材(包铝) 挤压棒材 拉挤制管材	0 T4 0
	LY12	2A12	冷轧板材(包铝) 挤压棒材 拉挤制管材	T4 T4 0
	LY8	2B11	铆钉线材	T4

注①:状态符号采用 GB/T16475-1996 规定代号:0 —— 退火,T4 —— 淬火 + 自然时效,T6 —— 淬火 + 人工时效,H112 —— 热加工。

表 1-35 工业纯铝的牌号、化学成分和用途

旧牌号	新牌号	化学成分 (质量分数)(%)		用途
		Al	杂质总量	
L1	1070	99.70	0.3	垫片、电容、电子管隔离罩、电缆、导体和装饰件
L2	1060	99.60	0.4	
L3	1050	99.50	0.5	
L4	1035	99.00	1.00	
L5	1200	99.00	1.00	不受力而具有某种特性的零件,如电线保护导管、通信系统的零件、垫片和装饰件

力学性能		用途举例
σ_b /MPa	δ /%	
167 ~ 226 117 ~ 157 ≤ 226	16 ~ 18 7 ~ 6 10	在液体中工作的中等强度的焊接件、冷冲压件、容器、骨架零件等
98 ~ 147 108 ~ 118 ≤ 167	18 ~ 20 15 ~ 12 —	要求良好的可塑性和良好的焊接性、在液体或气体介质中工作的低载荷零件,如油箱、油管、液体容器、饮料罐等
226 ~ 235 353 ~ 373 ≤ 245	12 10 ~ 12 10	用作各种要求中等强度的零件和构件、冲压的连接部件、空气螺旋桨叶片、局部镦粗的零件
407 ~ 427 255 ~ 275 ≤ 245	10 ~ 13 8 ~ 12 10	用量最大。用作各种要求高载荷的零件和构件(不包括冲压件和锻件),如飞机上的骨架零件、蒙皮、翼梁、铆钉等 150℃以下工作的零件
J225	—	主要用作铆钉材料

类别	原牌号	新牌号	半成品种类	状态
超硬铝合金	LC3	7A03	铆钉线材	T6
	LC4	7A04	冷轧板材	T6
	LC9	7A09	热轧板材 挤压板材	0 T6
锻铝合金	LD5	2A50	挤压棒材	T6
	LD7	2A70	挤压棒材	T6
	LD8	2A80	挤压棒材	T6
	LD10	2A14	热轧板材	T6

表 1-37 铸造铝合金化学成分

序号	合金牌号	合金代号		
			Si	Cu
1	ZAlSi7Mg	ZL101	6.5 ~ 7.5	
2	ZAlSi7MgA	ZL101A	6.5 ~ 7.5	
3	ZAlSi12	ZL102	10.0 ~ 13.0	
4	ZAlSi9Mg	ZL104	8.0 ~ 10.5	
5	ZAlSi5Cu1Mg	ZL105	4.5 ~ 5.5	1.0 ~ 1.5
6	ZAlSi5Cu1MgA	ZL105A	4.5 ~ 5.5	1.0 ~ 1.5
7	ZAlCu5Mn	ZL201		4.5 ~ 5.3
8	ZAlCu4	ZL203		4.0 ~ 5.0
9	ZAlMg10	ZL301		
10	ZAlMg5Si1	ZL303	0.8 ~ 1.3	
11	ZAlZn11Si7	ZL401	6.0 ~ 8.0	

续表

力学性能		用途举例
σ_b /MPa	δ /%	
J284	—	受力结构的铆钉
490 ~ 510 240 490	5 ~ 7 10 3 ~ 6	用作承力构件的高载荷零件, 如飞机上的大梁、桁条、加强框、蒙皮、翼肋、起落架零件等, 通常多用以取代 2A12
353 353 441 ~ 432	12 8 8 ~ 10	用作形状复杂和中等强度的锻件和冲压件, 如内燃机活塞、压气机叶片、叶轮、圆盘及其他在高温下工作的复杂锻件
432	5	高负荷和形状简单的锻件和模锻件

主要元素(质量分数)(%)

Mg	Zn	Mn	Ti	Al
0.25 ~ 0.45				余量
0.25 ~ 0.45			0.08 ~ 0.20	余量
				余量
0.17 ~ 0.35		0.2 ~ 0.5		余量
0.40 ~ 0.60				余量
0.40 ~ 0.55				余量
		0.6 ~ 1.0	0.15 ~ 0.35	余量
				余量
9.5 ~ 11.0				余量
4.5 ~ 5.5		0.1 ~ 0.4		余量
0.1 ~ 0.3	9.0 ~ 13.0			余量

(3) 镁及镁合金。镁是一种比铝还轻的有色金属,强度低,常以合金形式使用,而具有较高的强度和刚度,并具有高的抗振能力,能承受比铝合金还大的冲击载荷,还具有优良的切削加工性能,易于铸造和锻造,在航天、航空、光学仪器、无线电技术等工业部门应用较多。其主要缺点是在潮湿大气中耐腐蚀性能差,缺口敏感性大。镁在水及大多数酸盐溶液中易遭腐蚀。工业上用的纯镁力学性能如表 1-38 所示。

镁的合金有铸造镁合金(用牌号 ZM 表示)和变形镁合金(用牌号 MB 表示)。常见牌号、主要成分和力学性能见表 1-39 和表 1-40、表 1-41。

表 1-38 工业纯镁的力学性能

状态	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ /%	ψ (%)	HB
铸态	115	25	8.0	9	3.0
变形状态	200	90	11.5	12.5	36.0

表 1-39 变形镁合金的牌号及主要成分(质量分数)(%)

牌号	Al	Zn	Mn	Ce	Zr
MB ₁	-	-	1.3 ~ 2.5	-	-
MB ₂	3.0 ~ 4.0	0.2 ~ 0.8	0.15 ~ 0.5	-	-
MB ₃	4.0 ~ 5.0	0.8 ~ 1.5	0.4 ~ 0.8	-	-
MB ₄	5.5 ~ 7.0	0.5 ~ 1.5	0.15 ~ 0.5	-	-
MB ₆	5.0 ~ 7.0	2.0 ~ 3.0	0.20 ~ 0.50	-	-
MB ₇	7.8 ~ 9.2	0.2 ~ 0.8	0.15 ~ 0.5	-	-
MB ₈	-	-	1.5 ~ 2.5	0.15 ~ 0.35	-
MB ₁₅	-	5.0 ~ 6.0	-	-	0.30 ~ 0.90

表 1-40 Mg-Al-Zn 系变形镁合金的力学性能

牌号	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ /%	HB	状 态
MB ₁	290	-	7.0	55	热挤棒(R)
	300	-	10.0	55	淬火处理(T ₄)棒材
MB ₂	240	130	12.0	45	0.8~3.0mm 退火板(M)
MB ₅	250	150	12.0	-	0.8~3.0mm 退火板(M)
	200	110	5.0	-	模锻铁(R)
MB ₅	260	-	5.0	50	锻件,模锻件,退火(M)
MB ₇	300	-	8.0	55	淬火处理(T ₄)棒材

(4) 钛及钛合金。纯钛是银白色的金属,密度小,熔点高,热膨胀系数小。塑性好,强度低,容易加工成形;在 550℃ 以下具有很好的抗腐蚀性,不易氧化,在海水和水蒸汽中的抗腐蚀能力比铝合金、不锈钢和镍合金高。钛有同素异构现象,在 882℃ 以下为 α -钛,为密排六方晶格,在 882℃ 以上为体心立方晶格,称为 β -钛。工业纯钛的牌号、力学性能和用途如表 1-42、表 1-43 所示。

表 1-41 铸造镁合金的主要成分和高低温力学性能

牌号	主要成分(质量分数)(%)			
	Zn	Zr	Mn	RE
ZM ₁	3.5 ~ 5.5	0.5 ~ 1.0	-	-
ZM ₂	3.5 ~ 5.0	0.5 ~ 1.0	-	0.7 ~ 1.7
ZM ₃	0.2 ~ 0.7	0.4 ~ 1.0	-	2.5 ~ 4.0
ZM ₄	0.2 ~ 3.0	0.5 ~ 1.0	-	2.5 ~ 4.0
ZM ₅	0.2 ~ 0.8	-	0.15 ~ 0.5	-
ZM ₆	0.2 ~ 0.7	0.4 ~ 1.0	-	-
ZM ₈	5.5 ~ 6.5	-	-	2.0 ~ 3.0
ZM ₉	Mg-Y-Zn-Zr 系			

表 1-42 工业纯钛的牌号、力学性能和用途

牌号	材料状态	力学性能(退火状态)			用途
		σ_b /MPa	δ_5 /%	α_k /J/cm ²	
TA1	板材	350 ~ 500	30 ~ 40	-	航空:飞机骨架、发动机部件。化工:热交换器、泵体、搅拌器。造船:耐海水腐蚀的管道、阀门、泵、柴油发动机活塞、连杆。机械:低于 350℃ 条件下工作且受力较小的零件
	棒材	343	25	80	
TA2	板材	450 ~ 600	25 ~ 30	-	
	棒材	441	20	75	
TA3	板材	550 ~ 700	20 ~ 25	-	
	棒材	539	15	50	

		20℃		250℃	
Nd	Al	σ_b /MPa	δ /%	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa
-	-	240	5.0	-	-
-	-	220	4.0	-	-
-	-	145	3.0	145	25
-	-	150	4.0	130	30
-	7.5~9.0	230	5(2)	-	-
2.0~3.0	-	260	5.0	170	38
-	-	310	9.5	-	-
		220	8.0	140	51

表 1-43 常用钛合金的牌号、力学性能和用途

牌号	力学性能 (退火状态)		用途
	σ_b /MPa	δ_5 /%	
TA5	686	15	与 TA1 和 TA2 等用途相似
TA6	686	20	飞机骨架、气压泵壳体、叶片、温度小于 400℃ 环境下工作的焊接零件
TA7	785	20	温度小于 500℃ 环境下工作的零件和各种模锻件

续表

牌号	力学性能 (退火状态)		用途
	σ_b /MPa	δ_5 /%	
TC1	588	25	低于 400℃ 环境下工作的 冲压件和焊接零件
TC2	686	15	低于 500℃ 环境下工作的 焊接零件模锻件
TC4	902	12	低于 400℃ 环境下长期工 作的零件,各种锻件、各种容器、 泵、坦克履带、船舰耐压壳体
TC6	981	10	低于 350℃ 环境下工作的零件
TC10	1059	10	低于 450℃ 环境下长期工 作的零件,如飞机结构件、导弹 发动机外壳、武器结构件

二、焊缝符号及装配图











1. 焊缝符号和焊接方法代号

焊缝符号是一种工程语言,用于在图样上标注焊缝形式、焊缝尺寸和焊接方法,其表示方法有一套完整的体系,就是国标《GB/T 324-1988》。

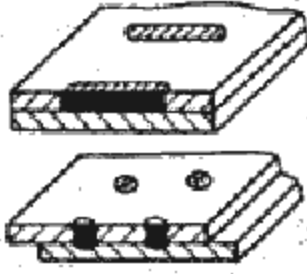

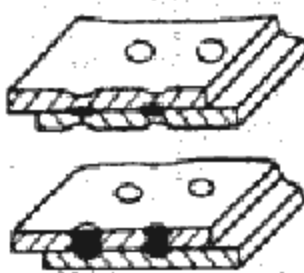

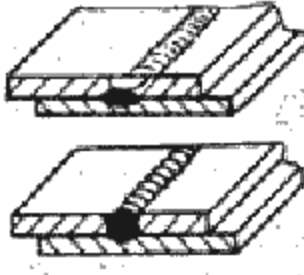

焊缝符号一般由基本符号和指引线组成,必要时还可加上辅助符号、补充符号和焊缝尺寸符号。

(1) 基本符号。表示焊缝横截面形状的符号,具体见表 1-44。

表 1-44 焊缝基本符号

序号	名称	示意图	符号
1	卷边焊缝		∩
2	I型焊缝		
3	V型焊缝		V
4	单边 V型焊缝		∇
5	带钝边 V型焊缝		Y
6	带钝边单边 V型焊缝		∇
7	带钝边 U型焊缝		∪
8	带钝边 J型焊缝		└
9	封底焊缝		⊔
10	角焊缝		△

续表

序号	名称	示意图	符号
11	塞焊缝或槽焊缝		
12	点焊缝		
13	缝焊缝		

(2) 指引线。一般由带有箭头的直线和两条基准线(一条为实线,另一条为虚线)组成(图1-1)。基准线一般应与图样的底边相平行。基本符号标在基准线上,为确切表示焊缝的位置,基本符号对基准线的位置规定为:焊缝在接头的箭头侧,基本符号应标在基准线的实线侧(图1-2a);焊缝在接头的非箭头侧,基本符号应标在基准线的虚线侧(图1-2b);而对称焊缝和双面焊缝标注时不加虚线。

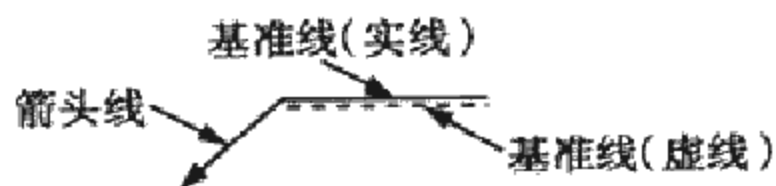


图 1-1 指引线

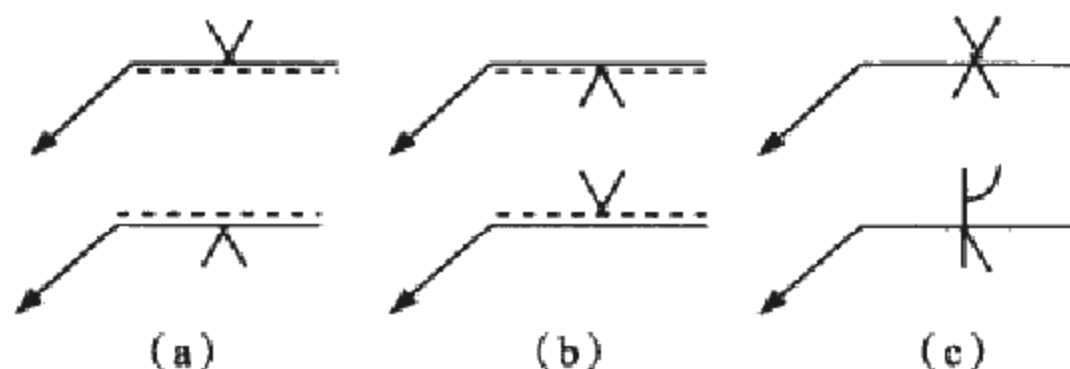



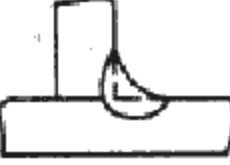

图 1-2 基本符号相对基准线的位置

(a)焊缝在接头的箭头侧 (b)焊缝在接头的非箭头侧

(c)对称焊缝和双面焊缝


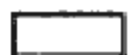
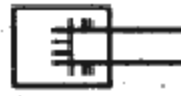

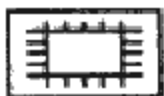



(3) 辅助符号。它是表示焊缝表面形状特征的符号。有三种,分别表示焊缝表面平齐、凹陷、凸起三种特征。如表 1-45 一般情况下不标。

表 1-45 焊缝辅助符号

序号	名称	示意图	符号	说明
1	平面符号		—	焊缝表面齐平
2	凹面符号		⌒	焊缝表面凹陷
3	凸面符号		⌒	焊缝表面凸起

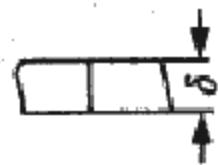
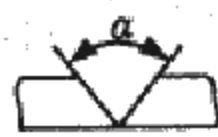
(4) 补充符号。是为了补充说明焊缝的某些特征而采用的符号。见表 1-46。

表 1-46 焊缝补充符号

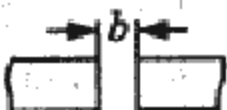
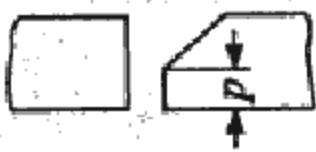
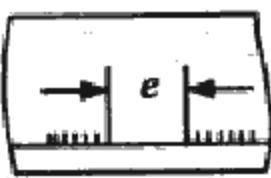
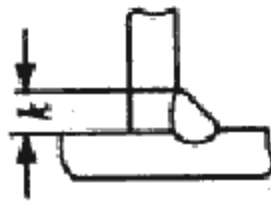
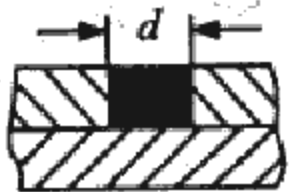
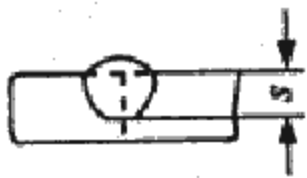
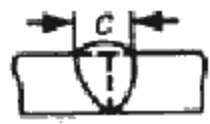

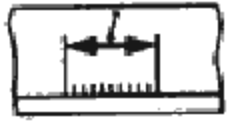
序号	名称	示意图	符号	说明
1	带垫板符号			表示焊缝底部有垫板
2	三面焊缝符号			表示三面带有焊缝
3	周围焊缝符号			表示环绕工件周围焊缝
4	现场符号			表示在现场或工地上进行施工
5	尾部符号			可标注焊接方法或其他内容

(5) 焊缝尺寸符号。是表示焊缝基本符号的尺寸大小的。见表 1-47。


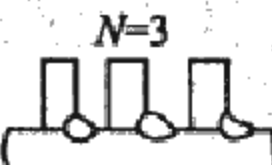
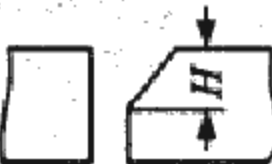


表 1-47 焊缝尺寸符号

符号	名称	示意图
δ	工件厚度	
α	坡口角度	

续表

符号	名称	示意图
b	根部间隙	
P	钝边	
e	焊缝间距	
K	焊角尺寸	
d	熔核直径	
s	焊缝有效厚度	
C	焊缝宽度	
R	根部半径	
l	焊缝长度	

续表

符号	名称	示意图
n	焊缝段数	
N	相同焊缝数量符号	
H	坡口深度	
h	余高	
β	坡口面角度	

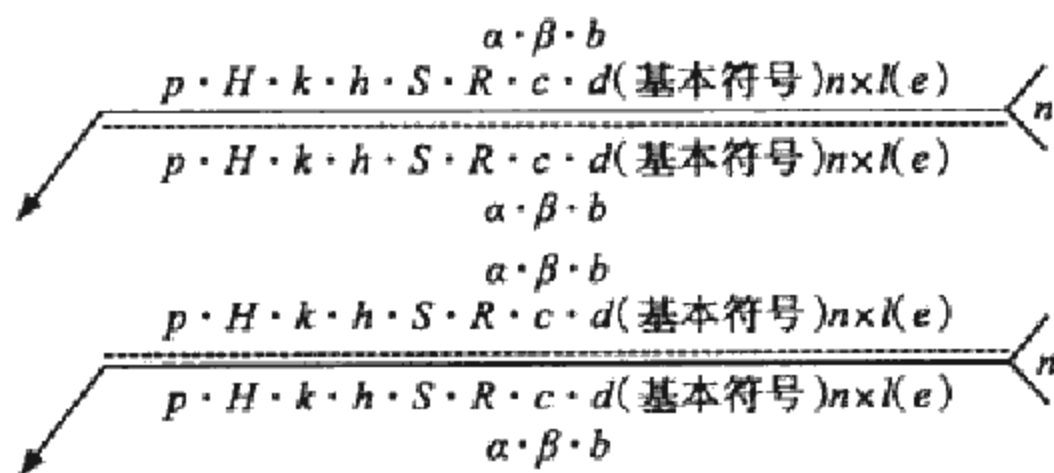


图 1-3 焊缝尺寸的标注原则

其标注原则说明如下:见图 1-3。

焊缝横截面上的尺寸标在基本符号的左侧;

焊缝长度方向尺寸标在基本符号的右侧;

坡口角度、坡口面角度、根部间隙等尺寸标在基本符号的上侧或下侧;

相同焊缝数量符号标在尾部;

当需要标注尺寸数据较多又不易分辨时,可在数据前面加上相应的尺寸符号;

确定焊缝位置的尺寸不在焊缝符号中给出,而是将其标注在图样上;

在基本符号的右侧无任何标注且又无其他说明时,表示对接焊缝要完全焊透;

在基本符号左侧无任何标注且无其他说明时,表明对接焊缝要完全焊透。

(6) 焊接方法代号。如表 1-48 所示。

表 1-48 常用焊接方法代号

焊接方法名称	GB/T 5185-1985
焊条电弧焊(手弧焊)	111
埋弧焊	12
熔化极惰性气体保护焊(MIG)	131
熔化极非惰性气体保护焊(MAG)	135
非熔化极气体保护焊(TIG)	141
气焊	3
氧—乙炔焊	311
点焊	21
电渣焊	72

续表

焊接方法名称	GB/T 5185-1985
电阻对焊	25
缝焊	22
凸焊	23
压焊	4
电子束焊	76
等离子弧焊	15
钎焊	9

2. 焊接装配图

是指实际生产中的产品零部件或组件的工作图。它必须清楚反映出与焊接有关的问题,如坡口与接头形式、焊接方法、焊材型号和焊接及验收技术要求。

图中常涉及一定的焊接工艺文件,如:典型的工件制造的工艺守则、焊接的工艺守则、施焊的工艺评定编号。

三、焊接接头和焊接坡口

1. 焊接接头的种类

焊接接头是指用焊接方法连接的接头,它主要由焊缝、熔合区和热影响区组成。它具有不同的接头和坡口形式,以适用不同焊件的厚度、结构形状和使用条件。根据 GB/T 3375-1994 标准的规定,焊接接头的形式有对接接头、T形接头、角接头、搭接接头、十字接头、端接接头、套管接头、卷边接头、锁底接头、槽焊及塞焊搭接接头等。常用的接头形式有对接接头、T形接头、角接头和搭接接头四种。如图 1-4 所示。

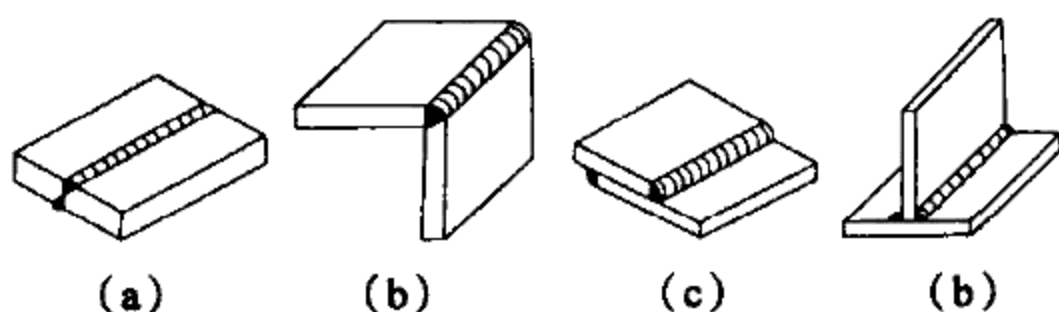


图 1-4 焊接接头的基本类型

(a)对接接头 (b)角接头 (c)搭接接头 (d)T形接头

(1)对接接头。是两焊件表面构成大于或等于 135° ，小于或等于 180° 夹角的接头。是在焊接结构中应用最多的一种接头形式。按焊件厚度和坡口准备的不同，对接接头一般有 I 形坡口、V 形坡口、双 V 形坡口、单 U 形坡口和带钝边双 U 形坡口、J 形坡口等几种形式。

(2)T 形接头。是一焊件的端面与另一焊件表面构成直角或近似直角的接头，在焊接结构中也被广泛采用，特别是造船厂的船体结构中，常用的有 I 形、单边 V 形、双单边 V 形及带钝边双 J 形坡口四种形式。

(3)角接头。两焊件端面间构成大于 30° ，小于 135° 夹角的接头叫角接头。一般用于不重要的焊接结构中。可分为 I 形、单边 V 形、V 形及双单边 V 形坡口四种形式。但开坡口的角接形式在一般结构中应用较少。

(4)搭接接头。是两焊件部分重叠构成的接头。根据结构形式和对强度的要求不同，搭接接头又可分为 I 形坡口、塞焊、内角焊等几种形式，特适用于被焊结构狭小处以及密闭的焊接结构。

2. 焊接坡口

根据设计或工艺需要，在焊件的待焊部位加工成一定几何形状并经装配后构成的沟槽称坡口。

坡口的作用是为了保证焊缝根部焊透，保证焊接质量和连接强度，同时调整母材金属与填充金属的比例。

(1) 坡口的几何尺寸

1) 坡口面 焊件上的坡口表面叫坡口面,如图 1-5。

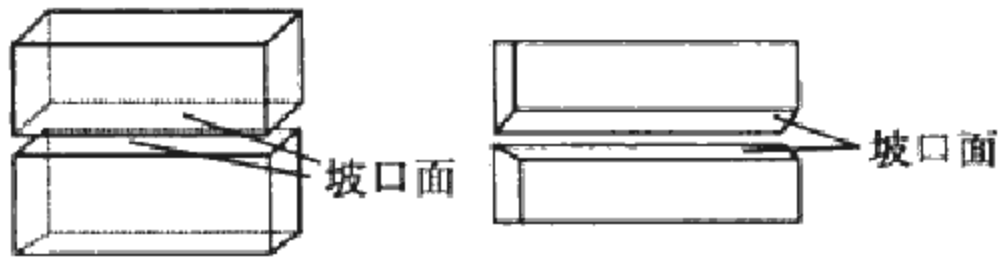


图 1-5 坡口面

2) 坡口角度 两坡口面之间的夹角称为坡口角度,用符号 α 表示,如表 1-47。

3) 坡口面角度 焊件表面待加工的垂直面与坡口面之间的夹角叫坡口面角度,用符号 β 表示,见表 1-47。

表 1-49 焊缝坡口的基本形式与尺寸


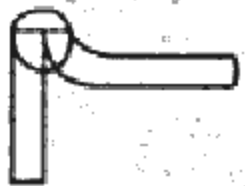



序号	工件厚度/mm	名称	符号	坡口形式
1	1~2	卷边焊缝		
2	1~3	I形坡口		
	3~6			
3	2~4	I形带垫板坡口		

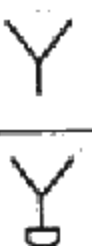
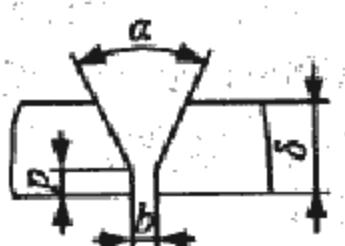

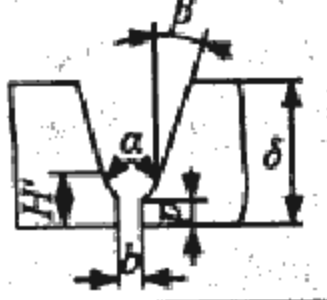

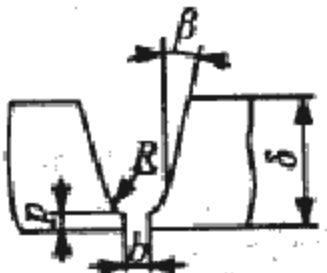

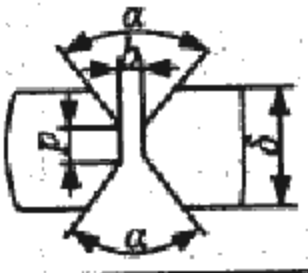

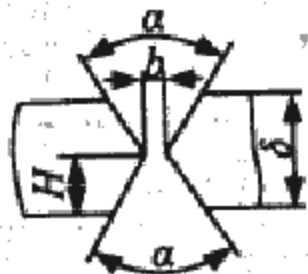

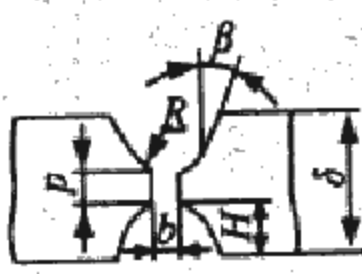
4) 根部间隙 焊件装配后,在焊接接头根部之间预留的空隙叫做根部间隙,常用符号 b 表示,见表 1-47,其目的是打底焊时,保证根部能被焊透。

5) 钝边 焊件开坡口时,沿焊件厚度方向未开坡口的端面部分叫钝边。常用符号 p 表示,见表 1-47,其作用是防止焊缝根部烧穿,钝边尺寸视焊接方法及采取的工艺不同而不同。










6) 根部半径 在 T 形、U 形坡口底部的半径称为根部半径。用符号 R 表示,见表 1-47。其作用是增大坡口根部的空间,使电极(焊条、焊丝)能够深入根部,保证根部能被焊透。


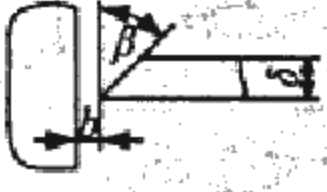

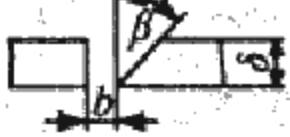

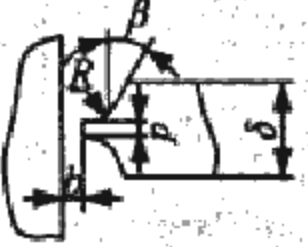

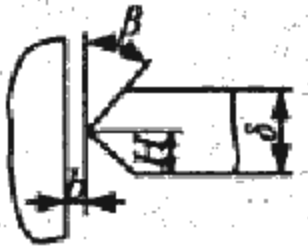



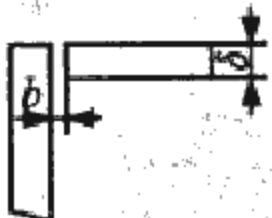

(2) 坡口形式。气焊、焊条电弧焊及气体保护焊的焊缝坡口基本形式及尺寸,如表 1-49 所示。

焊缝形式	坡口尺寸(mm)	说明
	$R = 1 \sim 2$	大多不加填充材料
	$R = 1 \sim 2$	
	$b = 0 \sim 1.5$	
	$b = 0 \sim 2.5$	
	$b = 0 \sim 3.5$	







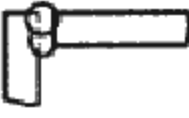
序号	工件厚度/mm	名称	符号	坡口形式
4	3~26	Y形坡口		
5	>20	VY形坡口		
6	20~60	带钝边U形坡口		
7	12~60	双Y形坡口		
8	>10	双V形坡口		
9	>30	双U形带钝边坡口		


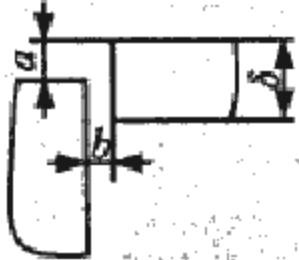


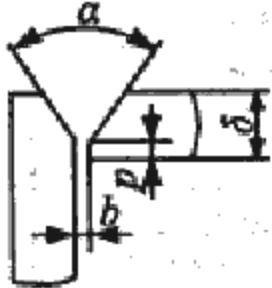


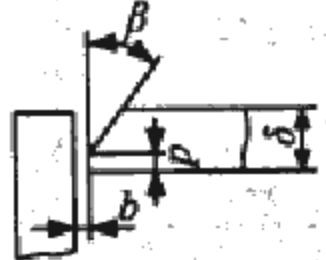


续表

焊缝形式	坡口尺寸(mm)	说明
	$\alpha = 40^\circ \sim 60^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $p = 1 \sim 4$	
		
	$\alpha = 60^\circ \sim 70^\circ$ $\beta = 8^\circ \sim 10^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $p = 1 \sim 3$ $H = 8 \sim 10$	
		
	$\beta = 1^\circ \sim 8^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $p = 1 \sim 3$ $R = 6 \sim 8$	
		
	$\alpha = 40^\circ \sim 60^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $p = 1 \sim 3$	
	$\alpha = 40^\circ \sim 60^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $H = \delta/2$	
	$\beta = 1^\circ \sim 8^\circ$ $H = (\delta - p)/2$ $b = 0 \sim 3$ $p = 2 \sim 4$ $R = 6 \sim 8$	

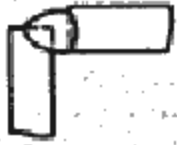
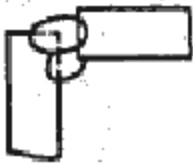
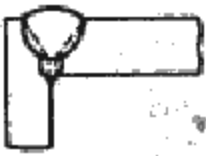


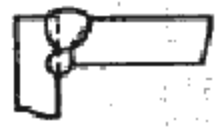

序号	工件厚度/mm	名称	符号	坡口形式
10	3~40	单边V形坡口		
				
11	>30	带钝边双J形坡口		
12	>10	双单边V形坡口		
				
13	2~8	I形坡口		
				


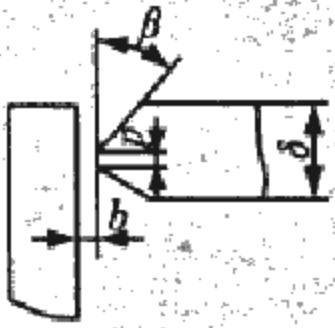

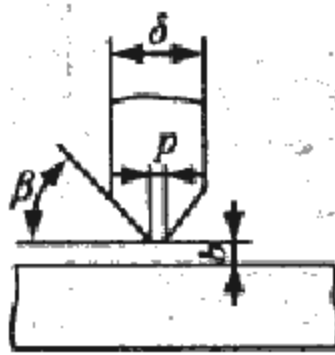

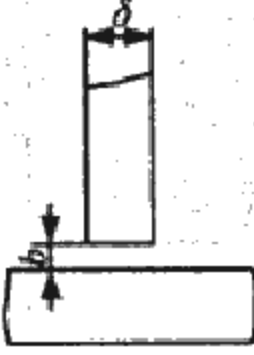


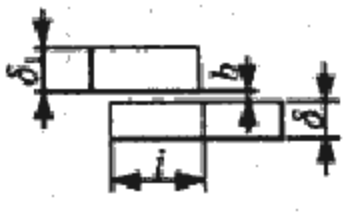

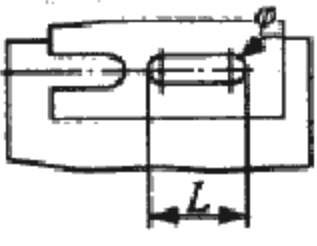
续表

焊缝形式	坡口尺寸(mm)	说明
	$\beta = 35^\circ \sim 50^\circ$ $b = 0 \sim 4$	
		
	$\beta = 10^\circ \sim 20^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $p = 2 \sim 4$ $R = 6 \sim 8$	
	$\beta = 35^\circ \sim 50^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $H = \delta/2$	
		
	$b = 0 \sim 2$	
		

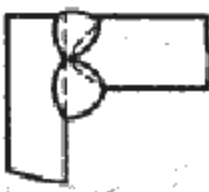
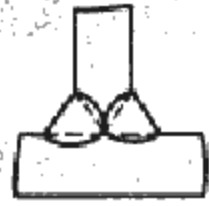
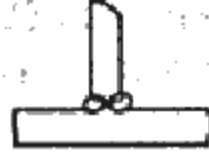



序号	工件厚度/mm	名称	符号	坡口形式
14	4 ~ 30	错边 I 形坡口		
				
15	12 ~ 30	Y 形坡口		
				
16	6 ~ 30	带钝边单边 V 形坡口		
				
				

续表

焊缝形式	坡口尺寸(mm)	说明
		a 值由设计确定
	$b = 0 \sim 2$	
	$\alpha = 40^\circ \sim 50^\circ$ $b = 0 \sim 2$ $p = 0 \sim 3$	
		
	$\alpha = 35^\circ \sim 50^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $p = 1 \sim 3$	
		
		

序号	工件厚度/mm	名称	符号	坡口形式
17	20 ~ 40	带钝边双单边V形坡口		
18	20 ~ 40	带钝边双单边V形坡口		
19	2 ~ 30	I形坡口		
				
20	2 ~ 30	I形坡口		
21	> 2	塞焊坡口		

续表

焊缝形式	坡口尺寸(mm)	说明
	$\alpha = 35^\circ \sim 50^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $p = 1 \sim 3$	
	$\beta = 40^\circ \sim 50^\circ$ $b = 0 \sim 3$ $p = 1 \sim 3$	
	$b = 0 \sim 2$	仅适用于 薄板
		
	$b = 0 \sim 2$	i 值由设计确定
		孔径 $\phi >$ $(0.8 \sim 2)$ δ , 且 < 10

第二章 焊 条

一、焊条的分类、性能及用途

1. 焊条型号的分类及编制方法

在手工电弧焊中,电焊条作为引燃电弧的一个电极,与母材间产生强烈而持久的放电现象,起到导电的作用;同时还作为填充金属,在焊接热源的作用下,焊条熔化后以熔滴的形式过渡到熔池,与熔化的母材共同组成焊缝。因此,焊条质量的好坏直接影响焊接过程的稳定性、焊接接头的性能和质量。

焊条一般由焊芯和药皮两部分组成。焊条的长度通常为 200 ~ 700mm。焊条的长度不仅与方便使用、充分利用材料有关,而且还取决于焊芯的直径、材质、药皮等组成因素。粗直径的焊条,因焊芯电阻小,药皮通常不会因焊芯发红而脱落,故一般较长;不锈钢等高合金焊条,因焊芯电阻大,焊接时焊条易发红,药皮易开裂脱落,所以不锈钢等焊条的长度一般比碳钢钢芯的焊条约短 50mm。

根据我国焊条国家标准规定,焊条可分为:碳钢焊条、低合金钢焊条、不锈钢焊条、铸铁焊条、堆焊焊条、镍和镍合金焊条、铜及铜合金焊条、铝及铝合金焊条等。

(1) 碳钢焊条型号的表示方法。根据 GB/T5117-1995《碳钢焊条》标准的规定,碳钢焊条型号由字母“E”和四位数字组成,其结构及含义如下:

表 2-1 碳钢焊条型号中 X_3 、 X_4 的含义

焊条类型	药皮类型	焊接位置	电流种类	
E × ×00	特殊型	平、立、横、仰	交流或直流正、反接	
E × ×01	钛铁矿型			
E × ×03	钛钙型			
E × ×10	高纤维钠型			直流反接
E × ×11	高纤维钾型			交流或直流反接
E × ×12	高钛钠型			交流或直流正接
E × ×13	高钛钾型			交流或直流正、反接
E × ×14	铁粉钛型			直流反接
E × ×15	低氢钠型			交流或直流反接
E × ×16	低氢钾型			交流或直流反接
E × ×18	铁粉低氢型			交流或直流正接
E × ×20	氧化铁型			平焊
E × ×22	氧化铁型	平焊、平角焊	交流或直流正、反接	
E × ×23	铁粉钛钙型			
E × ×24	铁粉钛型			
E × ×27	铁粉氧化铁型			交流或直流正接
E × ×28	铁粉低氢型	平、立、横、仰、立向下	交流或直流反接	
E × ×48	铁粉低氢型			

E X₁ X₂ X₃ X₄

焊条药皮类型及适用的焊接
电流种类(见表 2-1)

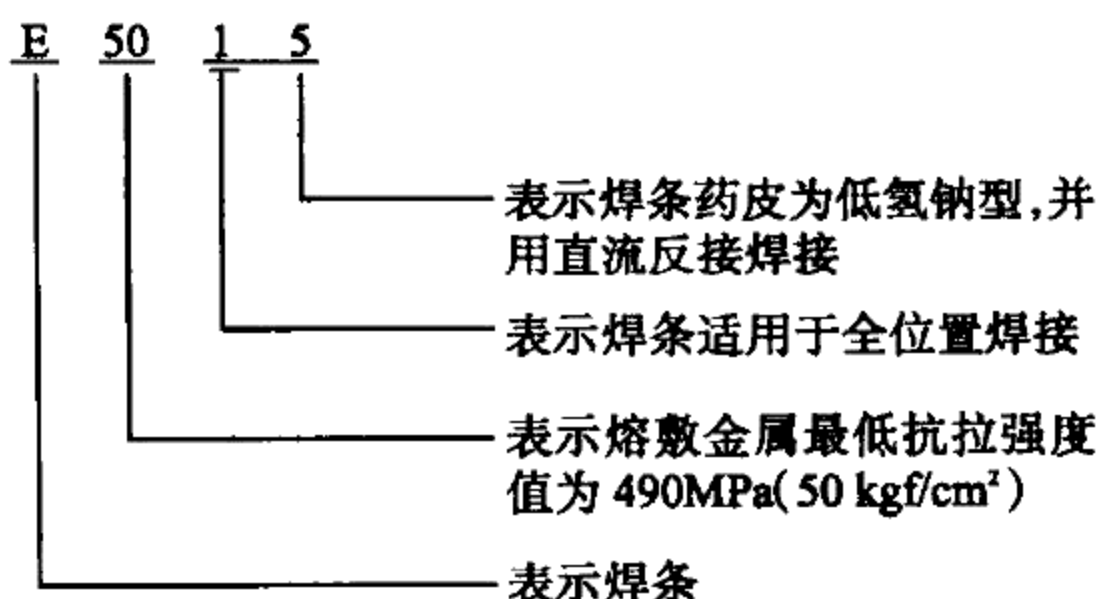
表示焊条适用于焊接的位置

表示熔敷金属抗拉强度的最
低值(kgf/cm²)

表示焊条

在 X_4 后面有时附加“R”表示耐吸潮焊条；附加“M”表示耐吸潮和力学性能有特殊规定的焊条；附加“-1”表示对冲击韧度有特殊规定的焊条。碳钢焊条的型号如 E4303, E5018M、E5016-1, E5018-1R E4313-S 等。

焊条型号举例：



(2) 合金钢焊条型号的表示方法。根据 GB/T5118-1995《低合金钢焊条》标准中的规定,低合金钢焊条型号的编制方法与碳钢焊条相同,只是在四位数字后添加了后缀字母和附加化学成分记号,其型号表示方法为：

E X_1 X_2 X_3 X_4 - X_5 - X_6

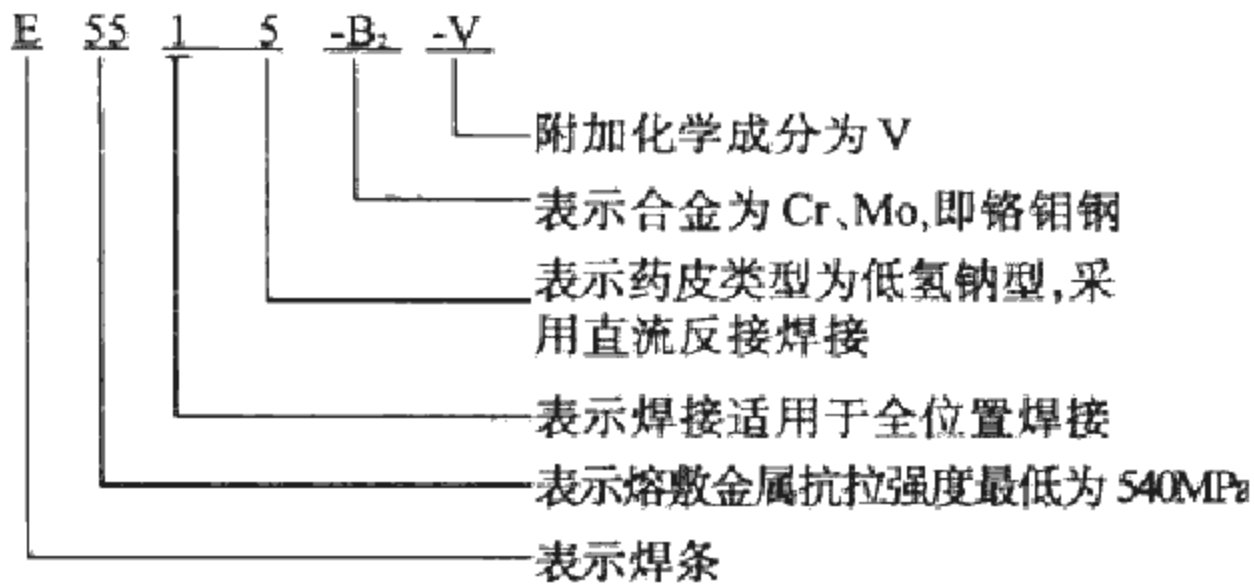
与碳钢焊条型号表示内容的区别为：

1) 前两位数字 $X_1 X_2$ ——表示焊条系列有 50, 55, 60, 70, 75, 80, 85, 90, 100 等 9 种 分别表示熔敷金属抗拉强度的最小值为 490MPa (50kgf/cm²), 540MPa (55kgf/cm²), 590MPa(60kgf/cm²), 690MPa(70kgf/cm²), 740MPa(75kgf/cm²), 790MPa(80kgf/cm²), 840MPa(85kgf/cm²), 890MPa(90kgf/cm²), 990MPa(100kgf/cm²)

2) X_5 ——为后缀字母 表示熔敷金属的化学成分分类代号。A₁ 表示为碳钼钢焊条; B₁ ~ B₃ 表示铬钼钢焊条; D₁ ~ D₃ 表示锰钼钢焊条, G、M、M₁、W 表示其他合金钢焊条。

3) X_6 ——为附加的化学元素符号 如不具有附加化学成分时,该项省略。

焊条型号举例：



低合金钢焊条的型号如 E5018-A₁、E5515-B₂、E550-B₃-VWB、E5518-C₃、E7016-D₂ 等。

(3) 不锈钢焊条型号的表示方法。根据 GB/T983-1995《不锈钢焊条》标准中的规定, 不锈钢焊条的型号是根据熔敷金属的化学成分、药皮类型、焊接位置及电流种类划分型号的。型号的编制方法为：

E X₁ X₂ X₃ X₄-X₅ X₆

其中：E——表示焊条。

X₁ X₂ X₃——表示熔敷金属化学成分分类代号。

X₄——表示熔敷金属中含有一种或多种具特殊要求的化学元素, 如果没有, 该项省略。

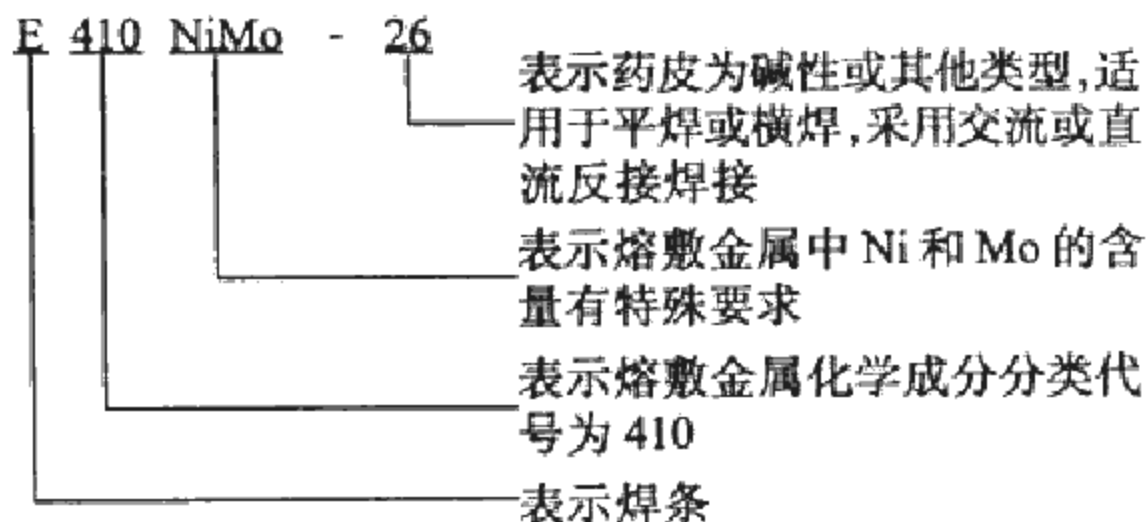
X₅ X₆——表示药皮类型、焊接位置和电流种类。(见表 2-2)

表 2-2 不锈钢型号中 X₅ X₆ 的含义：

X ₅ X ₆ 代号	焊接电流	焊接位置	药皮类型
15	直流反接	全位置	碱性药皮
25		平焊、横焊	
16	交流或直流反接	全位置	碱性或其他类型药皮
17			
26		平焊、横焊	

在 X₃ 后面或 X₄ 后面有时附加字母 L、或 H、或 R, 分别表示含碳量较低, 或含碳量较高, 或含硫、磷、硅量较低。

焊条型号举例:

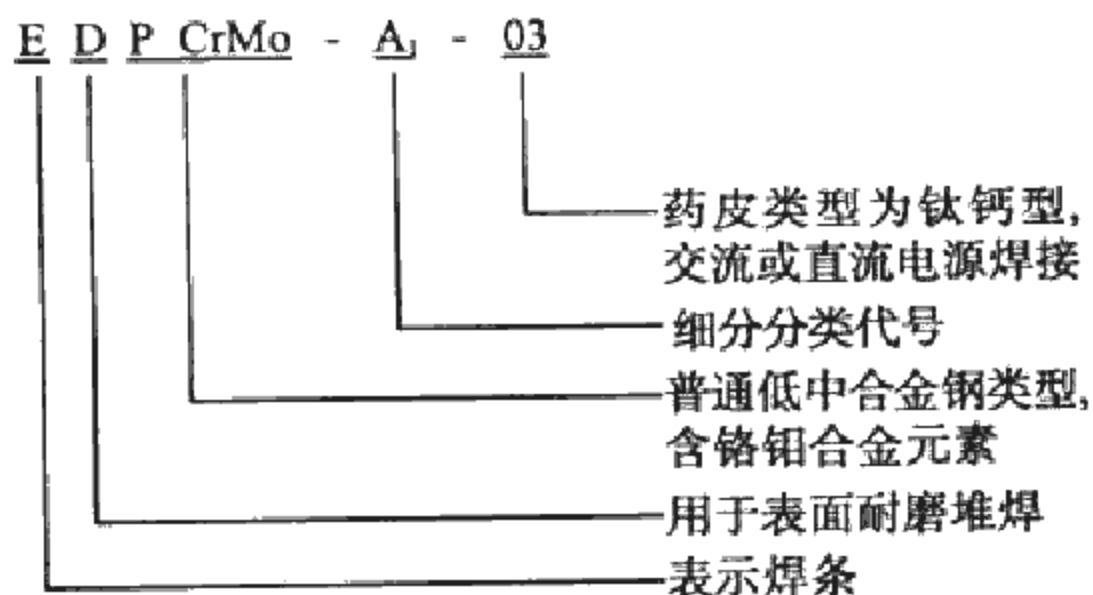


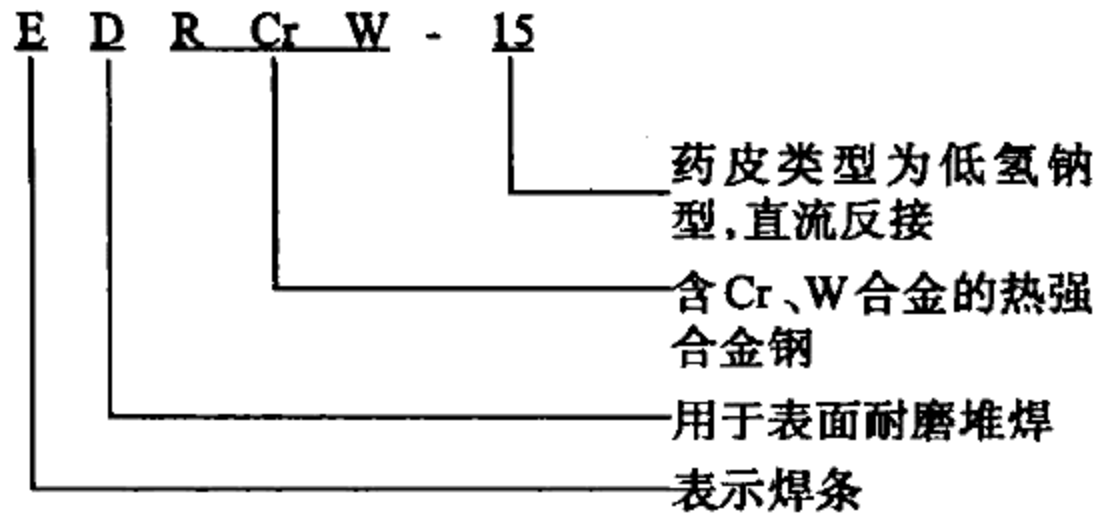
不锈钢焊条型号如 E308-15、E316L-16、E410NiMo-26 等。

(4) 堆焊焊条的分类及型号编制方法。根据 GB/T984-2001《堆焊焊条》的规定, 堆焊焊条型号一般根据熔敷金属的化学成分、药皮类型、电流种类等划分。

型号中的第一个字母“E”表示焊条; 第二个字母“D”用于表面耐磨堆焊; 后面用 1-2 个字母、元素符号表示焊条熔敷金属化学成分分类代号, 还可附加一些主要成分的元素符号; 在基本型号内可用数字、字母进行细分类, 细分类的代号可用短划“-”与前面符号分开。型号中的最后两位数字表示药皮类型, 电流种类并用短划“-”与前面符号分开。

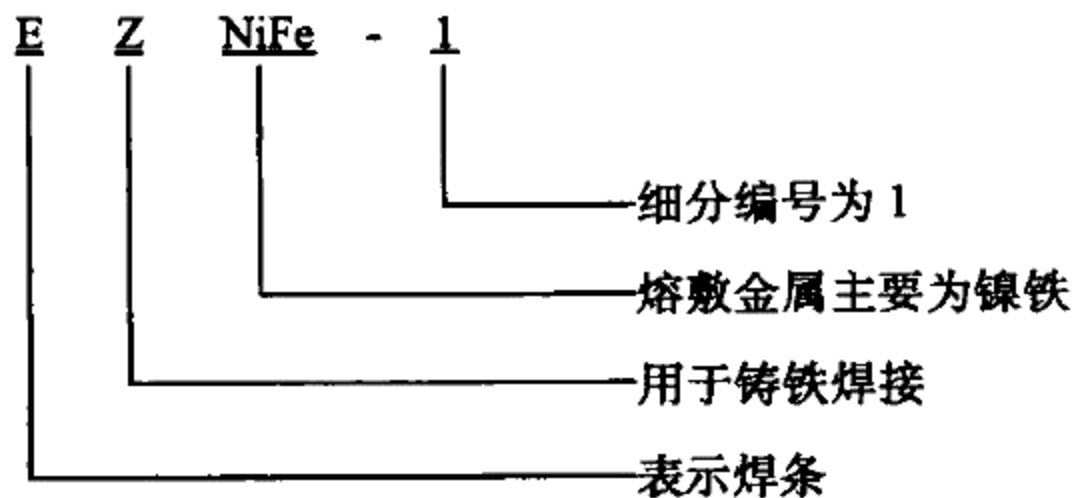
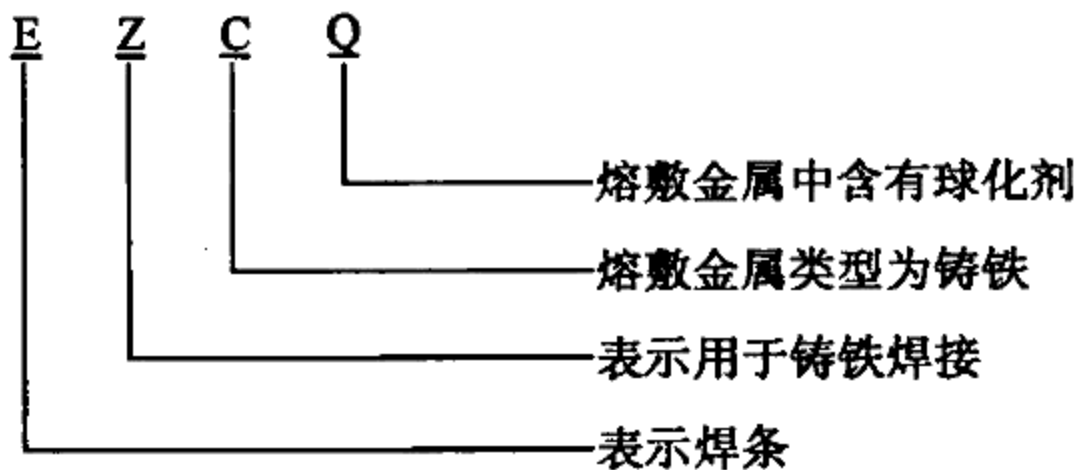
堆焊焊条型号示例:





(5) 铸铁焊条的分类及型号编制方法。根据 GB/T6044-1988《铸铁焊条及焊丝》的规定, 焊条型号是根据熔敷金属的化学成分及用途划分的。字母“E”表示焊条; 字母“Z”表示用于铸铁焊接; 在“EZ”后用熔敷金属主要化学元素符号或金属类型代号表示。

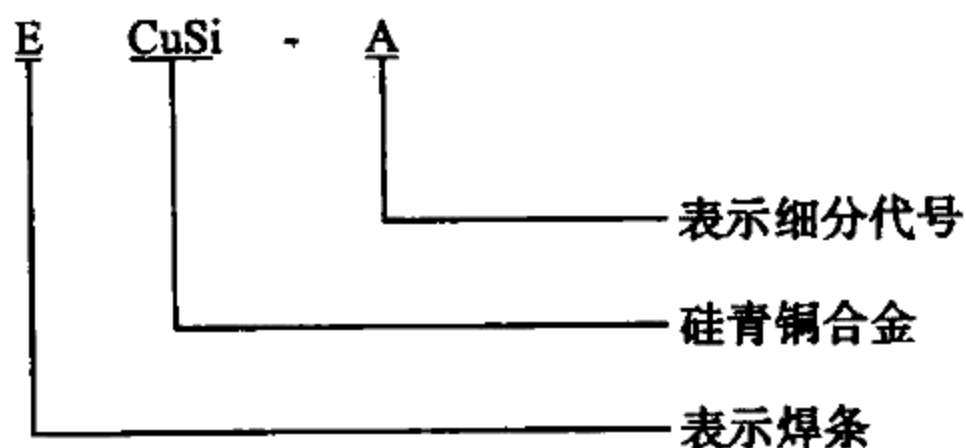
焊条型号举例:



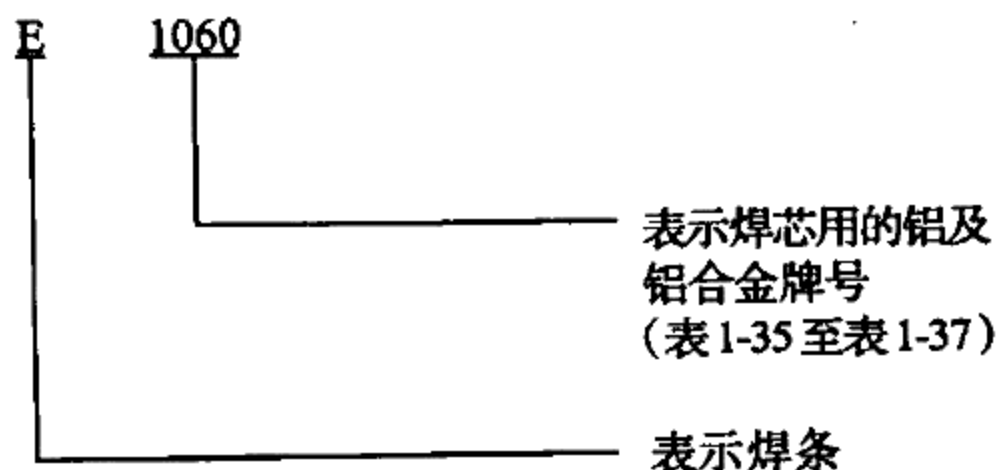
(6) 铜及铜合金焊条的分类及型号编制方法。根据

GB/T3670-1995《铜及铜合金焊条》的规定,焊条型号表示方法为:字母“E”表示焊条,在“E”直接用元素符号表示型号分类。同一分类中有不同化学成分要求的,用字母或数字来表示,并用短划“-”与前面元素符号分开,焊条药皮类型大多为低氢钠型。

焊条型号举例



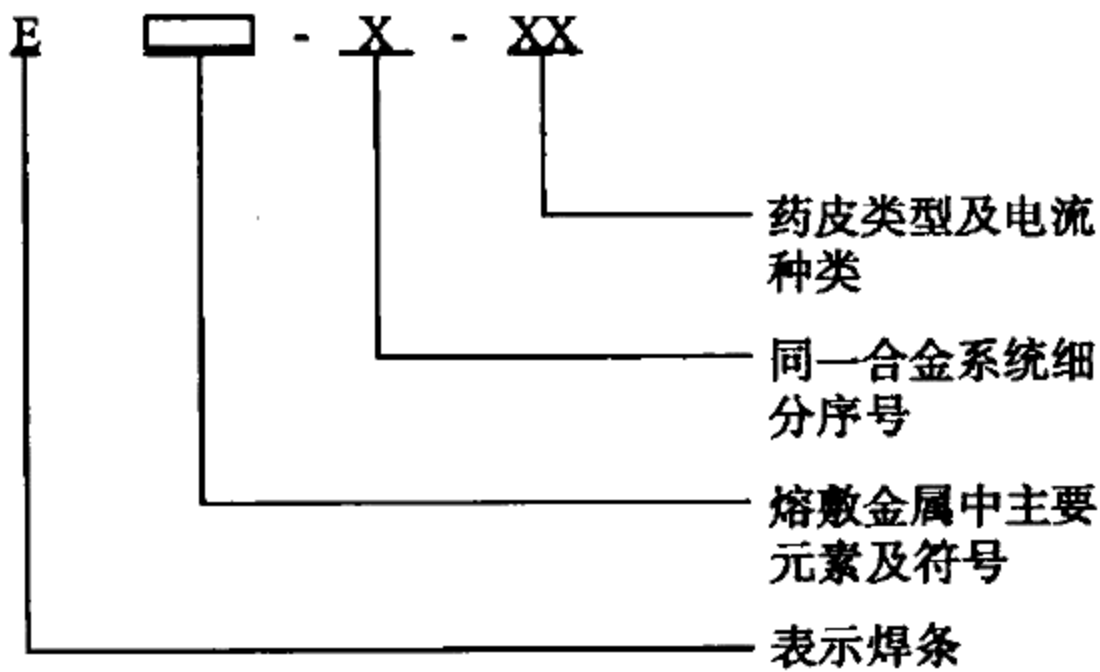
(7) 铝及铝合金焊条分类及型号编制方法。根据 GB/T3609-2001《铝及铝合金焊条》的规定,焊条型号是根据焊芯的化学成分和焊接接头力学性能划分的,型号编制方法:字母“E”表示焊条,“E”后面的数字表示焊芯用的铝及铝合金牌号。铝及铝合金焊条药皮类型为盐基型,只能用直流电源焊接。焊条型号示例:



(8) 镍及镍合金焊条的分类及型号编制方法。镍基耐蚀合金的焊条分为五类,即工业纯镍、Ni-Cu、Ni-Cr-Fe、Ni-

Mo 和 Ni-Cr-Mo, 每类根据熔敷金属的化学成分不同, 可分为一种或多种型号的焊条。

根据 GB/T13814-1992《镍及镍合金焊条》的规定, 由字母“E”表示焊条, 其后是熔敷金属中主要合金元素符号即 Ni、NiCu、NiCrFe、NiMo 和 NiCrMo 五类, 同一合金系统细分用序号(0. 1. 2.....)表示, 并用短划“-”与前面分开, 最后两位数字表示焊条药皮类型和电流种类。焊条型号表示方法及举例如下:



例:

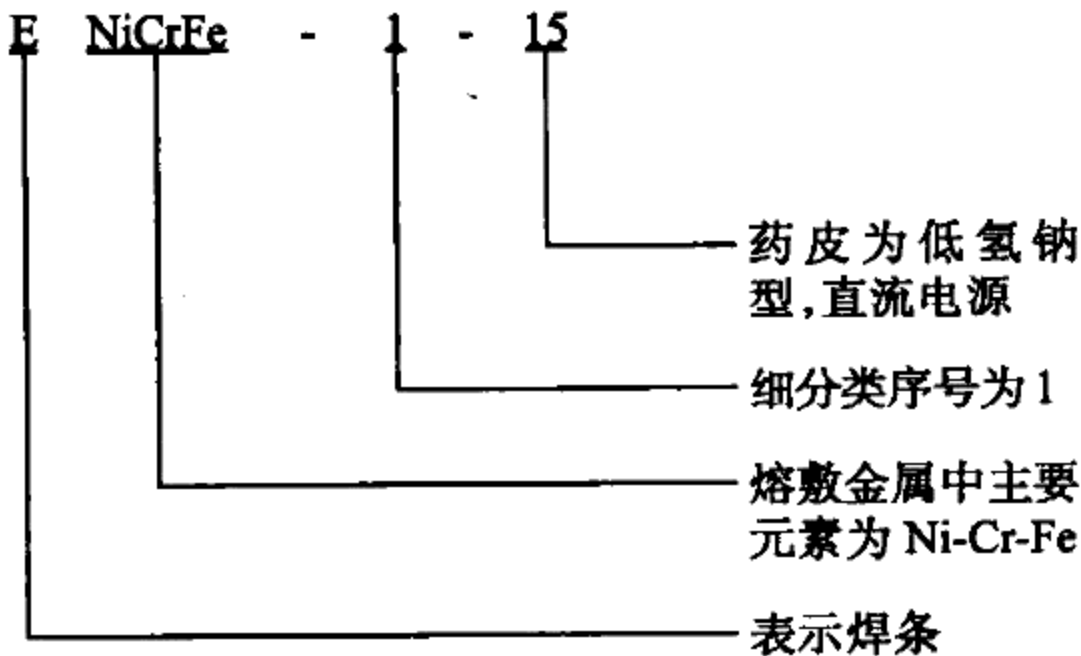
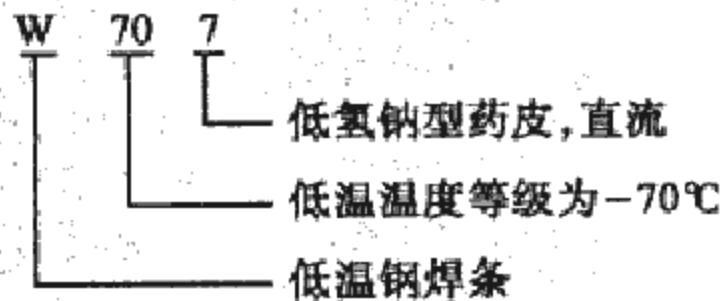
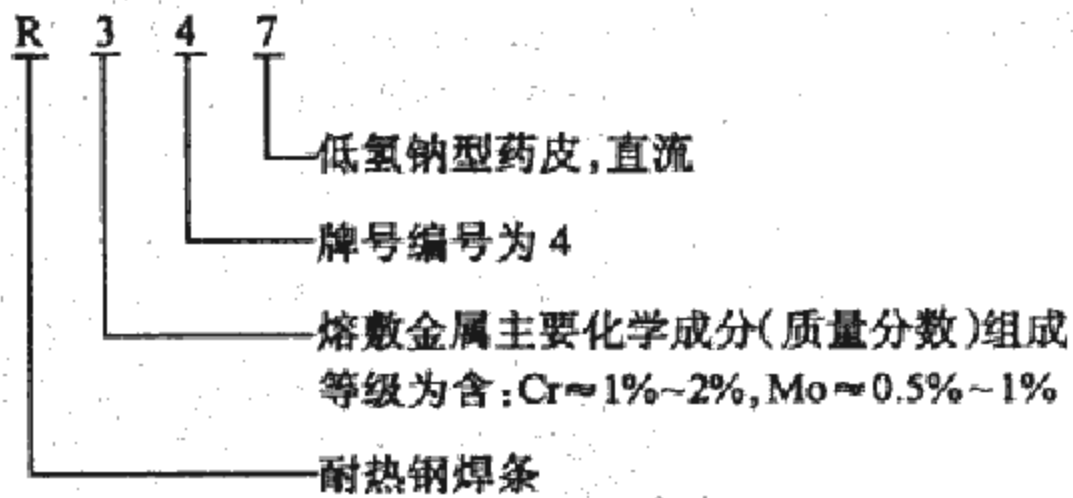
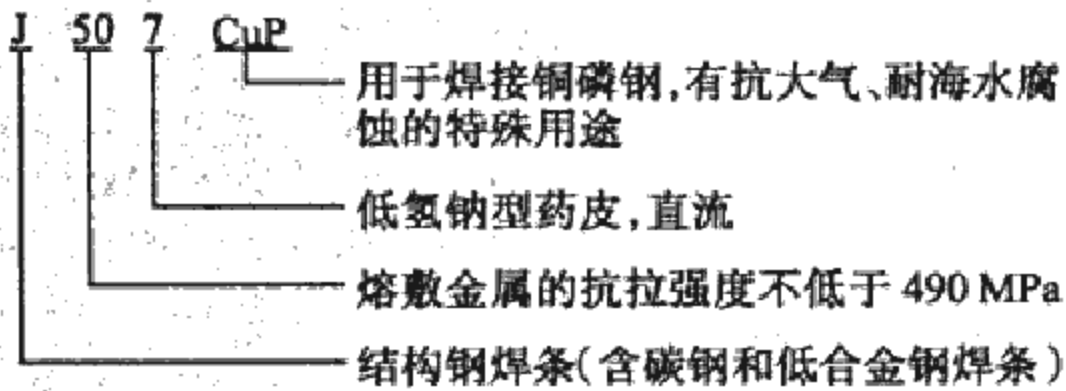


表 2-3 焊条牌号的分类、代号及含义

焊条类别	代号(汉字)	X ₁	X ₂
结构钢 焊条	J(结)	表示熔敷金属抗拉强度/MPa(kgf)等级:340(35)、420(43)、490(50)、540(55)、590(60)、690(70)、740(75)、780(80)、830(85)、880(90)、980(100)	
钼和铬 钼耐热 钢焊条	R(热)	表示熔敷金属主要化学成分(质量分数)等级 1——含 Mo ≈ 0.5% 2——含 Cr ≈ 0.5% Mo ≈ 0.5% 3—— 含 Cr ≈ 1% ~ 2% Mo ≈ 0.5% ~ 1% 4——含 Cr ≈ 2.5% Mo ≈ 1% 5——含 Cr ≈ 5% Mo ≈ 0.5% 6——含 Cr ≈ 7% Mo ≈ 1% 7——含 Cr ≈ 9% Mo ≈ 1% 8——含 Cr ≈ 11% Mo ≈ 1%	表示同一熔敷金属主要化学成分组成等级中的不同牌号。对于同一药皮可有 10 个牌号,由 0, 1, 2, ..., 9 顺序排列
低温钢 焊条	W(温)	表示低温钢焊条工作温度(℃)等级 60—— -60, 80—— -80 70—— -70, 90—— -90 10—— -100, 19—— -196 25—— -253	

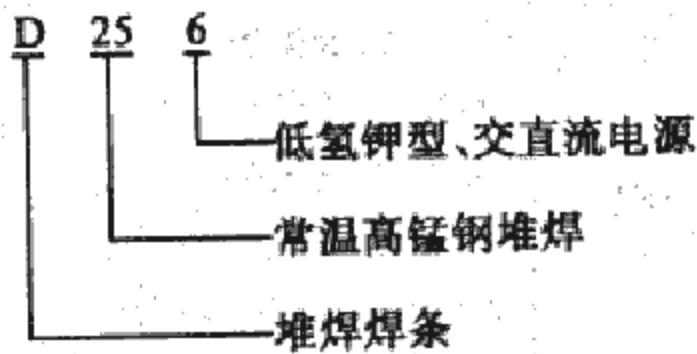
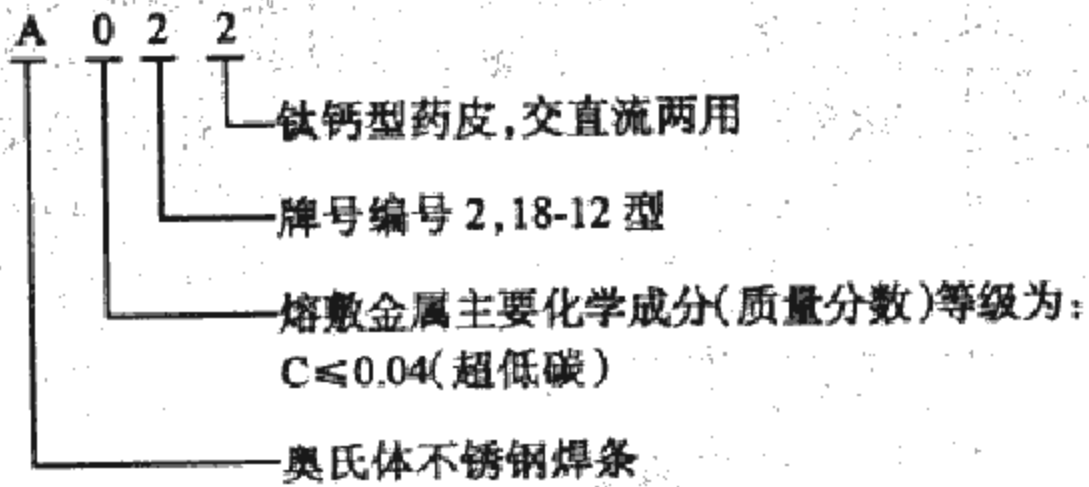
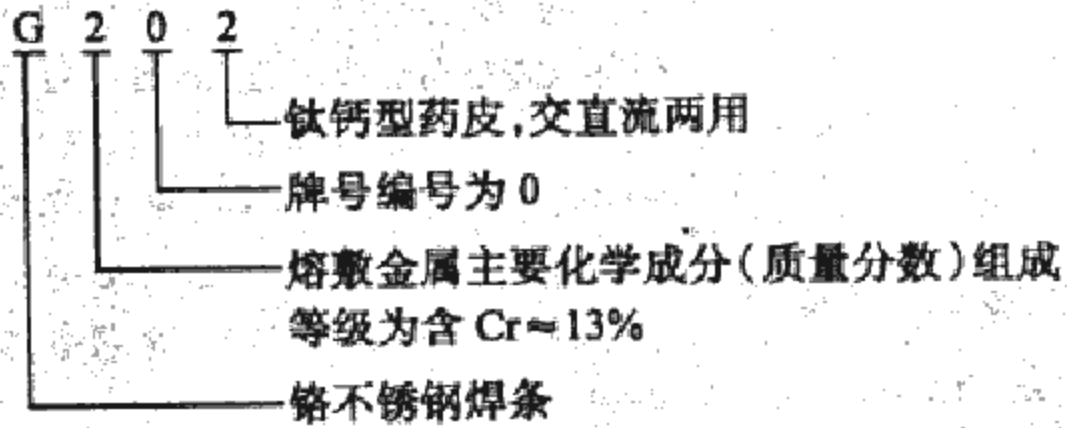
举 例



焊条类别	代号(汉字)	X ₁	X ₂
不锈钢 焊条	G(铬)	表示熔敷金属主要化学成分(质量分数)等级 2——含 Cr ≈ 13% 3——含 Cr ≈ 17%	表示同一焊缝金属主要化学成分组成等级中的不同牌号。对于同一类药皮类型的焊条,可有 10 个牌号,由 0, 1, 2, …, 9 顺序排列
	A(奥)	0——含 C ≤ 0.04 超低碳; 1——含 Cr ≈ 19% Ni ≈ 9%; 2——含 Cr ≈ 18% Ni ≈ 12%; 3——含 Cr ≈ 24% Ni ≈ 13%; 4——含 Cr ≈ 26% Ni ≈ 21%; 5——含 Cr ≈ 16% Ni ≈ 25%; 6——含 Cr ≈ 15% Ni ≈ 35%; 7——含 Cr-Mn-N 不锈钢; 8——含 Cr ≈ 18% Ni ≈ 18%; 9——待发展	
堆焊焊条	D(堆)	堆焊焊条根据主要用途分为: 00 ~ 09 规定; 10 ~ 24 为不同硬度常温堆焊; 25 ~ 29 为常温高锰钢堆焊; 30 ~ 49 为刀具、工具堆焊; 50 ~ 59 为阀门堆焊; 60 ~ 69 为合金铸铁堆焊; 70 ~ 79 为碳化钨堆焊; 80 ~ 89 为钴基合金堆焊; 90 ~ 99 为待发展	

续表

举 例

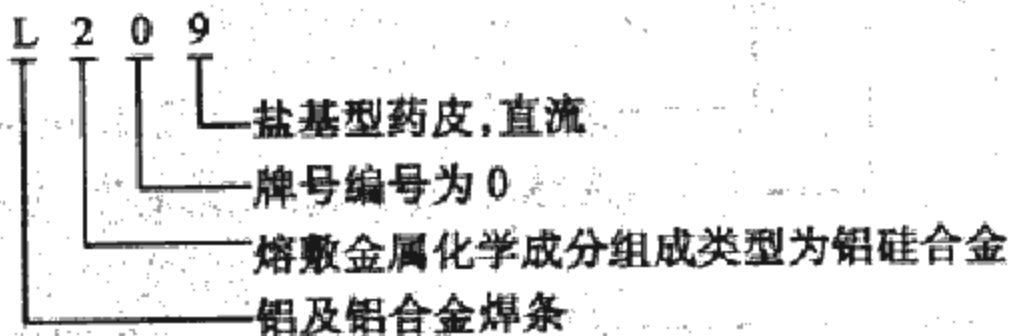
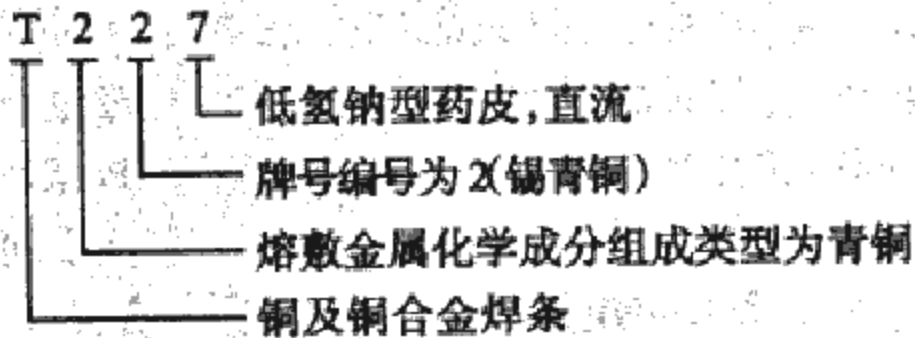
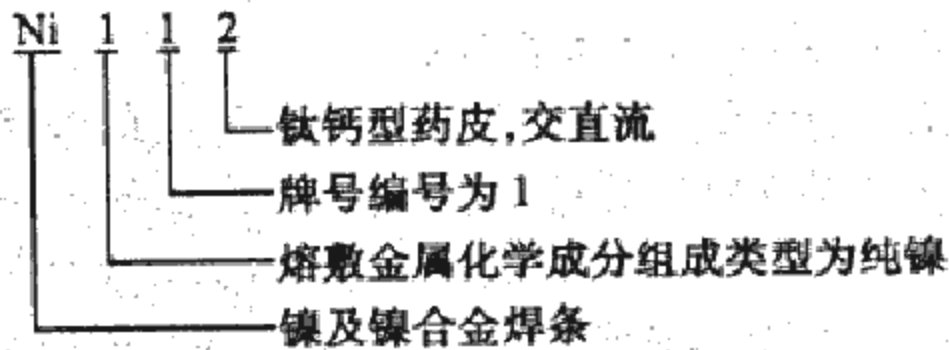
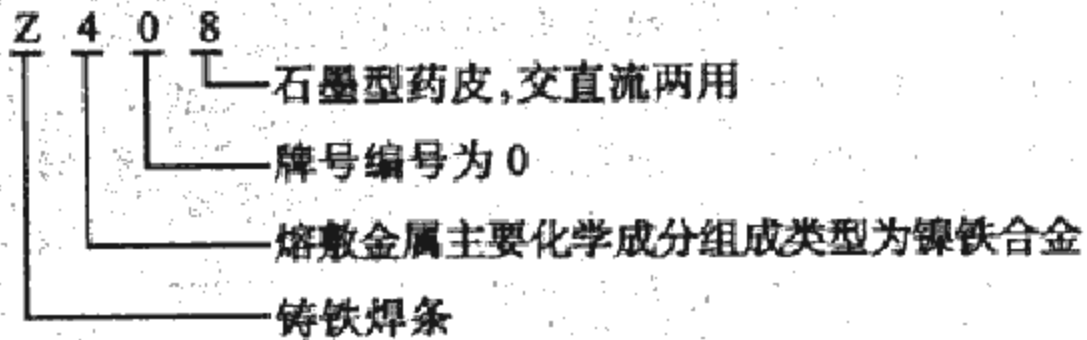




焊条类别	代号(汉字)	X ₁	X ₂
铸铁焊条	Z(铸)	表示熔敷金属主要化学成分组成类型: 1——碳钢或高钒钢; 2——铸铁包括球墨铸铁; 3——纯镍; 4——镍铁合金; 5——镍铜合金; 6——铜铁合金; 7——待发展	表示同一熔敷金属主要成分中的不同牌号, 对同一药皮类型的铸铁焊条按 0、1、2、…、9 顺序排列
镍及合金焊条	Ni(镍)	表示熔敷金属成分组成类型: 1——纯镍; 2——镍铜合金; 3——镍铬耐热合金; 4——待发展	表示同一熔敷金属化学组成类型中的不同牌号, 对同一药皮类型焊条可有 10 个牌号按 0、1、2、…、9 顺序排列
铜及铜合金焊条	T(铜)	表示熔敷金属化学成分组成类型: 1——纯铜; 2——青铜; 3——白铜; 4——待发展	表示同一熔敷金属化学成分组成类型中的不同牌号, 对同一药皮类型焊条, 可有 10 个牌号按 0、1、2、…、9 顺序排列
铝及铝合金焊条	L(铝)	表示熔敷金属化学成分组成类型: 1——纯铝; 2——铝硅合金; 3——铝锰合金; 4——待发展	表示同一熔敷金属化学成分组成类型中的不同牌号, 对同一药皮类型焊条, 可有 10 个牌号按 0、1、2、…、9 顺序排列

续表

举例

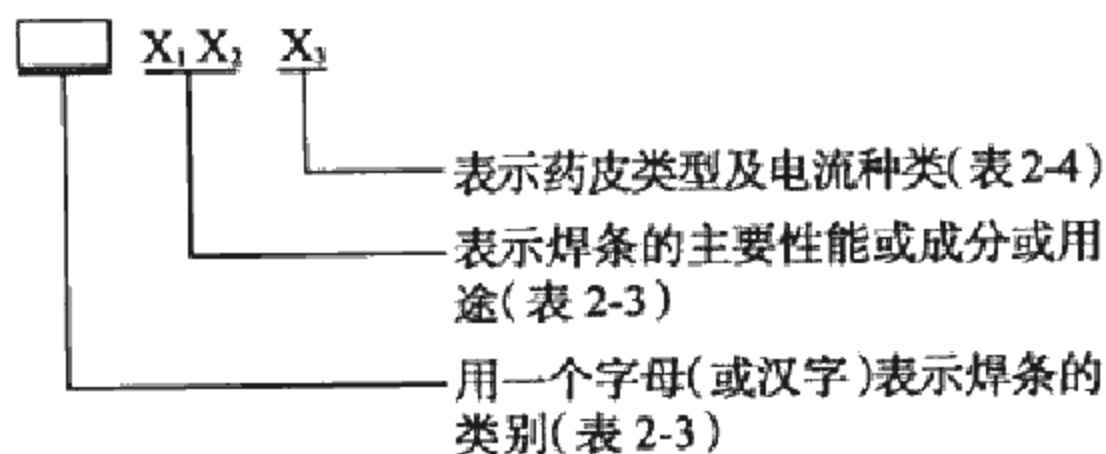


焊条类别	代号(汉字)	X ₁	X ₂
特殊用途焊条	TS(特)	表示熔敷金属的用途:2——水下焊接用;3——水下切割用;4——开槽割条;5——管状焊条;6——铁锰铝焊条 TSJ421、TSJ422、TSA102 为焊接薄板专用焊条	表示同一用途中的不同牌号,对同一药皮类型焊条,可有10个牌号按0、1、2、…、9顺序排列

2. 焊条牌号的分类及表示方法

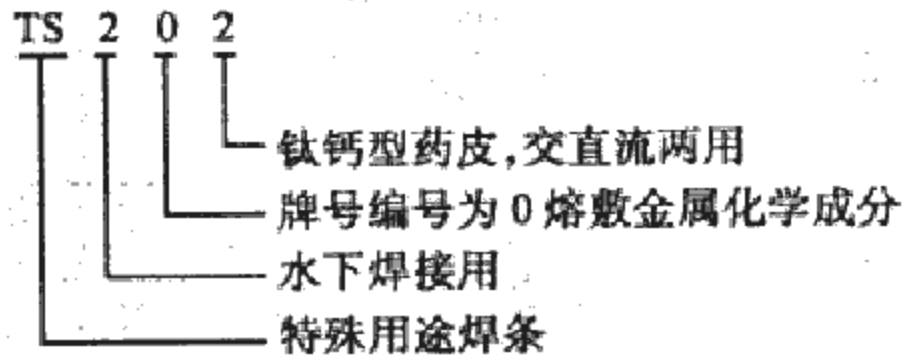
目前我国焊条商品牌号很多,也有不同的编制方法。这里所讲的焊条牌号是我国《焊接材料产品样本》中所提供的牌号,亦可称为我国焊条统一商品及其编制方法,在我国已沿用多年至今,为焊接行业所熟知。需要指出的是,每一焊条型号可以有多种焊条牌号,以利于焊条的改进和发展。但每一种焊条牌号最多只能对应(或相当)一种焊条型号。

根据我国《焊接材料产品样本》提供的,按主要用途将焊条分为十大类(其中结构钢焊条,包括碳钢焊条和部分低合金钢焊条)。焊条牌号的编制均是由一个汉语拼音字母(或汉字)和3个数字组成,牌号表示方法及含义如下:



续表

举 例



焊条牌号的分类、代号及含义见表 2-4。

表 2-4 焊条牌号中第 3 位数字 X_3 的含义

数字	药皮类型	焊接电源种类
0	不属已规定类型	不规定
1	氧化钛型	直流或交流
2	氧化钛钙型	直流或交流
3	钛铁矿型	直流或交流
4	氧化铁型	直流或交流
5	纤维素型	直流或交流
6	低氢钾型	直流或交流
7	低氢钠型	直 流
8	石墨型	直流或交流
9	盐基型	直 流

表 2-5 低合金钢焊条牌号、型号对照表

牌号	符合(相当)标准的焊条型号	
	GB/T5118-1995	AWS
J502CuP	—	—
J502NiCu	E5003-G	—
J502WCu	E5003-G	—
J502CrNiCu	E5003-G	—
J505G	E5010-G	E7010-G
J506WCu	E5016-G	—
J506R	E5016-G	E7016-G
J506RK	E5016-G	E7016-G
J506RH	E5016-G	E7016-G
J506NiCu	E5016-G	—
J506NiMA	E5016-G	E7016-G
J506FeNE	E5018-G	E7018-G
J506CrNiCu	E5016-G	—
J507NiMA	E5015-G	E7015-G
J507TiBMA	E5015-G	E7015-G
J507NiCu	E5015-G	—
J507NuCuP	E5015-G	E7015-G
J507WCu	E5015-G	—
J507R	E5015-G	E7015-G
J507NiTiB	E5015-G	E7015-G
J507RH	E5015-G	E7015-G
J507Mo	E5015-G	E7015-G
J507MoNb	E5015-G	—
J507MoW	E5015-G	E7015-G
J507CrNi	E5015-G	—
J507CuP	E5015-G	—
J507FeNi	E5018-G	E7018-G
J507MoWNbB	E5015-G	E7015-G
J507SLA	E5015-G	E7015-G
J907Cr	E5015-G	—
J507SLB	E5015-G	E7015-G

牌号	符合(相当)标准的焊条型号	
	GB/T5118-1995	AWS
J553	—	—
J555	E5511-G	E8011-G
J555G	E5510-G	E8010-G
J556	E5516-G	E8016-G
J556RH	E5516-G	E8016-G
J556XG	E5516-G	—
J556CuCrMo	E5516-G	E8016-G
J557	E5515-G	E8015-G
J557Mo	E5515-D3	E8015-D3
J557MoV	E5515-G	E8015-G
J557SLA	E5515-G	E8015-G
J557SLB	E5515-G	E8015-G
J606	E6016-D1	E9016-D1
J606RH	E6016-G	—
J607	E6015-D1	E9016-D1
J607Ni	E6015-G	E9016-G
J607RH	E6015-G	E9016-G
J707	E7015-D2	E10015-D2
J707Ni	E7015-G	E10015-G
J707RH	E7015-G	E10015-G
J707NiW	E7015-G	—
J757	E7515-G	E11015-G
J757Ni	E7515-G	E11015-G
J807	E8015-G	—
J807RH	E8015-G	E11015-G
J857	E8515-G	E12015-G
J857Cr	E8515-G	E12015-G
J857CrNi	E8515-G	E12015-G
J907	E9015-G	—
J107Cr	E10015-G	—
J107	E10015-G	—

3. 焊条型号与牌号的对照

焊条牌号是我国依据所用焊条的强度和用途来对电焊条进行的分类。随着时代的发展,我国的焊条编制逐渐和国际接轨,故采用国际通行的焊条型号编制方法,但在实际生产过程中,很多工人师傅仍习惯于焊条牌号的分类方法。故焊条型号和牌号的编制在一段时间内仍将并轨,这里仅举常用焊条型号和牌号的对照以方便大家查用见表 2-5、表 2-6、表 2-7、表 2-8。

表 2-6 不锈钢焊条新旧牌号、型号对照表

牌号	型号(GB/T983-1995)	型号(GB983-85)
	E209	—
	E219	—
	E240	—
A172	E307-16	E1-19-9MoMn4-16
A101	E308-16	E0-19-10-16
	E308H	—
A002	E308L-16	E00-19-10-16
	E308Mo	E0-19-10Mo2
A002Mo	E308MoL-16	E00-19-10Mo2-16
A302	E309-16	E1-23-13-16
A062	E309L-16	E00-23-13-16
	E309Nb	E1-23-13Nb
A312	E309Mo-16	E1-23-13Mo2-16
A042	E309MoL-16	E00-23-13Mo2-16
A402	E310-16	E2-26-21-26
A432	E310H-16	E3-26-21-26
	E310Nb	E1-26-21Nb
A412	E310Mo-16	E1-26-21Mo2-16
	E312	E1-30-9

续表

牌号	型号(GB/T983-1995)	型号(GB983-85)
A202	E316-16	E0-18-12Mo2-16
A432	E316H-16	—
A022	E316L-16	E00-18-12Mo2-16
	E317	E0-19-13Mo3
A222	E317L-16	E00-19-13Mo3-16
	E317MoCu	E0-19-13Mo2Cu2
A032	E317MoCuL-16	E00-19-13Mo2Cu2-16
A212	E318-16	E0-18-12Mo2Nb-16
A232	E318V-16	E0-18-12Mo2V-16
A902	E320-16	E0-20-34Mo3Cu4Nb-16
	E320LR	—
	E330	E2-16-35
	E330H	E3-16-35
A607	E330MoMnWNb-15	E2-16-35MoMn4W3Nb-15
A132	E347-16	E0-19-10Nb-16
	E349	E1-19-9MoW2Nb
	E385	—
Cr202	E410-16	E1-13-16
	E410NiMo	E0-13-5Mo
Cr302	E430-16	E0-17-16
	E502	E0-5Mo
	E505	E0-9Mo
	E630	E0-16-5MoCu4Nb
A512	E16-8-2-16	E1-16-8Mo2-16
A502	E16-25MoN-16	E1-16-25Mo6N-16
	E7Cr	E0-7Mo
	E5MoV	E1-5MoV

续表

牌号	型号(GB/T983-1995)	型号(GB983-85)
E502	E9Mo	E1-9Mo
	E11MoVNi	E1-11MoVNi
R807	E11MoVNiW	E2-11MoVNiW
	E2209	—
	E2553	—
A207	E316-15	E0-18-12Mo2-15

表 2-7 铜及铜合金焊条新旧牌号、型号对照表

牌号	型号 (GB36 70-83)	型号 (GB/T36 70-1995)	牌号	型号 (GB36 70-83)	型号 (GB/T3 670-1995)
T107	TCu	ECu	—	—	ECuAl-B
—	—	ECuSi-A	T237	TCuAl	ECuAl-C
T207	TCuSi	ECuSi-B	—	—	ECuNi-A
—	TCuSnA	ECuSn-A	T307	—	ECuNi-B
T227	TCuSnB	ECuSn-B	—	—	ECuAlNi
—	—	ECuAl-A2	—	TCuMnAl	ECuMnAlNi

表 2-8 堆焊焊条牌号、型号对照表

牌号	型号 (GB984-1985)	牌号	型号 (GB984-1985)
D102	EDPMn2-03	D156	—
D106	EDPMn2-16	D167	EDPMn6-15
D107	EDPMn2-15	D172	EDPCrMo-A3-03
D112	EDPCrMo-A1-03	D177SL	—
D126	EDPMn4-16	D202A	—
D127	EDPMn4-15	D202B	—

续表

牌号	型号 (GB984-1985)	牌号	型号 (GB984-1985)
D132	EDPCrMo-A2-03	D207	EDPCrMnSi-A1-15
D146	EDPMn4-16	D212	EDPCrM-A4-03
D217A	EDPCrMo-A3-15	D512	EDCr-B-03
D227	EDPCrMoV-A2-15	D516M	EDCrMn-A-16
D237	EDPCrMoV-A1-15	D516F	—
D246	EDPCrSi-B-16	D516MA	EDCrMn-A-16
D256	EDMn-A-16	D517	EDCr-B-15
D266	EDMn-B-16	D547	EDCrNi-A-15
D276	EDCrMn-B-16	D547Mo	EDCrNi-B-15
D277	EDCrMn-B-15	D557	EDCrNi-C-15
D287	—	D567	EDCrMn-D-15
D307	EDD-D-15	D577	EDCrMn-C-15
D317	EDRCrMoWV-A3-15	D582	—
D317A	—	D608	EDZ-A1-08
D322	EDRCrMoWV-A1-03	D618	—
D327	EDRCrMoWV-A1-15	D628	—
D327A	EDRCrMoWV-A2-15	D632A	—
D337	EDRCrW-15	D638	—
D386	—	D638Nb	—
D392	EDRCrMnMo-03	D642	EDZCr-B-03
D397	EDRCrMnMo-15	D646	EDZCr-B-16
D406	EDRCrMoWCo-A-16	D656	EDZ-A2-16
D417	EDD-B1-15	D658	相当 EDZ-E4-08
D427	—	D667	EDZCr-C-15
D437	—	D678	EDZ-B1-08
D502	EDCr-A1-03	D687	EDZCr-D-15
D507	EDCr-A1-15	D707	EDW-A-15

续表

牌号	型号 (GB984-1985)	牌号	型号 (GB984-1985)
D507Mo	EDCr-A2-15	D707Ni	—
D507MoNb	EDCr-A1-15	D717	EDW-B-15
D717A	EDW-B-15	D017	EDTV-15
D802	EDCoCr-A-03	D022	—
D812	EDCoCr-B-03	D027	—
D822	EDCoCr-C-03	D036	—
D842	EDCoCr-D-03	D047	—
D916	—	—	—
D007	EDTV-15	—	—

表 2-9 结构钢焊条的主要性能及用途
(摘自 GB/T5117-1995、GB/T5118-1995)

牌号	型号	药皮 类型	电源 种类		
				σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa
J422	E4303	钛钙型	交、 直流	420	330
J422CrCu	E4303	钛钙型	交、 直流	420	330
J501 Fe15	E5024	铁粉钛型	交、 直流	490	400
J502	E5003	钛钙型	交、 直流	490	400
J502NiCu	E5003-G	钛钙型	交、 直流	490	390
J502WCu	E5003-G	钛钙型	交、 直流	490	390

4. 结构钢焊条的主要性能及用途

结构钢焊条包括碳钢焊条和部分低合金钢焊条,主要用来焊接碳素结构钢、低合金高强钢和合金结构钢等。主要对焊条的力学性能如强度、伸长率、冲击韧度等有一定的要求。各种不同牌号的结构钢焊条不仅力学性能不同,焊条的冶金性能、工艺性能、抗裂性能等也有很大的差异,使用时要注意这些焊条的特点。结构钢焊条的主要性能及用途见表 2-9。

主要力学性能(\geq)		主要用途
δ_5 (%)	A_{KV}/J	
22	27	焊接较重要的低碳钢和同等强度的低合金钢如 Q295(09Mn2)等, J422Y 宜用低电压下焊接薄板
22	27(0℃)	用于 12MnCrCu 等耐候钢及耐海水腐蚀钢的焊接
17	27(0℃)	用于机车车辆、造船、锅炉等结构的焊接, 熔敷效率 150%
20	27(0℃)	焊接 16Mn 及相同强度等级低合金钢的一般结构
20	27(0℃)	用于 Q345(09MnCuPTi)等耐候钢及耐海水腐蚀钢的焊接
20	27(0℃)	

牌号	型号	药皮类型	电源种类		
				σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa
J503	E5001	钛铁矿型	交、直流	490	400
J506	E5016	低氢钾型	交、直流	490	400
J506X	E5016	低氢钾型	交、直流	490	400
J506RH	E5016-G	低氢钾型	交、直流	490	410
J507NiCu	E5015-G	低氢钠型	直流	490	390
J507	E5015	低氢钠型	直流	490	400
J507Mo	E5015-G	低氢钠型	直流	490	390
J507MoNb	E5015-G	低氢钠型	直流	490	390
J507MoW	E5015-G	低氢钠型	直流	490	390
J507FeNi	E5018-G	铁粉低氢型	直流	490	390
J507MoWNbB	E5015-G	低氢钠型	直流	490	390

续表

主要力学性能(\geq)		主要用途
δ_5 (%)	A_{KV}/J	
20	27(0℃)	焊接低碳钢及相同强度等级低合金钢的一般结构
22	47(-20℃)	用于中碳及 Q345(16Mn)、09Mn2Si 等低合金钢结构的焊接
22	27(-30℃)	向下立焊专用焊条,用于 Q345(16Mn)、Q390(15MnTi) 等角接或搭接焊缝
22	34(-40℃)	高韧性超低氢焊条,用于低合金钢重要产品的焊接,如压力容器、船舶等
22	27(-30℃)	用于相同强度等级的耐候钢及耐海水腐蚀钢的焊接
22	27(-30℃)	用于中碳钢及 Q345(16Mn)、09Mn2Si、Q295(09MnV) 等低合金钢重要产品焊接
22	27(-30℃)	用于含 Mo、V 或低 Al 的耐腐蚀钢焊接,如 12MoVA1 及抗 400℃ 高温 S、H ₂ S 腐蚀钢等
22	27(-30℃)	用于石油化工用钢 12SiMoVNb、15MoV 等钢种的焊接,具有良好的耐 H ₂ S、H ₂ 、NH ₃ 介质腐蚀性能
22	27(-30℃)	用于 10MoWVNb 等高温、高压条件下耐 H ₂ 腐蚀或氢、氮、氨腐蚀钢的焊接
22	53(-40℃)	用于中碳钢及低合金钢压力容器的焊接
22	27(常温)	用于中温、高压(400℃, 320 大气压)条件下耐氢、氮、氨腐蚀钢的焊接如 12SiMoVNb 等

牌号	型号	药皮类型	电源种类	性能	
				σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa
J553	E5501-G	钛铁矿型	交、直流	540	440
J557MoV	E5515-G	低氢钠型	直流	540	440
J607	E6015-D1	低氢钠型	直流	590	490
J707	E7015-D2	低氢钠型	直流	690	590
J707Ni	E7015-G	低氢钠型	直流	690	590
J707RH	E7015-G	低氢钠型	直流	690	590
J707NiW	E7015-G	低氢钠型	直流	690	590
J757Ni	E7515-G	低氢钠型	直流	740	640
J807	E8015-G	低氢钠型	直流	780	690
J857	E8515-G	低氢钠型	直流	830	780
J857Cr	E8515-G	低氢钠型	直流	830	780
J907	E9015-G	低氢钠型	直流	980	880
J107Cr	E1000015-G	低氢钠型	直流	980	880

续表

主要力学性能(≥)		主要用途
δ_5 (%)	A_{KV}/J	
16	—	用于 15MnV、15MnTi 等低合金钢一般结构的焊接
17	27(-40℃)	用于 Q390(15MnV)、Q420(15MnVN) 和 14MnMoVN 等低合金钢的焊接
15	27(-30℃)	用于焊接相应强度等级,并有再裂倾向低合金钢产品
15	27(-30℃)	用于 15MnVN、14MnMoVB、18MnMoNb 及 Cr9Mo 等低合金钢的焊接
15	27(-58℃)	具有良好的低温韧性,用于 14MnMoVB、HQ70 等低合金钢焊接
20	34(-50℃)	具有良好的低温韧性、塑性及抗裂性,用于相应强度等级低合金钢产品、船体结构的焊接
16	27(-50℃)	用于 15MnMoVN 等工程机械的焊接
13	27(-40℃)	具有较高的低温韧性,用于 14MnMoVbB、WELTEN80 等低合金钢的焊接
11	27(常温)	用于 14MnMoNbB 等相应强度等级的低合金钢的焊接
12	—	用于相应强度等级的低合金钢焊接
12	—	用于 14MnMoVB、30CrMo 及 35CrMo 等应强度等级低合金钢焊接
12	—	用于相应强度等级的低合金钢的焊接
12	—	用于 30CrMnSi、35CrMo 等 $\sigma_b \geq 980MPa$ 等级的低合金钢焊接

5. 钼及铬钼耐热钢焊条的主要性能及用途

耐热钢一般是指在高温下仍具有一定的化学稳定性、高温强度和持久强度的钢,按其合金成分的含量可分为低合金、中合金和高合金耐热钢。一般将合金元素的总质量分数在5%以下时称为低合金耐热钢,6%~12%时为中合金耐热钢,高于13%的称为高合金耐热钢。按显微组织不

表 2-10 钼及铬钼耐热钢焊条的主要性能及用途
(摘自 GB/T5118-1995)

焊条 牌号	型号	药皮 类型	电流 种类	主要化学成分 (质量分数%)	σ_b /MPa
R102	E5003-A1	钛钙型	交直流	Mo \approx 0.5	490
R107	E5015-A	低氢钠型	直流		
E202	E5503-B1	钛钙型	交直流	Cr \approx 0.5 Mo \approx 0.5	540
R207	E5515-B1	低氢钠型	直流	Cr \approx 0.5 Mo \approx 0.5	540
R302	E5503-B2	钛钙型	交直流	Cr \approx 1.0 Mo \approx 0.5	540
R307	E5515-B2	低氢钠型	直流	Cr \approx 1.0 Mo \approx 0.5	540

同则可分为珠光体型、马氏体型、铁素体型和奥氏体型耐热钢等。这里主要是讲珠光体型和马氏体型耐热钢焊接时所选用的焊条,这类焊条属于低合金钢焊条,其主要技术要求是熔敷金属的化学成分和相应的力学性能。具体见表 2-10。

奥氏体型耐热钢焊接时所选用的焊条,分列于不锈钢焊条中。

主要力学性能			主要用途
$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	$\delta_5(\%)$	A_{KV}/J	
390	20	—	用于焊接工作温度在 510℃ 以下的锅炉管道(如 15Mo)氩弧焊打底后盖面焊,也可焊接一般低合金高强度钢
	22	47	用于焊接工作温度在 510℃ 以下的锅炉管道(如 15Mo 等),也可用于焊接一般低合金高强度钢
440	16	—	用于焊接工作温度在 510℃ 以下的 12CrMo 等珠光体耐热钢,如蒸汽管道、过热器管道等
440	17	27	同上
440	16	—	用于工作温度 520℃ 以上的锅炉管道氩弧焊打底后的盖面焊
440	17	47	用于焊接工作温度 520℃ 以下的锅炉管道、高压容器、石油精炼设备等,也可用于焊接 30CrMnSi 铸钢件

焊条 牌号	型号	药皮 类型	电流 种类	主要化学成分 (质量分数%)	σ_b /MPa
R310	E5500-B2-V	特殊型	交直流	Cr \approx 1.0 Mo \approx 0.5 V \approx 0.2	540
R312	E5503-B2-V	钛钙型	交直流		
R317	E5515-B2-V	低氢钠型	直流		
R327	E5515-B2-V	低氢钠型	直流	Cr \approx 1.2 Mo \approx 0.8 V \approx 0.3 W \approx 0.4	540
R337	E5515-B2-VNb	低氢钠型	直流	Cr \approx 1.2 Mo \approx 0.8 V \approx 0.3 Nb \approx 0.2	540
R340	E5500-B3-VWB	特殊型	直流	Cr \approx 2.0 Mo \approx 0.5 V \approx 0.4 W \approx 0.4 Nb \approx 0.002	540
R347	E5515-B3-VWB	低氢钠型	直流		
R400	E6000-B3	特殊型	交、直流	Cr \approx 2.5 Mo \approx 1.0	590
R402	E6003-B3	钛钙型	交、直流		
R407	E6015-B3	低氢钠型	直流		

续表

主要力学性能			主要用途
$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	$\delta_5(\%)$	A_{KV}/J	
440	16	—	用于焊接工作温度 540℃ 以下的低合金耐热钢如 12CrMoV 等的焊接
440	16	—	用于工作温度 540℃ 以下的锅炉管道氩弧焊打底后的盖面焊
440	17	47	用于工作温度 540℃ 以下 12CrMoV 等的焊接, 如高温高压锅炉管道、石油裂化设备等
440	17	47	用于工作温度 570℃ 以下 15CrMoV 等珠光体型耐热钢的焊接
440	17	47	
440	17	—	用于工作温度 620℃ 以下相应的耐热钢焊接
440	17	47	
490	14	27	焊接 1Cr-2.5Mo 类珠光体型耐热钢
490	14	27	用于工作温度 550℃ 以下的高压管道氩弧焊打底后的盖面焊
490	15	47	焊接 1Cr-2.5Mo 类珠光体型耐热钢

焊条 牌号	型号	药皮 类型	电流 种类	主要化学成分 (质量分数%)	σ_b /MPa
R427	E5515-B3-VNb	低氢钠型	直流	Cr \approx 2.7 Mo \approx 1.0 V \approx 0.3 W \approx 0.4 Nb \approx 0.2	540
R507	E5MoV-15	低氢钠型	直流	Cr:4.5~6.0 Mo:0.4~0.7 V:0.1~0.35	520
R707	E9Mo-15	低氢钠型	直流	Cr:8.5~10 Mo:0.7~1.0	590
R717		低氢钠型	直流	Cr:8.0~9.5 Mo:0.8~1.1 V \approx 0.3 Ni:0.4~1.0 Nb:0.02~0.08	590
R802	E11MoVNi-16	钛钙型	交、直流	Cr:9.5~11.5 Mo:0.6~0.9 V:0.2~0.4 Ni:0.6~0.9	730
R807	E11MoVNi-15	低氢钠型	直流		
R817	E11MoVNiW-15	低氢钠型	直流	Cr:9.5~12 Mo:0.8~1.1 V:0.2~0.4 Ni:0.4~1.1 W:0.4~0.7	730
R827	—	低氢钠型	直流	Cr:9.5~12 Mo:0.8~1.1 V:0.2~0.4 Ni:0.4~1.1	730

续表

主要力学性能			主要用途
$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	$\delta_5(\%)$	A_{KV}/J	
440	17	27	用于焊接 620℃ 以下的 12Cr3MoVSiTiB、12Cr2MoWVB 耐热钢等
—	14	—	用于焊接 1Cr5Mo 类珠光体耐热钢
—	16	—	用于焊接 1Cr9Mo1 类珠光体耐热钢及过热器管道的焊接
—	16	—	用于焊接工作温度在 600 ~ 650℃ 的 1Cr9MoNiV 等耐热钢
—	15	—	用于焊接工作温度在 565℃ 以下的 1Cr11MoV 耐热钢
—	15	—	
—	15	—	用于焊接工作温度在 580℃ 以下的 1Cr11MoNiVW 等热强钢的焊接
—	15	—	用于焊接工作温度在 565℃ 以下的 1Cr11MoV 及 1Cr11MoNiV 耐热钢

6. 低温钢焊条的性能及用途

通常把 $-40 \sim -273^{\circ}\text{C}$ 低温条件下使用的钢称为低温钢。低温钢最重要的性能是具有良好的低温韧性和抗低温脆性破坏的能力。低温钢一般以不同的使用温度分级： -40°C 、 -60°C 、 -70°C 、 -80°C 、 -90°C 、 -100°C 、 -196°C 、 -273°C 。其中 $-196^{\circ}\text{C} \sim -273^{\circ}\text{C}$ 也称为超低温钢。

表 2-11 低温钢焊条的性能及用途

焊条牌号	型号	药皮类型	电流种类	主要化学成分(%)
J507NiTiB	E5015-G	低氢钠型	直流反接	Mn \leq 1.60 Ni:0.3~0.65 Ti \approx 0.03 B \approx 0.0035
W607	E5015-G	低氢钠型	直流反接	Mn:1.2~1.60 Ni:0.6~1.0 Ti \leq 0.03 B \leq 0.003
W707		低氢钠型	直流反接	Mn \approx 2.0 Cu \approx 0.7
W807	E5515-G	低氢钠型	直流反接	Mn:1.1~1.4 Ni:1.2~1.6
W107	E5515-C2L	低氢钠型	直流反接	Mn:0.5~1.0 Mo \leq 0.2 Ni:3.1~3.7
W107Ni		低氢钠型	直流反接	Mn \approx 0.5 Mo \approx 0.3 Ni:4.0~5.5 Cu \approx 0.5

低温钢主要用于低温状态下的容器、管道、结构设备等。随着天然气、石油化工的发展,低温钢的应用日益增多。采用焊条电弧焊时,一般情况下,当使用温度在 -45°C 以上时,可采用高韧性的低氢焊条;在 -60°C 以下时选用含Ni的低温钢焊条;在 -100°C 时通常选用 $\omega(\text{Ni}) > 3.5\%$ 或更高含Ni量并含有一定量Mo的低温钢焊条;对超低温使用的结构则应选用奥氏体不锈钢焊条。

低温钢焊条的性能及用途见表2-11。

主要力学性能				主要用途
σ_b	$\sigma_{0.2}$	δ_5	A_{KV}	
490	410	24	47	焊接在低温下工作的16MnDR钢
490	390	22	27	焊接在 -60°C 低温钢结构,如09MnNiNb、E36等
490		18	27(-70°C)	焊接在 -70°C 低温钢结构,如09Mn2V、09MnTiCuRE等
490	390	22	27(-90°C)	焊接在 -80°C 低温工作的1.5Ni结构钢
490	390	22	27(-100°C)	焊接在 -100°C 低温工作的3.5Ni结构钢
490	360	16	27(-100°C)	焊接06AlNbCuN、06MnNb及3.5Ni钢结构

7. 不锈钢焊条的主要性能和用途

通常说的不锈钢,实际上是不锈钢和耐酸钢的总称。不锈钢是指主加元素铬含量大于 12%,使钢处于钝化状态,具有不锈特性的钢;耐酸钢是指在酸、碱、盐等强腐蚀介质中耐蚀的钢,为此在铬含量大于 12% 的基础上,还加入使钢钝化的 Ni、Mo 等合金元素。

不锈钢按金相组织的不同可分为铁素体型、马氏体型、奥氏体型和奥氏体加铁素体型。

不锈钢焊条可分为铬不锈钢焊条和铬镍不锈钢焊条两大类。

铬不锈钢焊条有 Cr13 型和 Cr17 型两种。

表 2-12 不锈钢焊条的型号、牌号、主要成分、性能及用途

焊条牌号	型号	药皮类型	电流种类	主要成分(%)
G202	E410-16	钛钙型	交、直流	C≤0.12 Mn≤1.0 Cr:11.0~13.5
G207	E410-15	低氢钠型	直流	
G217	E410-15	低氢钠型	直流	
G302	E430-16	钛钙型	交、直流	C≤0.10 Mn≤1.0 Cr:15.0~18.0 Ni≤0.60 Mo≤0.75

焊接 Cr13 型不锈钢时,若选用同类的不锈钢焊条 (G202、G207),则应预热到 300℃ 以上,焊后 700℃ 左右回火缓冷。焊件若不能进行焊后热处理时,应选用铬镍不锈钢焊条如 A107、A207 等。

焊接 Cr17 型不锈钢时,可选用同类的不锈钢焊条 (G302、G307),焊前预热 200℃,焊后 800℃ 回火;也可采用铬镍不锈钢焊条如 A107、A207 等,焊后可不进行热处理。

铬镍不锈钢焊条具有良好的耐腐蚀和抗氧化性能,广泛应用于化工、化肥、石油、医疗器械等设备制造。为方便用户选用,将不锈钢焊条的型号、牌号、主要成分、性能及用途列于表 2-12。

力学性能 ≥		主要用途
σ_b /MPa	δ_5 (%)	
450	20	用于焊接 0Cr13、1Cr13 等铬不锈钢,也可用于耐腐蚀、耐磨表面的堆焊
450	20	
450	20	
450	20	用于焊接耐腐蚀、耐热的 Cr17 不锈钢结构

焊条牌号	型号	药皮类型	电流种类	主要成分(%)
G307	E430-15	低氢钠型	直流	同 G302
A002	E308L-16	钛钙型	交、直流	C ≤ 0.04 Mn: 0.5 ~ 2.5 Cr: 18.0 ~ 21.0 Ni: 9 ~ 11 Mo ≤ 0.75
A022	E316L-15	钛钙型	交、直流	C ≤ 0.04 Mn: 0.5 ~ 2.5 Cr: 17.0 ~ 20.0 Ni: 11.0 ~ 14.0 Mo: 2.0 ~ 3.0
A032	E317Mo-CuL-16	钛钙型	交、直流	C ≤ 0.04 Mn: 0.5 ~ 2.5 Cr: 18.0 ~ 21.0 Ni: 12.0 ~ 14.0 Mo: 2.0 ~ 2.5 Cu ≤ 2.0
A042	E309MoL-16	钛钙型	交、直流	C ≤ 0.04 Mn: 0.5 ~ 2.5 Cr: 22.0 ~ 25.0 Ni: 12.0 ~ 14.0 Mo: 2.0 ~ 3.0 Cu ≤ 0.75
A052		钛钙型	交、直流	C ≤ 0.04 Mn ≤ 2.0 Cr: 17.0 ~ 22.0 Ni: 22.0 ~ 27.0 Mo: 4.0 ~ 5.5 Si ≤ 1.0

续表

力学性能 \geq		主要用途
σ_b /MPa	δ_5 (%)	
450	20	用于焊接耐腐蚀耐热的 Cr17 不锈钢结构
520	35	用于焊接 0Cr19Ni10、0Cr19Ni11Ti 不锈钢材料
490	30	焊接尿素、合成纤维等设备的 不锈钢结构,也可用于焊后不进行 热处理的异种钢焊接
540	25	用于焊接在稀、中浓度硫酸介 质中工作的同类超低碳不锈钢结 构
540	25	用于焊接同类超低碳不锈钢 结构及异种钢的焊接
490	25	用于耐酸的化学反应器、分离 器及异种钢的焊接

焊条牌号	型号	药皮类型	电流种类	主要成分(%)
A062	E309L-16	钛钙型	交、直流	C ≤ 0.04 Mn: 0.5 ~ 2.5 Cr: 22.0 ~ 25.0 Ni: 12.0 ~ 14.0 Mo ≤ 0.75 Cu ≤ 0.75
A072		钛钙型	交、直流	C ≤ 0.04 Mn: 1.2 ~ 2.0 Cr: 27.0 ~ 29.0 Ni: 14.0 ~ 16.0 Si ≤ 0.80
A082		钛钙型	交、直流	C ≤ 0.035 Mn ≤ 2.0 Cr: 17.0 ~ 21.0 Ni: 13.0 ~ 15.0 Si: 3.5 ~ 4.5 Mo ≤ 0.5
A101	E308-16	钛型	交、直流	C ≤ 0.08 Mn: 0.5 ~ 2.5 Cr: 18.0 ~ 21.0 Ni: 9.0 ~ 11.0 Si ≤ 0.90 Mo ≤ 0.75
A102	E308-16	钛钙型	交、直流	Cu ≤ 0.75
A107	E308-15	低氢钠型	直流	
A112		钛钙型	交、直流	C ≤ 0.08 Mn ≤ 2.5 Cr: 17.0 ~ 22.0 Ni: 7.0 ~ 11.0 Si ≤ 1.5
A117		低氢钠型	直流	

续表

力学性能 \geq		主要用途
σ_b /MPa	δ_5 (%)	
520	25	用于合成纤维、石油化工设备的不锈钢结构及异种钢、复合钢等的堆焊
540	25	用于 00Cr25Ni20Nb 钢的焊接
540	25	用于 00Cr17Ni15Si4Nb、00Cr14Ni14Si4 等浓硝酸腐蚀钢的焊接或焊补
550	35	用于焊接不超过 300℃ 的耐腐蚀 0Cr19Ni11Ti、0Cr19Ni9 不锈钢结构
540	25	用于焊接耐腐蚀要求不高的 Cr19Ni9 型不锈钢
540	25	

焊条牌号	型号	药皮类型	电流种类	主要成分(%)
A122		钛钙型	交、直流	C≤0.08 Mn≤2.5 Cr:20.0~24.0 Ni:7.0~10.0 Si≤1.5
A132	E347-16	钛钙型	交、直流	C≤0.08 Mn:0.5~2.5 Cr:18.0~21.0 Ni:9.0~11.0 Si≤0.90 Mo≤0.75 Cu≤0.75
A137	E347-15	低氢钠型	直流	
A146		低氢型	交、直流	C≤0.12 Mn:4.0~7.0 Cr:19.0~22.0 Ni:8.0~11.0
A172	E307-16	钛钙型	交、直流	C:0.04~0.14 Mn:3.3~4.75 Cr:18.0~21.5 Ni:9.0~10.7 Si≤0.90 Mo:0.5~1.5 Cu≤0.75
A201	E316-16	钛型	交、直流	C≤0.08 Mn:0.5~2.5 Cr:17.0~20.0 Ni:11.0~14.0 Si≤0.90 Mo:2.0~3.0 Cu≤0.75
A202	E316-16	钛钙型	交、直流	

续表

力学性能 \geq		主要用途
σ_b /MPa	δ_5 (%)	
540	25	用于焊接工作温度低于 300℃, 要求抗裂及耐腐蚀性能较高的 Cr19Ni9 型不锈钢结构
520	25	用于焊接重要的耐腐蚀、含钛稳定的 0Cr19Ni11Ti 型不锈钢
540	20	用于焊接重要的 0Cr20Ni10Mn6 不锈钢结构
590	30	适于 ASTM307 钢及其他异种钢的焊接, 也可用于耐冲击腐蚀钢和过渡层的堆焊, 如高锰钢等
520	30	用于焊接 0Cr18Ni12Mo2 等有机或无机酸介质中工作的不锈钢设备

焊条牌号	型号	药皮类型	电流种类	主要成分(%)
A207	E316-15	低氢钠型	直流	$C \leq 0.08$ $Mn: 0.5 \sim 2.5$ $Cr: 17.0 \sim 20.0$ $Ni: 11.0 \sim 14.0$ $Si \leq 0.90$ $Mo: 2.0 \sim 3.0$ $Cu \leq 0.75$
A212	E318-16	钛钙型	交、直流	$C \leq 0.08$ $Mn: 0.5 \sim 2.5$ $Cr: 17.0 \sim 20.0$ $Ni: 11.0 \sim 14.0$ $Si \leq 0.90$ $Mo: 2.0 \sim 3.0$ $Nb: 6 \times C \sim 1.0$
A222	E317Mo Cu-16	钛钙型	交、直流	$C \leq 0.08$ $Mn: 0.5 \sim 2.5$ $Cr: 18.0 \sim 21.0$ $Ni: 12.0 \sim 14.0$ $Si \leq 0.90$ $Mo: 2.0 \sim 2.5$ $Cu \leq 2.0$
A232	E318V-16	钛钙型	交、直流	$C \leq 0.08$ $Mn: 0.5 \sim 2.5$ $Cr: 17.0 \sim 20.0$ $Ni: 11.0 \sim 14.0$ $Si \leq 0.90$ $Mo: 2.0 \sim 2.5$ $Cu \leq 0.5$ $V: 0.3 \sim 0.7$
A237	E318V-15	低氢钠型	直流	

续表

力学性能 \geq		主要用途
σ_b /MPa	δ_5 (%)	
520	30	用于焊接 0Cr18Ni12Mo2 等不锈钢设备,也可焊接焊后不进行热处理的高铬钢、异种钢
550	25	用于焊接重要的 0Cr18Ni12Mo2、00Cr17Ni14Mo2 等不锈钢
540	25	焊接相同类型的含铜不锈钢设备
		用于要求耐热又要求一定耐蚀的 Cr19Ni10 及 0Cr18Ni12Mo2 不锈钢结构

焊条牌号	型号	药皮类型	电流种类	主要成分(%)
A242	E317-16	钛钙型	交、直流	C ≤ 0.08 Mn: 0.5 ~ 2.5 Cr: 18.0 ~ 21.0 Ni: 12.0 ~ 14.0 Si ≤ 0.90 Mo: 3.0 ~ 4.0 Cu ≤ 0.75
A301	E309-16	钛型	交、直流	C ≤ 0.15 Mn: 0.5 ~ 2.5 Cr: 22.0 ~ 25.0 Ni: 12.0 ~ 14.0 Si ≤ 0.90 Mo ≤ 0.75
A302	E309-16	钛钙型	交、直流	Cu ≤ 0.75
A307	E309-15	低氢钠型	直流	
A312	E309Mo-16	钛钙型	交、直流	C ≤ 0.12 Mn: 0.5 ~ 2.5 Cr: 22.0 ~ 25.0 Ni: 12.0 ~ 14.0 Si ≤ 0.90 Mo: 2.0 ~ 3.0 Cu ≤ 0.75
A317	E309Mo-15	低氢钠型	直流	
A402	E310Mo-16	钛钙型	交、直流	C: 0.08 ~ 0.20 Mn: 1.0 ~ 2.5 Cr: 25.0 ~ 28.0 Ni: 20.0 ~ 22.5 Si ≤ 0.75 Mo ≤ 0.75 Cu ≤ 0.75

续表

力学性能 \geq		主要用途
σ_b/MPa	$\delta_5(\%)$	
550	25	用于相同类型的不锈钢材料及复合钢、异种钢的焊接
		用于焊接相同类型的不锈钢、不锈钢衬里、异种钢以及高铬钢、高锰钢等
		用于焊接耐酸腐蚀的同类不锈钢容器,也可作不锈钢衬里、复合板、异种钢的焊接
		用于焊接耐硫酸腐蚀的同类不锈钢,复合板、异种钢的焊接
		用于高温下同类不锈钢的焊接,也可用于硬化性大的铬钢以及异种钢的焊接

焊条牌号	型号	药皮类型	电流种类	主要成分(%)
A407	E310-15	低氢型	直流	同 A402
A412	E310Mo-16	钛钙型	交、直流	C ≤ 0.12 Mn: 1.0 ~ 2.5 Cr: 25.0 ~ 28.0 Ni: 20.0 ~ 22.0 Si ≤ 0.75 Mo ≤ 0.75 Cu ≤ 0.75
A422	-	钛钙型	交、直流	C ≤ 0.20 Mn: 5.0 ~ 10 Cr: 23.0 ~ 27.0 Ni: 16.0 ~ 20.0 Si ≤ 1.2
A427	-	低氢型	直流	
A432	E310H-16	钛钙型	交、直流	C: 0.35 ~ 0.45 Mn: 1.0 ~ 2.5 Cr: 25.0 ~ 28.0 Ni: 20.0 ~ 22.5 Si ≤ 0.75 Mo ≤ 0.75 Cu ≤ 0.75
A462		钛钙型	交、直流	C: 0.15 ~ 0.30 Mn: 1.5 ~ 2.0 Cr: 25.0 ~ 28.0 Ni: 30.0 ~ 35 Si: 0.9 ~ 1.3 Mo: 0.4 ~ 0.6
A502	E16-25 MoN-16	钛钙型	交、直流	C ≤ 0.12 Mn: 0.5 ~ 2.5 Cr: 14.0 ~ 18.0 Ni: 22.0 ~ 27.0 Si ≤ 0.90 Mo: 5.0 ~ 7.0 Cu ≤ 0.5

续表

力学性能 \geq		主要用途
σ_b /MPa	δ_5 (%)	
550	25	同 A402
550	25	用于高温条件下工作的同类不锈钢焊接,也可焊接衬里、异种钢等。在焊接淬硬性高的碳钢、低合金钢时韧性极好
540	30	用于 1Cr25Ni20Si2 奥氏体型不锈钢的焊接,如炉卷轨机卷筒,也可用于异种钢的焊接
620	10	专用于焊接 HK40 耐热钢
630	15	用于高温条件工作的炉管(如 HK-40、HP-40、RC-1、RS-1、IN-80)等焊接
610	30	用于焊接淬火状态下的低合金钢、中合金钢、异种钢、及刚度大的结构以及相应的热强钢等。如淬火状态下的 30CrMnSi、不锈钢和碳钢的焊接

焊条牌号	型号	药皮类型	电流种类	主要成分(%)
A507	E16-25-MoN-15	低氢型	直流	同 A502
A512	E16-8-2-16	钛钙型	交、直流	C ≤ 0.10 Mn: 0.5 ~ 2.5 Cr: 14.5 ~ 16.5 Ni: 7.5 ~ 9.5 Si ≤ 0.60 Mo: 1.0 ~ 2.0 Cu ≤ 0.75
A607	E330MoMn-WNb-15	低氢型	直流	C ≤ 0.20 Mn ≤ 3.5 Cr: 15.0 ~ 17.0 Ni: 33.0 ~ 37.0 Si ≤ 0.70 Mo: 2.0 ~ 3.0 W: 2 ~ 3 Nb: 1 ~ 2
A707	—	低氢型	直流	C ≤ 0.15 Mn: 11 ~ 14 Cr: 16.0 ~ 18.0 Si ≤ 1.0 Mo: 1.0 ~ 2.0 N: 0.17 ~ 0.3
A717	—	低氢型	直流	C: 0.15 ~ 0.25 Mn: 14 ~ 16 Cr: 14.0 ~ 16.0 Si ≤ 1.0 Ni: 1.5 ~ 3.0 N: 0.1 ~ 0.3
A802	—	钛钙型	交、直流	C ≤ 0.10 Mn ≤ 2.5 Cr: 18 ~ 21 Ni: 17 ~ 19 Si ≤ 1.0 Mo: 3 ~ 5 Cu: 1.5 ~ 2.5

续表

力学性能 \geq		主要用途
σ_b /MPa	δ_5 (%)	
610	30	同 A502
550	35	主要用于高温高压不锈钢管路的焊接
590	25	用于在 850 ~ 900℃ 高温下工作的同类型不锈钢的焊接及制氢转化炉中集合管和膨胀管(如 Cr20Ni32、Cr18Ni37)的焊接
690	30	用于醋酸、维尼纶、尿素等生产设备的 Cr17Mn13MoN (Q255 钢)的焊接
690	25	用于 2Cr15Mn15Ni2N 低磁不锈钢电物理装置结构件或 1Cr18Ni11Ti 异种钢焊接
540	25	用于焊接硫酸浓度的质量分数为 50% 和一定工作温度及大气压力的制造合成橡胶的管道以及 Cr18Ni18Mo2Cu2Ti 等钢种

焊条牌号	型号	药皮类型	电流种类	主要成分(%)
A902	E320-16	钛钙型	交、直流	$C \leq 0.07$ $Mn: 0.5 \sim 2.5$ $Cr: 19.0 \sim 21$ $Si \leq 0.6$ $Mo: 2.0 \sim 3.0$ $Nb: 8 \times C \sim 1.0$

8. 堆焊焊条的主要性能及用途

堆焊是用焊接工艺将填充金属熔敷在金属材料或零部件表面的技术。堆焊可以获得特定的表面性能和表面尺寸,其目的是提高工作面的耐磨性、耐腐蚀或耐热等特定性能,或在韧性好的母材上堆焊一个很硬的金属表面(如模具堆焊)从而取得最佳的性能组合,提高其综合性能,达到延长设备或零部件的服役寿命,降低成本,合理利用合金元素的目的。

表 2-13 堆焊焊条的成分、性能及用途(GB/T 984-2001)

焊条牌号	型号	药皮类型	电流种类
D102	EDPMn2-03	钛钙型	交、直流
D106	EDPMn2-16	低氢钾型	
D107	EDPMn2-15	低氢钠型	直流

续表

力学性能 \geq		主要用途
σ_b/MPa	$\delta_5(\%)$	
550	30	用于硫酸、硝酸、磷酸和氧化性酸腐蚀介质中 Carpenter20Cb 镍合金的焊接

堆焊已广泛地用于矿山、冶金、农机、建筑、电站、铁路、车辆、石油、化工、核动力、航天及工具、模具的制造、修理和保养。

堆焊焊件及工作条件十分复杂,对焊条电弧焊来说,堆焊时必须根据不同的使用要求,来选用不同合金系统和不同硬度等级的焊条,采用相应的堆焊工艺,才能取得满意的效果。根据 GB/T 984-2001 和《焊接材料产品样本》提供的,将堆焊焊条的牌号、型号、性能及用途列于表 2-13。

熔敷金属主要化学成分 (质量分数,%)	堆焊层硬度 (HRC \geq)	主要用途
C \leq 0.20 Mn \leq 3.5	22	用于堆焊或修复低碳钢、中碳钢及低合金钢磨损件的表面,如车轴、齿轮、搅拌机叶片等

焊条 牌号	型号	药皮 类型	电流种类
D112	EDPCrMo-A1-03	钛钙型	交、直流
D126	EDPMn4-16	低氢钾型	
D127	EDPMn4-15	低氢钠型	直流
D132	EDPCrMo-A2-03	钛钙型	交、直流
D146	EDPMn4-16	低氢钾型	
D156	—		
D167	EDPMn6-15	低氢钠型	直流
D172	EDPCrMo-A3-03	钛钙型	交、直流
D207	EDPCrMnSi-A1-15	低氢钠型	直流

续表

熔敷金属主要化学成分 (质量分数,%)	堆焊层 硬度 (HRC \geq)	主要用途
C \leq 0.20 Cr \leq 2.0 Mo \leq 1.5 其他元素 总量 \leq 2.0	22	用于受磨损的低、中碳钢或低合金钢机件表面,特别适用于矿山机械、农机的堆焊及修补
C \leq 0.20 Mo \leq 4.5	28	用于堆焊磨损的中、低碳钢或低合金钢的表面,如车轴、齿轮、搅拌机叶片、行走主动轮等
C \leq 0.50 Cr \leq 3.0 Mo \leq 1.5	30	用于受磨损的低、中碳钢或低合金钢机件表面,特别适于矿山机械、农机的堆焊及修补
C \leq 0.20 Mn \leq 4.5 其他元素 总量 \leq 2.0		用于堆焊各种受磨损的碳钢件表面及碳钢道岔
C \approx 0.10 Mn \approx 0.70 Cr \approx 3.2 Si \approx 0.50	\approx 31	用于轧钢机零件的堆焊,如槽滚轧机、铸钢齿轮、拖拉机驱动轮等
C \leq 0.45 Mn \leq 6.5 Si \leq 1.0	50	用于农机、建筑机械磨损部分的堆焊,如推土机、动力铲的滚轮等
C \leq 0.50 Cr \leq 2.5 Mo \leq 2.5	40	用于堆焊齿轮、挖泥斗、拖拉机刮板、矿山机械等磨损件
C:0.5~1.0 Mn \leq 2.5 Cr \leq 3.5 Si \leq 1.0	50	用于堆焊推土机刀片、螺旋桨等磨损零件



焊条 牌号	型号	药皮 类型	电流种类
D212	EDPCrMo-A4-03	钛钙型	交、直流
D227	EDPCrMoV-A2-15	低氢 钠型	直流
D237	EDPCrMoV-A1-15		
D246	EDPCrSi-B-16	低氢钾型	交、直流
D256	EDMn-A-16		
D266	EDMn-B-16		

续表

熔敷金属主要化学成分 (质量分数,%)	堆焊层 硬度 (HRC \geq)	主要用途
C:0.3~0.6 Cr \leq 5.0 Mo \leq 4.0	50	用于单层或多层堆焊各种受磨损的机械表面,如齿轮、挖斗、矿山机械等
C:0.45~0.65 Cr:4.0~5.0 Mo:2.0~3.0 V:4.0~5.0	55	用于承受一定量冲击载荷的耐磨损件表面堆焊,如掘进机盘形滚刀的受磨损面
C:0.3~0.6 Cr:8.0~10.0 V:0.5~1.0 Mo \leq 3.0 其他元素 总量 \leq 4.0	50	用于堆焊受泥沙磨损和腐蚀破坏的水力机械,如挖斗、矿山机械等
C \leq 1.0 Mn \leq 0.8 Si:1.5~3.0 Cr:6.5~8.5 B:0.5~0.9	60	用于堆焊常温及非腐蚀条件下,带有磨粒磨损的冲击载荷条件下工作的零件,如矿山、水泥机械设备等
C \leq 1.10 Mn:11.0~16.0 Si \leq 1.3 其他总量 \leq 5.0	HBS \geq 170	用于各种破碎机、高锰钢轨、推土机斗受冲击而易磨损部分的堆焊
C \leq 1.10 Mn:11.0~16.0 Mo \leq 2.5 Si:0.3~1.3 其他总量 \leq 1.0	HBS \geq 170	用于各种破碎机、高锰钢轨、道岔、推土机等受冲击而易磨损部分的堆焊

焊条 牌号	型号	药皮 类型	电流种类
D276	EDCrMn-B-16	低氢钾型	交、直流
D277	EDCrMn-B-15	低氢钠型	直流
D287	—		
D307	EDD-D-15	低氢钠型	直流
D317	EDRCrMoWV-A3-15		
D322	EDRCrMoWV-A1-03	钛钙型	交、直流
D327	EDRCrMoWV-A1-15		
D337	EDRCrW-15	低氢钠型	直流

续表

熔敷金属主要化学成分 (质量分数,%)	堆焊层 硬度 (HRC \geq)	主要用途
C \leq 0.80 Mn:11.0~16.0 Si \leq 0.80 Cr:13.0~17.0 其他元素 总量 \leq 4.0	20	用于堆焊水轮机受气蚀破坏的零件,如水轮机的叶片导水叶等。也可用于要求耐磨性及韧性高的高锰钢制件的堆焊,如铁路道岔、螺旋输送机构、推土机刀片等
C \leq 0.15 Cr:12.0~16.0 Ni:4.0~6.0 其他总量 \leq 2.0	HV400	主要用于水泵、水轮机过流部件的制造及堆焊修复,还可用于同材质转轮的焊接
C:0.7~1.0 Cr:3.8~4.5 W:17~19.5 V:1.0~1.5 其他总量 \leq 1.5	55	可在中碳钢(如45、45Mn)刀具毛坯上堆焊刃口,也可用来修复磨损的刀具及其他工具
C:0.7~1.0 Cr:3.0~4.0 Mo:3.0~5.0 W:4.5~6.0 V:1.5~3.0	50	可作冲模堆焊,也可用于一般刀具的堆焊
C \leq 0.5 Cr \leq 5.0 W:7.0~10.0 Mo \leq 2.5 V \leq 1.0	55	用来堆焊各种冲模和切削刀具,也可用于修复要求耐磨损性能较高的机械零件
C:0.25~0.55 Cr:2.0~3.5 W:7.0~10.0 其他总量 \leq 1.0	48	用于铸铁或锻钢上堆焊锻模,也可用于锻模的修复

焊条 牌号	型号	药皮 类型	电流种类
D386	—	低氢钾型	交、直流
D392	EDRCrMnMo-03	钛钙型	交、直流
D397	EDRCrMnMo-15	低氢钠型	直流
D406	EDRCrMo WCo-A-16	低氢钾型	交、直流
D417	EDD-B1-15	低氢钠型	直流
D427	—		
D437	—		

续表

熔敷金属主要化学成分 (质量分数,%)	堆焊层硬度 (HRC \geq)	主要用途
C \leq 0.6 Cr \leq 3.0 W \leq 5.0 其他总量 \leq 3.0	50	用于冷冲模具的修复,或在低碳钢上堆焊制造各种模具、冲头等。也可修补热加工模具、轧辊等
C \leq 0.60 Cr \leq 2.0 Mo \leq 1.0 Mn \leq 2.5 Si \leq 1.0	40	用于堆焊铸钢或锻钢作坯体的热锻模,也用于修复5CrMnMo、5CrNiMo、5CrNiSiW钢制的旧锻模或高强度耐磨零件
C \leq 0.5 Mn \leq 2.0 Si \leq 2.0 Cr \leq 6.0 Mo \leq 5.0 W \leq 10.0 V \leq 2.0 Co \leq 12.0	\approx 50	用于耐高温刃具、模具的堆焊,加热剪切刀刃口的堆焊
C:0.5~0.9 Si \leq 0.8 Mn \leq 0.6 Cr:3.0~5.0 Mo:5.0~9.5 W:1.0~2.5 V:0.8~1.3	55	用于堆焊耐强烈冲击磨损、耐腐蚀、气蚀的场合,如单、双齿辊破碎机、叶片、高炉料钟等
C \approx 0.8 Cr \approx 11 C \approx 0.8 Cr \approx 11 Mn \approx 13	40	用于高温条件下具有高硬度和耐磨损部件的堆焊,如轧钢、炼钢装入机吊牙及钢坯剪切用双金属热剪刀的堆焊
C \approx 0.8 Cr \approx 15 Ni \approx 4 V \approx 3	40~42	



焊条 牌号	型号	药皮 类型	电流种类
D502	EDCr-A1-03	钛钙型	交、直流
D507	EDCr-A1-15	低氢钠型	直流
D512	EDCr-B-03	钛钙型	交、直流
D517	EDCr-B-15	低氢钠型	直流
D547	EDCrNi-A-15		
D557	EDCrNi-C-15		
D567	EDCrMn-D-15		
D577	EDCrMn-C-15		

续表

熔敷金属主要化学成分 (质量分数,%)	堆焊层 硬度 (HRC \geq)	主要用途
C \leq 0.15 Cr:10.0~16.0 其他元素 总量 \leq 2.5	40	这是一种通用性的表面堆焊用焊条。用于堆焊工作温度在450℃以下的碳钢或合金钢的轴及阀门等
C \leq 0.25 Cr:10~16 其他总量 \leq 5.0	45	是一种通用性的表面堆焊用焊条,比D502更硬、更耐磨,较难加工
C \leq 0.25 Cr:10.0~16.0 其他元素 总量 \leq 5.0	45	是一种通用性表面堆焊焊条,较D507更硬、更耐磨。用于堆焊轴、过热用蒸汽阀件等
C \leq 0.18 Mn:0.6~2.0 Si:4.8~6.4 Cr:15.0~18.0 Ni:7.0~9.0	HBS270~320	用于堆焊570℃以下工作的电站高压锅炉装置的阀门密封面及其他密封零件
C \leq 0.20 Mn:2.0~3.0 Si:5.0~7.0 Cr:18.0~20.0 Ni:7.0~10.0	37	用于工作温度低于600℃的高压阀门密封面的堆焊
C:0.5~0.8 Cr:9.5~12.5 Mn:24.0~27.0 Si \leq 1.30	HBS210	用于堆焊工作温度在350℃以下的中温中压球墨铸铁阀门密封面
C \leq 1.10 Cr:12.0~18.0 Si \leq 2.0 Mn:12.0~18.0 Mo \leq 4.0 Ni \leq 6.0	28	用于堆焊工作温度在510℃以下的中温高压阀门密封面,在闸阀中与D507Mo配合使用

焊条 牌号	型号	药皮 类型	电流种类
D582	—	钛钙型	交、直流
D608	EDZ-A1-08	石墨型	
D618	—	石墨型	交、直流
D628	—		
D638	—		
D642	EDZCr-B-03	钛钙型	交、直流
D646	EDZCr-B-16	低氢钾型	
D656	EDZ-A2-16		

续表

熔敷金属主要化学成分 (质量分数,%)	堆焊层硬度 (HRC ≥)	主要用途
C ≤ 0.10 Mn ≤ 2.5 Si ≤ 1.0 Cr ≥ 18.0 Ni ≥ 8.0	HBS ≈ 170	用于阀门密封面堆焊
C: 2.5 ~ 4.5 Cr: 3.0 ~ 5.0 Mo: 3.0 ~ 5.0	55	用于农机、矿山设备等承受沙粒磨损与轻微冲击的零件堆焊
C ≤ 3.0 Cr: 15.0 ~ 20.0 V ≤ 1.0 Mo: 1.0 ~ 2.0 W: 10.0 ~ 20.0	58	用于堆焊承受轻微的冲击载荷,但要求具有良好的抗磨粒磨损性能的耐磨表面,如锤击式磨煤机锤头、风扇式磨煤机冲击板等
C: 3.0 ~ 5.0 Cr: 20.0 ~ 35.0 Mo: 4.0 ~ 6.0 V ≤ 1.0	60	
C: 3.0 ~ 6.5 Cr: 25.0 ~ 40.0	60	用于堆焊要求具有良好的抗磨粒磨损性能或常温、高温耐磨耐腐蚀的工作表面,如喷粉机、碾路机、料斗、铲刀、泥浆泵等
C: 1.5 ~ 3.5 Mn ≤ 1.0 Cr: 22.0 ~ 32.0 其他元素 总量 ≤ 7.0	45	可用于常温和高温耐磨耐腐蚀的工作条件,如水轮机叶片、高压泵零件、高炉料钟等
C: 3.0 ~ 4.0 Mn ≤ 1.5 Si ≤ 2.5 Cr: 26.0 ~ 34.0 Mo: 2.0 ~ 3.0	60	用于中等冲击情况下主要受磨粒磨损的耐磨耐蚀件,如搅拌机、混砂机等

焊条 牌号	型号	药皮 类型	电流种类
D658	相当 EDZ-E4-08	石墨型	交、直流
D667	EDZCr-C-15	低氢钠型	直流
D678	EDZ-B1-08	石墨型	交、直流
D680	EDZCr-D-15	不规定	
D687	EDZCr-D-15	低氢钠型	直流
D698	EDZ-B2-08	石墨型	交、直流
D707	EDW-A-15	低氢钠型	直流

续表

熔敷金属主要化学成分 (质量分数,%)	堆焊层硬度 (HRC \geq)	主要用途
C:3.0~6.5 Nb:4.0~8.5 Cr:20.0~35.0 Mo:4.0~9.5 V:0.5~2.5 W:2.5~7.5	60	用于堆焊磨损严重部件及高温磨损部件
C:2.5~5.0 Mn \leq 8.0 Si:1.0~4.8 Cr:25.0~32.0 Ni:3.0~5.0	48	用于堆焊要求耐强烈磨损、耐腐蚀或耐气蚀的场合,如石油工业中离心裂化泵轴套等
C:1.5~2.2 W:8.0~10.0 其他元素总量 \leq 1.0	50	用于矿山和破碎机零件受磨粒磨损部分的堆焊
C:3.0~4.0 Mn:1.5~3.5 Cr:22.0~32.0 B:0.5~2.5 Si \leq 3.0 其他元素总量 \leq 6.0	58	用于要求强烈耐磨损的场合,机牙轮钻头小轴、煤孔挖掘机、提升斗、破碎机辊、泵框筒、混合器叶片等
C \leq 3.0 W:8.5~14.0 Cr:4.0~6.0 其他总量 \leq 3.0	60	用于矿山机械和泥浆泵的堆焊
C:1.5~3.0 W:40.0~50.0 Mn \leq 2.0 Si \leq 4.0	60	用于堆焊耐岩石强烈磨损之机械零件,如搅拌机叶片、推土机和泵浦叶片、高速混砂箱等

焊条 牌号	型号	药皮 类型	电流种类
D717	EDGWC3 相当 EDW-B-15	低氢钠型	直流
D802	EDCoCr-A-03	钛钙型	交、直流
D812	EDCoCr-B-03	钛钙型	交、直流
D822	EDCoCr-C-03		

续表

熔敷金属主要化学成分 (质量分数,%)	堆焊层 硬度 (HRC \geq)	主要用途
C:1.5~4.0 Mn \leq 3.0 Si \leq 4.0 Cr \leq 3.0 Ni \leq 3.0 Mo \leq 7.0 W:50.0~70.0 其他总量 \leq 3.0	60	用于堆焊耐岩石强烈磨损的机械零件,如三牙轮钻头的牙爪、鼓风机叶片、强力采煤滚筒、混凝土搅拌机叶片等
C:0.7~1.4 Cr:25.0~32.0 W:3.0~6.0 Mn \leq 2.0 Si \leq 2.0 Fe \leq 5.0 Co:余量 其他总量 \leq 4.0	40	用于在650℃左右仍有良好耐磨性和一定耐蚀性的焊件,如堆焊高温高压阀门、热剪刀刃等
C:1.0~1.7 Cr:25.0~32.0 W:7.0~10.0 Mn \leq 2.0 Si \leq 2.0 Fe \leq 5.0 Co:余量 其他总量 \leq 4.0	44	用于高温高压阀门、高压泵的轴套筒和内衬套筒及化纤设备的斩刀刃口等堆焊
C:1.75~3.0 Mn \leq 2.0 Si \leq 2.0 Cr:25.0~33.0 W:11.0~19.0 Fe \leq 5.0 Co:余量 其他总量 \leq 4.0	53	用于牙轮钻头轴承、锅炉的旋转叶轮、粉碎机刃口、螺旋选料机等堆焊

焊条 牌号	型号	药皮 类型	电流种类
D842	EDCoCr-D-03	钛钙型	交、直流
D916	—	低氢钾型	

9. 铸铁焊条的性能及用途

铸铁是碳的质量分数大于 2.11% 的 Fe-C 合金。实际上工业用铸铁一般是 Fe-C-Si 为主的多元合金。铸铁通常是按照碳在铸铁中的分布形态进行分类,一般可分为白口铸铁、灰铸铁、球墨铸铁、蠕墨铸铁和可锻铸铁。由于铸铁含碳量高、组织不均、塑性低、焊接性不良,在焊接过程中极易产生白口、裂纹和气孔等缺陷,在焊接时应特别注重焊接工艺和焊接材料的选用。对焊条电弧焊来说,目前国内可供选用的焊条有 20 余种,基本上可分为两大类,一类是同

续表

熔敷金属主要化学成分 (质量分数,%)	堆焊层 硬度 (HRC \geq)	主要用途
C:0.20~0.50 Cr:23.0~32.0 W \leq 9.5 Mn \leq 2.0 Si \leq 2.0 Fe \leq 5.0 Co:余量 其他总量 \leq 7.0	28~35	用于高温条件下受冲击和冷热交错的工件堆焊,如热锻模、阀门密封面等
C:2.0~3.0 Cr \leq 5.0 B:1.5~2.5 其他总量 \leq 5.0	64	用于受剧烈磨粒磨损部件的修复,如排风机叶轮、泥浆泵、煤矿溜槽等的堆焊

质焊缝型即铸铁型;另一类则是异质焊缝型如:钢(碳钢或合金结构钢等)、纯镍、镍-铁、镍-铜、镍-铁-铜、铁-铜等。

在选用焊条时,可按不同的铸铁材料,不同的切削加工要求,不同的服役条件和重要程度、不同的结构特点、刚度大小等进行选用。为方便铸铁焊条的选用,现将铸铁焊条的牌号、型号、主要性能用途列于表 2-14。

表 2-14 铸铁焊条的性能及用途(摘自 GB/T10044-1988)

焊条 牌号	型号	药皮 类型	电流 种类	焊缝金 属类型
Z100	EZFe-1	氧化铁型	交直流	碳钢
Z116	EZV	低氢钾型		
Z117	EZV	低氢钠型	直流	碳钢(高钒)
Z208	EZC	石墨型	交直流	铸铁
Z238	EZCQ			球墨铸铁
Z248	EZC			铸铁
Z258	EZCQ			球墨铸铁
Z268				
Z308	EZNi-1			纯镍
Z408	EZNiFe-1			镍铁合金
Z438	相当 EZNiFe-1			

熔敷金属主要化学成分(质量分数,%)	主要用途
—	一般用于铸铁件非加工面,对致密性及受力要求较低的缺陷部位的补焊
$C \leq 0.25$ $Si \leq 0.70$ $Mn \leq 1.5$ $V: 8 \sim 13$ Fe:余	用于铸铁件的补焊,如缸体、机架齿轮箱体等,也可用于焊补高强度铸铁及球墨铸铁件。焊件可不预热,多层焊时可切削加工,但加工性不如镍基焊条
$C: 2.0 \sim 4.0$ $Si: 2.5 \sim 6.5$ $Mn \leq 0.75$ Fe:余	用于焊补灰铸铁件的缺陷
$C: 3.2 \sim 4.2$ $Si: 3.2 \sim 4.0$ $Mn \leq 0.80$ 球化剂 $0.04 \sim 0.15$ Fe:余	用于焊补球墨铸铁
$C: 2.0 \sim 4.0$ $Si: 2.5 \sim 6.5$ $Mn \leq 0.75$ Fe:余	用于灰铸铁的补焊,特别适用于较大灰铸铁件的补焊
$C: 3.2 \sim 4.2$ $Si: 3.2 \sim 4.0$ $Mn \leq 0.8$ 球化剂适量 Fe:余 其他总量 ≤ 1.0	用于球墨铸铁的补焊,特别适用于较大球墨铸铁件的补焊
$C \approx 3.2$ $Si \approx 4.0$ $Mn \approx 0.5$ 球化剂适量 Fe:余	用于各种球墨铸铁的补焊,也可用于高强度灰口铸铁的补焊
$C \leq 2.0$ $Si \leq 2.5$ $Mn \leq 1.0$ $Fe \leq 8$ $Ni \geq 90$	适用于灰铸铁薄件及加工面的焊补,如汽缸盖、发动机座、齿轮箱、机床导轨等
$C \leq 2.0$ $Si \leq 2.5$ $Mn \leq 1.8$ $Ni: 45 \sim 60$ Fe:余	用于重要高强度灰口铸铁及球墨铸铁的焊补,如汽缸、齿轮、发动机座等
$C \leq 2.0$ $Si \leq 3.0$ $Mn \leq 1.8$ $Ni: 45 \sim 60$ 球化剂适量 Fe:余	加有适量球化剂,用于球墨铸铁、高强度铸铁加工和非加工面的焊补

焊条 牌号	型号	药皮 类型	电流 种类	焊缝金 属类型
Z508	EZNiCu-1	石墨型	交、直流	镍铜合金
Z607	—	低氢钠型	直流	铜铁混合
Z612	—	钛钙型	交、直流	

10. 铜及铜合金焊条的性能及用途

常用的铜及铜合金有四种：即纯铜、黄铜（Cu-Zn 合金）、白铜（Cu-Ni 合金）和青铜。实际上除 Cu-Zn、Cu-Ni 以外的铜合金均称为青铜，如 Cu-Zn（锡青铜）、Cu-Al（铝青铜）、Cu-Si（硅青铜）和 Cu-Be（铍青铜）等。

铜及铜合金由于线胀系数大、导热快、金属元素易蒸发等原因，焊接时易产生金属氧化、蒸发、气孔、裂纹和变形等

表 2-15 铜及铜合金焊条主要性能及用途
(摘自 GB/T3670-1995)

牌号	型号	药皮 类型	电源 种类	熔敷金属主要化学 成分(质量分数,%)
T107	ECu	低 氢 型	直 流	Cu ≥ 95 Si ≤ 0.5 Mn ≤ 3.0 Pb ≤ 0.02 P ≤ 0.30 Fe + Al + Ni + Zn ≤ 0.50
T207	ECuSi-B			Cu ≥ 92 Si: 2.5 ~ 4.0 Mn ≤ 3.0 Pb ≤ 0.02 P ≤ 0.30 Al + Ni + Zn ≤ 0.50
T227	ECuSn-B			Sn: 7.0 ~ 9.0 P ≤ 0.3 Pb ≤ 0.02 Cu 余 Si + Mn + Fe + Al + Ni + Zn ≤ 0.5

续表

熔敷金属主要化学成分(质量分数,%)	主要用途
C \leq 1.0 Si \leq 0.8 Mn \leq 2.5 Ni:60~70 Cu:24~35 Fe \leq 6	加工性较好,宜用于强度要求不高的灰铸铁加工面的补焊
Fe \leq 30 Cu:余	用于一般灰口铸铁件非加工面的补焊

缺陷。

铜及铜合金焊条用途较广,除用纯铜焊条焊接纯铜(或堆焊)外,目前应用较多的是用青铜焊条来焊接各种铜及铜合金、铜与钢等。由于铜及铜合金具有良好的耐蚀性、耐磨性,故常用于堆焊轴承等受金属间磨损的零件和耐蚀性的零件,有时也用来补焊铸铁。铜及铜合金焊条的性能及用途见表 2-15。

σ_b /MPa \geq	δ_5 (%) \geq	主要用途
170	20	用于焊接导电铜排、铜制热交换器、船舶用海水导管等铜结构件,也可用于堆焊
270	20	适用于铜、硅青铜及黄铜的焊接,化工机械管道等内衬的堆焊
270	12	适用于焊接纯铜、黄铜、磷青铜等同种及异种金属,也可用于堆焊及铸铁的补焊

牌号	型号	药皮类型	电源种类	熔敷金属主要化学成分(质量分数,%)
T237	ECuAl-C	低氢型	直流	Al:6.5 ~ 10.0 Mn≤2.0 Si≤1.0 Fe≤1.5 Cu余 Ni≤0.50 Zn + Pb≤0.5 Pb≤0.02
T307	ECuNi-B			Ni:29.0 ~ 33.0 Cu余 Si≤0.5 Mn≤2.5 Fe≤2.5 Ti≤0.5 P≤0.02

11. 铝及铝合金焊条的主要性能及用途

焊条电弧焊所用的铝及铝合金焊条药皮极易吸潮,焊后又需要清除残余焊渣,焊接质量不高。目前铝及铝合金焊条应用较少,主要用于纯铝、铝锰合金及铸铝的焊接或

表 2-16 铝及铝合金焊条的主要性能及用途
(摘自 GB/T3669-2001)

焊条牌号	型号	药皮类型	电流种类	焊芯化学成分(质量分数,%)
L109	E1100	盐基型	直流反接	Si + Fe≤0.95 Cu:0.05 ~ 0.20 Mn≤0.05 Be≤0.000 8 Zn≤0.10 其他总量≤0.15 Al≥99.0
L209	E4043			Si:4.5 ~ 6.0 Fe≤0.8 Cu≤0.30 Mn≤0.05 Zn≤0.10 Mg≤0.05 Ti≤0.2 Be≤0.000 8 Al余 其他总量≤0.15
L309	E3003			Si≤0.6 Fe≤0.7 Cu:0.05 ~ 0.20 Mn:1.0 ~ 1.5 Zn≤0.10 其他总量≤0.15Al余

续表

$\sigma_b/\text{MPa} \geq$	$\delta_5(\%) \geq$	主要用途
390	15	用于铝青铜及其他铜合金、铜合金和钢的焊接和铸铁的补焊等
350	20	主要用于焊接铜 70、镍 30 合金或铜 70、镍 30 合金/645 - III 钢复合金属等

补焊。

焊条电弧焊易出现氧化、元素烧损、气孔、裂纹等缺陷，故宜采用直流反接、短弧操作，快速焊接。铝及铝合金焊条的性能及用途见表 2-16。

熔敷金属力学性能	主要用途
$\sigma_b \geq 64\text{MPa}$	用于焊接铝板、纯铝容器
$\sigma_b \geq 118\text{MPa}$	用于焊接铝板、铝硅合金铸件、锻铝、硬铝等一般铝合金。但不宜焊接铝镁合金
$\sigma_b \geq 118\text{MPa}$	用于铝锰合金、纯铝及其他铝合金的焊接

表 2-17 特殊用途焊条的主要性能及用途

牌号	焊条名称	药皮类型	电源种类	熔敷金属主要化学成分(质量分数,%)
TS202	水下焊条	钛钙型	直流	C \leq 0.12 Mn:0.30~0.60 Si \leq 0.25
TS203				
TS304	水下割条	氧化铁型	交、直流	—
TS404	开槽割条			
TS500	管状焊条	锰型	交、直流	C \approx 0.12 Mn \approx 1.2 Si \leq 0.3 Mo \approx 0.3
TS607	铁锰铝焊条	低氢型	直流	C:0.25~0.4 Si \leq 2.1 Mn:22~25 Al:2~3 Mo:0.4~0.7
TSJ421 (E4313-S) TSJ422 (E4303-S)	碳钢焊条	钛型 钛钙型	交、直流	S \leq 0.04 P \leq 0.04
TSA102	不锈钢焊条	钛钙型		

12. 特殊用途焊条的主要性能及用途

特殊用途焊条是在特殊工作条件下使用的焊条,如水下焊条、水下割条、特细薄板专用焊条等,特殊焊条性能及用途见表 2-17。

熔敷金属主要力学性能	主要用途
$\sigma_b \geq 410\text{MPa}$	适于低碳钢结构的水下焊补或焊接
$\sigma_b \geq 420\text{MPa}$	
—	适于水下切割
—	主要用于铸铁焊补前开坡口,也可用于挖去合金钢、中碳钢、铜合金中缺陷部分和去掉耐磨堆焊的疲劳层
$\sigma_b \geq 490\text{MPa}$ $\delta_5 \geq 20\%$ $A_{KV} \geq 37\text{J}$ (常温)	电渣焊用管状焊条,适用于低合金钢如 Q390(15MnV)、Q345(16Mn)等的焊接
$\sigma_b \geq 590\text{MPa}$ $\delta_5 \geq 14\%$ $A_{KV} \geq 37\text{J}$ (常温)	用于焊接高温耐硫腐蚀含铝钢如 15AlMoWTi 等
$\sigma_b \geq 420\text{MPa}$	用于碳钢薄板焊接,最薄可焊 0.35mm 板材料
—	用于 0Cr19Ni9、0Cr19Ni11Ti 薄板焊接,最薄可焊 0.35mm 板材料

二、焊条的选用

从上一节焊条分类中可知焊条种类繁多,每种焊条都有一定的特性和用途。焊接生产必须考虑被焊工件的材

质、工作条件(如静载荷、动载荷、腐蚀介质、工作温度等)、结构形状、刚度大小、施工条件、生产设备等相关因素,此外还需考虑生产效率和经济效益。这些因素会给焊条的合理选用带来一定困难,所以在选用焊条时,首先应认真了解各种焊条的性能、成分和用途,把被焊工件的材质、成分和性能作为选用焊条类别的主要依据;同时也应考虑工件的结构形状、刚性大小、使用工作条件等;其次亦应考虑到施工条件、生产效率和经济效益等。

1. 焊条选用的基本原则

(1) 考虑焊件材质的力学性能及化学成分。焊件材质的力学性能、化学成分及焊接性是选用焊条的首要条件。

1) 等强度观点 所谓等强度观点,是指所选用焊条熔敷金属的抗拉强度与被焊母材金属的抗拉强度相等或相近。这是焊接钢结构(如碳素钢、低合金高强钢等)最常用最基本的原则,也是结构钢焊条选用的基本原则,同时也是结构钢焊条分类的主要依据。

2) 等韧性观点 所谓等韧性观点,是指所选用焊条熔敷金属的韧性与被焊母材金属的韧性相等或相近。在焊接高强度钢结构时,从实际使用情况看,这种结构的破坏往往不是强度不够,而是韧性不足,导致产生裂纹或脆断,因此往往选用熔敷金属强度等级略低于母材金属,而韧性相等或相近的焊条。这也是高强度钢焊接时所说的“低组配等韧性”接头形式。

3) 等成分观点 使熔敷金属的化学成分符合或接近母材金属。这是不锈钢和耐热钢焊接时,选用焊条最主要、最基本的原则。

4) 化学成分 当被焊材料的焊接性较差或碳、硫、磷等有害杂质较高时,应选用抗裂性好的焊条,如等强度的低氢型焊条等。

(2) 焊件的工作条件和使用性能。焊件的工作条件和使用性能是选用焊条的重要条件之一。

1) 承受动载荷或冲击载荷 焊件在承受动载荷或冲击载荷的情况下,焊缝金属不仅应保证足够的抗拉强度和屈服强度,而且对冲击韧度和塑性亦有较高的要求,此时应首先选用具有优良韧性和塑性的低氢型焊条,其次是钛钙型焊条。

2) 焊件在腐蚀条件下工作 应根据介质的种类、浓度、工作温度、腐蚀类型等选用相应的不锈钢焊条,对要求耐大气或海水腐蚀的,可选用含有铜、磷的结构钢焊条等。

3) 承受磨损时 焊件在有磨损条件下工作时,应根据磨损的性质(如金属间的磨损、冲击磨损、磨粒磨损等)、工作温度(常温或高温)或腐蚀介质等来选用适宜的堆焊焊条。

4) 工作温度 处在高温或低温下工作的焊件,根据焊件所处的工作温度不同,选择相应的焊条,以保证在高温或低温时的力学性能,即选用适宜的耐热钢或低温钢焊条。

(3) 焊件的复杂程度及刚度的大小

1) 焊件的形状及刚度 对焊件形状复杂、厚度大、刚度大的焊件,在焊接过程中,冷却速度快,收缩应力大,易产生裂纹。在选用焊条时,应选用抗裂性能好、韧性高、塑性高、含氢量低的焊条,如低氢型焊条、超低氢焊条和高韧度焊条等。

2) 焊接部位的限制 当焊件的焊接部位不能翻转时,应尽量选用适于全位置焊接的焊条。

3) 受工作条件限制 某些焊接部位难以清理干净时,应尽量选用氧化性强,对水、锈、油等脏物不敏感的酸性焊条,以免产生气孔等缺陷。

(4) 施焊工地条件。在实际生产中,往往还应根据设备条件和生产现场的工作条件来合理选用焊条。如没有直流焊机时,必须选用交、直流两用的焊条。现场不能进行焊后热处理消除应力的,通常选用与母材成分不同,但抗裂性和塑性好的焊条,如珠光体型耐热钢焊接时可选用奥氏体型

不锈钢焊条,可免去焊后热处理。

在酸性焊条和碱性焊条都可满足要求时,应尽量选用酸性焊条。

在密闭容器内或通风不良的现场进行焊接时,应尽量选用酸性焊条(如钛型、钛钙型)或低尘、低毒的碱性焊条。

在特殊条件下施焊,如水下焊接应选用水下焊条等。

(5)生产效率和经济性。对焊接工作量大的结构,在可能的条件下应尽量选用高效率焊条,如铁粉焊条、重力焊条、底层焊条、立向下焊条和高效不锈钢焊条等。这不仅有利于生产效率的提高,而且也有利于焊接质量的提高和稳定。

需要指出,在我国现实生产中,有不少单位或个人,盲目用增大焊条直径或提高焊接电流的方法来提高生产效率。显然这是错误的,这不仅难以保证焊接质量,通常也是形成质量与安全事故的主要原因之一。

在保证使用性能的前提下,应尽量选用价格低的焊条。如采用我国大力提倡的,符合我国资源的钛铁矿型焊条,以代替钛型或钛钙型焊条;对在常温下工作,或一般腐蚀条件下工作的不锈钢焊件,就不必选用价格高的超低碳或含铌的不锈钢焊条,以降低材料费用,提高经济效益。

2. 焊接碳钢的焊条选用

按含碳量的多少,碳钢可分为低碳钢(C的质量分数 $\leq 0.25\%$)、中碳钢(C的质量分数为 $0.25\% \sim 0.6\%$)和高碳钢(C的质量分数 $> 0.6\%$)。按用途可分为碳素钢和碳素工具钢。经常需要焊接的,主要是用来制造各种金属结构的碳钢。

碳钢的焊接性,主要取决于碳含量的多少,其次是锰和杂质硫、磷的含量。一般来说低碳钢均有优良的焊接性;中碳钢的焊接属中等,焊接时通常需要预热和后热,并采用低氢焊条焊接;高碳钢焊接性差,很少在焊接结构中使用,若

需焊接时必须采用低氢焊条焊接,并进行预热和焊后热处理。

(1) 焊接低碳钢时焊条的选用

1) 根据等强度原则 焊接低碳钢时在一般情况下选用 E43 × × (J42 ×) 系列焊条,可符合等强度的原则。如通常使用的为低碳钢 Q235,其抗拉强度的平均值约 417.5MPa,而 E43 × × 系列焊条的抗拉强度不小于 420 MPa,正好与之匹配。这也是低碳钢焊接时焊条选用的主要依据。几种低碳钢焊接时焊条的选用举例见表 2-18。

2) 根据接头形式、板厚和焊接位置等选用焊条 随着母材厚度的增大,焊接接头的冷却速度加快,促使焊缝金属硬化,接头内残余应力增大。因此,当厚度增加时,在同等强度等级中应选用抗裂性能好的焊条,如低氢型焊条等。

3) 焊接接头形式或焊接位置的不同,焊条的选用也有所不同 平对接焊或船形焊时,可参照板厚选用焊条;平角焊时,可根据焊脚尺寸来选用焊条,若焊脚尺寸较大,应选用抗裂性能较好、焊条直径较大的焊条,立、横、仰焊焊接位置时,应选用全位置焊接适应性较好、焊条直径较小的焊条(一般 $\leq 4\text{mm}$);向下立焊时,应选用 J421、J425 等,但最好选用专用的立向下焊条如 J421X、J425X、J426X 等;当背面不能进行焊接而又需打底焊时,最好选用专用的底层焊条如 J505MoD、J506D 等。

在严寒冬天或类似气温下焊接低碳钢结构时,由于冷却速度加快,应力增加。产生裂纹倾向增大,特别是焊接大厚板、大刚度的结构时裂纹倾向更大。此时应尽可能采用低氢或超低氢焊接材料,并配合预热、缓冷等工艺措施。

(2) 焊接中碳钢时焊条的选用。中碳钢 $\omega(\text{C}) = 0.25\% \sim 0.60\%$ 。当 $\omega(\text{C})$ 接近 0.30% 而含 Mn 量不高时,焊接性良好;随着含碳量的增加,焊接性逐渐变差,当 $\omega(\text{C})$ 为 0.50% 左右时,如果焊接工艺不当,则热影响区易产

表 2-18 几种低碳钢焊接选用焊条举例

钢 号	焊 条	
	一般结构	
	型 号	牌 号
Q235 Q255	E4313、E4303、E4301、 E4320、E4311	J421、J422、J423、 J424、J425
Q275	E5016、E5015	J506、J507
08、10、15、20	E4303、E4301 E4320、E4311	J422、J423 J424、J425
25、30	E4316、E4315	J426、J427
30g、22g	E4303、E4301	J422、J423
20R	E4303、E4301	J422、J423

生低塑性的淬硬组织、极易开裂。当焊接材料和焊接过程控制不好时,焊缝也会因母材的熔化而增碳,产生热裂纹。在弧坑处更为敏感。另外,随着含碳量增加,气孔敏感性也增大。

中碳钢焊接时应尽量选用低氢型焊条。低氢型焊条具有较好的脱硫能力,熔敷金属的塑性和韧性良好,扩散氢含量低,所以无论对热裂纹或氢致冷裂纹来说,抗裂性均较高。当不要求焊缝与母材等强度时,可选用强度等级稍低

选 用		施焊条件
焊接动载荷、复杂和厚板结构、 受压力容器及低温下焊接		
型号	牌号	
E4316、E4315 (E5016、E5015)	J426、J427 (J506、J507)	一般不预热
E5016、E5015	J506、J507	厚板结构预热 150℃以上
E4316、E4315 (E5016、E5015)	J426、J427 (J506、J507)	一般不预热
E5016、E5015	J506、J507	厚板结构预热 150℃以上
E4316、E4315 (E5016、E5015)	J426、J427 (J506、J507)	一般不预热
E4316、E4315 (E5016、E5015)	J426、J427 (J506、J507)	一般不预热

的低氢型焊条。

在个别情况下,有时也采用钛铁矿型或钛钙型碳钢焊条(如 J503、J502 等),但一定要有严格的措施配合,如认真控制预热温度,减少母材熔合比等,才能取得满意的效果。

特殊情况下也可选用铬镍奥氏体不锈钢焊条。焊接时不用预热。由于焊缝金属的塑性很好,可减少焊接接头应力,避免热影响区冷裂纹的产生。焊接中碳钢时焊条的选用见表 2-19。

表 2-19 焊接中碳钢时焊条的选用

钢号	母材化学成分 (碳的质量分数,%)	焊接性	母材力学性能	
			σ_s /MPa	σ_b /MPa
35	0.32 ~ 0.40	较好	315	530
ZG270-500	0.31 ~ 0.40		270	500
45	0.42 ~ 0.50	较差	355	600
ZG310-570	0.41 ~ 0.50		310	570
55	0.52 ~ 0.60	较差	380	645
ZG340-640	0.51 ~ 0.60		340	640

(3) 焊接高碳钢时焊条的选用。高碳钢 $\omega(C) > 0.6\%$ ，除高碳结构钢外，还包括高碳碳素钢铸件和碳素工具钢。由于含碳量比中碳钢更高，更容易产生硬而脆的高碳马氏体，所以淬硬倾向和裂纹敏感性更大，焊接性更差。这类钢一般不用于制造焊接结构，而多用于制造高硬度或耐磨部件、零件或工具以及某些铸件、亦即用于工具钢和铸钢。所以它们的焊接大多为焊接修复或焊补。高碳钢件大多经过调质热处理，因此，焊前应先退火，再进行预热，预热温度为 $250 \sim 350^\circ\text{C}$ ，这样焊接时可减少裂纹倾向。焊后再进行热处理，以达到高硬度和耐磨的要求。

焊接高碳钢必须选用低氢型焊条。当强度要求高时，

选用焊条		
要求等强度的构件	不要求强度或不要求等强度的构件	塑性好的焊条
E5016(J506) E5015(J507)	E4303(J422) E4301(J423) E4316(J426) E4315(J427)	铬镍奥氏体型不锈钢焊条 E308-16(A102) E308-15(A107) E309-16(A302) E309-15(A307) E310-16(A402) E310-15(A407)
E6016-D1(J606) E6015-D1(J607)	E4303(J422) E4301(J423) E4316(J426) E4315(J427) E5016(J506) E5015(J507)	
E6016-D1(J606) E6015-D1(J607)	E4303(J422) E4301(J423) E4316(J426) E4315(J427) E5016(J506) E5015(J507)	

可选用 E6015-D1(J607)、E7015-D2(J607) 或 E6015-G(J607Ni)、E7015-G(J707Ni) 等;当强度要求不高时,可选用 E5016(J506)、E5015(J507)、E5018-G(J507FeNi) 等。在不能预热条件下,也可选用铬镍奥氏体型不锈钢焊条,如 E308-16(A102)、E308-15(A107)、E309-16(A302)、E309-15(A307)、E310-16(A402)、E310-15(A407) 等。

3. 焊接低合金高强钢的焊条选用

低合金钢是在碳钢基础上加有一定量合金元素的合金钢,其合金元素总量的质量分数一般不超过 3%,用以提高钢的强度并保证其具有一定的塑性和韧性,或使钢具有某些特殊性能、耐高温或耐腐蚀等。

常用来制作焊接结构的低合金钢可分为低合金高强度结构(简称低合金高强钢)钢、低温用钢、耐腐蚀用钢及珠光体型耐热钢等四种。

低合金高强钢的主要特点是强度高,塑性、韧性也较好,应用最广,主要应用于制造压力容器,桥梁、船舶、飞机和其他金属结构。

(1)焊接低合金钢的焊条。我国用于焊接低合金钢的焊条在 GB/T5118-1995《低合金钢焊条》中有 50、55、60、70、75、80、85、90、100 等 9 个强度系列共 44 类。实际上碳钢焊条(GB/T5117-1995)也有不少品种兼用于低合金钢的焊接。低合金钢用焊条就熔敷金属的合金系统而言可分为碳钼钢焊条、镍钢焊条、镍钼钢焊条、锰钼钢焊条及其他低合金钢焊条。

为了满足低合金钢产品焊接的各种需要,提高焊条的抗裂性、操作工艺性、生产效率和焊缝金属的韧性等,将具有特色或值得推广的某些低合金钢用焊条简介于后,便于用户更好选用。

1)超低氢焊条(J×××H) 根据国际标准 ISO3690 的规定,用水银法测定熔敷金属扩散氢含量小于 5ml/100g 的焊条为超低氢焊条。用超低氢焊条焊接时,由于焊缝金属中扩散氢含量极低,因而可明显的提高抗裂性能,可降低焊前预热温度,因此在焊接重要的低合金钢产品时,超低氢焊条得到了较广的应用。

2)高韧性焊条(J×××R) 随着低合金钢焊接结构日趋大型化及工作运行条件的复杂化,焊接结构的安全运行越来越被人们所重视。尤其是锅炉、压力容器、海洋工程、矿山机械等的迅速发展,对焊接接头的性能提出了更为严格的要求,在寒冷地区使用或有低温要求的容器或结构,一般要求应具有良好的低温韧性。

3)高韧性超低氢焊条(J×××RH) 这种焊条不仅含氢量低、抗裂性能好,而且兼有良好的低温韧性,如 J506RH、

J507RH、J557RH、J607RH 和 J707RH 等。

高韧性焊条和高韧性超低氢焊条,可用于海上采油平台,压力容器、船舶、矿山工程机械以及严寒地区的低合金钢重要结构的焊接。

4)耐吸潮焊条(J×××MA) 这种焊条药皮中加入一些低熔点玻璃粉或其他物质或经过一定的工艺处理,焊条药皮的吸潮性大大降低,使焊条药皮具有一定的“抗吸潮能力”。一般来说焊条药皮吸潮过量,不仅会造成电弧不稳,飞溅增大,而且还会使焊缝金属含氢量增加,增大冷裂纹和气孔的敏感性,降低焊缝金属的力学性能。

低氢型耐吸潮焊条烘干后使用期可延长。可免去多次复烘和保温等工序。如 J506NiMA 耐吸潮焊条,经 350℃、2h 烘干后,在相对湿度 80% 的环境中使用,8h 内药皮含水量仍可满足要求,保证其使用性能。这对取代低氢型焊条或在高湿度、焊条复烘条件差、无保温装备时具有重要的现实意义。

(2)焊接低合金高强度钢时焊条的选用原则

1)总的原则是根据产品对焊缝金属的性能要求选用焊条 焊接高强度钢时一般应选用与母材强度相当的焊条,但必须综合考虑焊缝金属的韧度、塑性及强度。只要焊缝金属的强度或焊接接头的强度不低于产品要求即可。若焊缝金属强度过高,将导致焊缝韧度、塑性、抗裂性的下降,从而降低焊接结构的使用安全性。

当焊接超高强度钢或对韧度要求较高的钢时,从等韧度观点出发,可选用强度等级略低于母材的焊条即所谓低组配,会提高焊接结构的安全性。

2)考虑焊后加工工艺的影响 对焊后须经热处理的焊件,应考虑焊缝金属经受高温处理作用对其力学性能的影响,应保证焊缝金属经热处理后仍具有要求的强度、塑性、韧性等。如焊后须经正火处理或消除应力处理时,应选用焊缝金属合金成分较高的焊条;对焊后须冷弯、冷冲压的焊

件则应选用塑性较好的焊条。

3) 对于厚度、拘束度及冷裂倾向大的焊接结构, 应选用低氢型或超低氢型焊条 以提高抗裂性能, 降低预热温度, 简化焊接工艺。焊接第一层打底焊时, 最易产生裂纹, 此时可用强度较低的而塑性和韧性较好的焊条。

4) 对于某些低合金结构的重要产品, 为确保这种结构的使用安全性, 焊接金属应具有良好的低温冲击韧度和断裂韧度 如海上采油平台、压力容器、船舶等, 应选用高冲

表 2-20 低合金钢时焊条的选用

类别	供货状态	钢号	主要特点
热轧正火钢	热轧	Q295	<p>σ_s 为 295 ~ 390MPa 低合金钢大多属热轧钢, 主要是靠 Mn 固溶强化获得高强度。加入少量 Nb 或 V 可细化晶粒, 改善低温韧性, 此时在正火状态下使用更为合理。</p> <p>碳当量较低, 强度不太高, 良好的塑性、韧性和焊接性, 淬硬倾向稍大于低碳钢</p>
		Q345	

击韧度的焊条。

(3) 焊接低合金高强钢时焊条的选用。低合金高强钢焊接时,可依照上述原则,参照表 2-9 结构钢焊条的主要性能及用途选用焊条。

根据低合金高强钢的牌号、屈服强度等级及热处理状态等,焊接低合金钢时焊条的选用,见表 2-20。

主要焊接工艺措施	热处理 温度/℃	焊条选用	
		型号	牌号
<p>①要求焊缝与母材等强的焊件,选用相应强度等级的焊条</p> <p>②不要求等强时可选用强度略低、塑性好的焊条</p> <p>③尽量选用低氢型焊条,对低温韧性要求高的可选用超低氢高韧性焊条,当强度级别低,非动载荷时,也可选酸性焊条</p> <p>④在环境温度$\leq 0^{\circ}\text{C}$时,应预热至$100\sim 150^{\circ}\text{C}$。当板厚加大,刚性大时应提高预热温度</p>	—	E4301	J423
		E4303	J422
		E4315	J427
		E4316	J426
	预热 $\delta > 40\text{mm}$ 时 $T > 100$ 回火 $600\sim 650$	E5001	J503
			J503Z
		E5003	J502
		E5015	J507
			J507H
		E5015-G	J507R
			J507RH
		E5016	J506
			J506X
		E5016-G	J506R
			J506RH
		E5018	J506Fe
	J507Fe		
E5028	J506Fe16		

类别	供货状态	钢号	主要特点
热轧正火钢	热轧	Q390 (15MnVCu)	当刚度大、环境温度低时,容易产生冷裂纹
	正火	Q420 15MnVNCu 14MnVTiRE	$\sigma_s > 390\text{MPa}$ 低合金钢,一般是在正火或正火+回火状态下使用,靠碳、氮化物沉淀强化,碳当量较高、热影响区有明显淬硬倾向,出现低塑马氏体组织,冷裂纹倾向大。当输入线能量过低,易产生淬硬组织和冷裂纹,而热输入过大,晶粒粗大,塑性降低
热轧正火钢	正火+回火	Q460	
热轧正火钢	正火+回火	18MnMoNb 14MnMoV 14MnMoVCu	

续表

主要焊接工艺措施	热处理 温度/°C	焊条选用			
		型号	牌号		
	预热 $\delta \geq 32\text{mm}$ 时 $T > 100$ 回火 $560 \sim 590$	E5001	J503 J503Z		
		E5003	J502		
		E5015	J507 J507H		
		E5015-G	J507R J507RH		
		E5016	J506 J506X J506R J506RH		
		E5016-G	J506Fe J507Fe		
		E5018	J506Fe16		
		E5028	J557 J557Mo		
		E5515-G	J557MoV		
		E5516-G	J556 J556RH		
		①要求焊缝与母材等强的焊件,应选用相应强度级别的焊条。不要求等强度的焊件,可选用强度略低的焊条 ②使用塑性、韧性好的低氢型焊条 ③适当控制线能量和焊后冷却速度 ④强度级别高或厚度较大的焊件,焊后应及时进行热处理,或在 $200 \sim 350^\circ\text{C}$ 保温 $2 \sim 6\text{h}$ ⑤焊件、焊条应保持低氢状态 ⑥定位焊也应预热 ⑦严禁在非焊部位引弧	预热 $\delta \geq 32\text{mm}$ 时 $T < 100$	E5515-G	J557
				E6015-D1	J607
				E6015-G	J607Ni J607RH
预热 $\delta > 32\text{mm}$ 时 $T > 150$ 回火 $600 \sim 650$	E6016-D1		J606		
	E6016-G		J606RH		
	E6015-D1		J607		
	E6015-G	J607Ni J607RH			
		E6016-D1	J606		
		E6015-D2	J606RH		
		E7015-G	J707Ni J707RH J707NiW		

类别	供货状态	钢号	主要特点
	控轧	X60	含碳低、焊接性好,是油气管线用钢
		X65	
低碳调质钢	调质	HQ60	母材为低碳马氏体或贝氏体组织,具有较高的强度,又有较好的塑性、韧性和焊接性。如果焊接过程中冷却速度较慢,热影响区则出现上贝氏体、高碳马氏体及铁素体混合组织,韧性降低。当快速冷却时,可以获得由低碳马氏体或下贝氏体构成的焊缝组织。但如冷却速度过大,热影响区会产生淬硬组织,使接头抗裂性、塑性降低。
		07MnC-rMoVR 07MnC-rMoVDR	
		HQ70 14MnMoVN 12Ni3CrMoV	
		14MnMoNbB HQ80C	
		12Ni5CrMoV	
		T-1(美) T-1A(美) T-1B(美) HY-80 (美)	

续表

主要焊接工艺措施	热处理 温度/℃	焊条选用	
		型号	牌号
可采用含氢高的纤维素型焊条焊接	—	E4310	J425G
		E5011	J505 J505MoD
		E5015	J507XG J507
		E5016	J506XG J506
<p>①按设计要求选用相应强度等级的低氢型结构钢焊条</p> <p>②焊件、焊条严格保持低氢状态</p> <p>③根据板厚、预热温度、层温,确定合适的焊接线能量,在焊接过程中严格控制在规定的范围内。随母材强度提高,碳当量增大,线能量的控制也应更严格</p> <p>④焊后热处理温度应比母材回火温度低 20 ~ 30℃</p> <p>⑤控制坡口加工边缘的切割裂纹和装配定位焊裂纹,必须打磨掉割口渣和氧化皮</p> <p>⑥严禁在非焊接部位引弧</p>	预热 ≥ 150	E6015-D1	J607
		E6015-G	J607Ni J607RH
		E6016-D1	J606
		E6016-G	J606RH
	预热 80 ~ 120	E7015-D2	J707
		E7015-G	J707Ni J707RH J707NiW
	预热 ≥ 150	E7015-D	J707
		E7015-G	J707Ni J707RH J707NiW
		E7515-G	J757 J757Ni
		E8015-G	J807 J807RH
	预热 120 ~ 140	E8015-G	J807RH
		E8515-G	J857 J857Cr J857CrNi
预热 > 150	E7015-D2	J707	
	E7015-G	J707Ni J707RH J707NiW	
	E7515-G	J757 J757Ni	

类别	供货状态	钢号	主要特点
中碳调质钢	退火(一般是在退火状态下进行焊接,焊后调质)	25CrMnSiA 30CrMnSiA 35CrMoA 35CrMoVA 30CrMnSiNi2A 34CrNi3MoA	焊缝金属和母材强度相当时,韧性低于母材。由于含碳量高,热影响区及焊缝容易形成高碳马氏体,冷裂纹倾向严重。冷裂纹对焊接应力及扩散氢含量的敏感大。由于母材熔入焊缝金属中的碳和合金元素增加,可能会产生热裂纹。焊接接头还可能产生微裂纹,在焊后使用期间有可能开裂(延迟裂纹)。一般都在退火状态下焊接,焊后进行调质处理,以获得要求的接头性能
		40Cr	
中碳调质钢	调质后焊接(若不要求等强度时)	25CrMnSiA	
		30CrMnSiA	
		30CrMnSiNi2A	
		34CrNi3MoA	
		40CrNiMoA	

续表

主要焊接工艺措施	热处理 温度/℃	焊条选用	
		型号	牌号
<p>①若构件焊后进行调质处理,则应选用焊缝金属调质处理规范与母材相似的焊条,合金成分尽可能相近,杂质尽可能降低</p> <p>②若对焊缝金属韧性要求高,则应选用韧性好的焊条</p> <p>③对调质后焊接,焊后又不进行调质处理的,不要求等强,而要求在动载荷、冲击载荷下具有良好性能或提高抗冷裂纹性能的,可选用镍基高合金或铬镍奥氏体焊条</p> <p>④焊后修整焊缝外形,防止应力集中</p> <p>⑤严格保持低氢状态</p> <p>⑥尽量使用小焊接工艺参数焊接</p>	<p>预热 300,焊 后调质</p>	<p>E9015-G E8515-G E10015-G</p>	<p>J907 J907Cr J857 J857Cr J857CrNi J107 J107Cr HTJ-2 HTJ-3</p>
	<p>预热 200 ~ 300</p>	<p>E8515-G E9015-G E10015-G</p>	<p>J857Cr J907 J907Cr J107 J107Cr</p>
	<p>预热、层 温及后 热温度 应较淬 火后的 回火温 度低 50℃</p>	<p>E1-16-25 MoN-15 E1-16-25 MoN-16</p>	<p>A507 A502 HTG-1 (低氢 HGH30) HTG-2 (低氢 H GH41) HTB-3 (低氢 H1 Cr19Ni 11S4A1Ti)</p>

4. 焊接低合金耐腐蚀钢的焊条选用

低合金耐蚀钢按用途可分为耐大气腐蚀钢(也称耐候钢)、耐海水腐蚀用钢和耐石油腐蚀用钢等。

(1) 焊接耐候钢及耐海水腐蚀用钢焊条的选用原则。这两种钢基本属同一类,合金系统很相似,都是以 Cu、P 为主要合金元素。Cu、P 能显著降低钢在这些环境下的腐蚀速度,并配以 Cr、Mn、Ni、Ti、Nb、RE 等合金元素。可进一步

表 2-21 焊接低合金耐腐蚀钢的焊条选用

类别	钢号	主要特点
耐候及耐海水腐蚀钢	009CuP 09CuPRE 09CuCrNi-A 09CuCrNi-B 12MnCuCr 16CuCr	铜、磷是提高耐候、耐海水腐蚀的有效元素,能有效地降低腐蚀速度,在 Cu、P 的基础上,再配以 Cr、Mn、Ti、Ni、Nb 等合金元素,以提高耐腐蚀性能。为降低含 P 钢的冷裂敏感性,改善焊接性,要限制钢中含碳量(碳的质量分数 $\leq 0.16\%$)
	09MnCuPTi 10MnPNbRE 10MnSiCu	
	15MnCuCr 15MnCuCr-QT 16MnCu	

提高耐腐蚀效果。为改善这类钢的焊接性,一般都严格控制 C、Cu、P 的含量;其质量分数 $\omega(\text{C}) \leq 0.16\%$, $\omega(\text{Cu})$ 约为 $0.2\% \sim 0.4\%$, $\omega(\text{P}) \leq 0.25\%$ 。在焊接过程中不会因含 Cu 过高而产生热裂纹,也不会因含 P 而增大冷脆性。这类钢有良好的焊接性,广泛应用于车辆、船舶、箱、塔、桥梁、露天矿山机械、海洋平台、采油设备等。

(2) 焊接耐候钢及耐海水腐蚀用钢时的钢号及焊条选用。见表 2-21。

主要工艺措施	焊条选用	
	型号	牌号
	E4301 E4303	J423CuP J422CrCu J422CuCrNi
因 Cu、P 含量较低,一般其质量分数均低于 0.25%,因而热裂倾向及冷脆倾向不大。此类钢的焊接工艺与强度等级较低的低合金高强热轧钢相同	E5003-G E5016-G E5015-G	J502CuP J502NiCu J502WCu J502CuCrNi J506NiCu J507NiCu J507NiCuP J507WCu J507CrNi J507CuP
	E5016-G E5015-G	J506NiCu J507NiCu J507NiCuP J507WCu J507CrNi J507CuP

类别	钢号	主要特点
	10NiCuP	
	15MnVCu	
	16MnPNbRE 08MnP	
耐石油腐蚀用钢(耐硫化氢腐蚀)	12AlMoV 15MoVAl 15MoVAlTiRE	以 Mo、V、Al 为主加合金元素的耐石油腐蚀的低合金钢,对硫化氢介质有较强的抗蚀能力。含 Al 低,焊接性好
	12SiMoVNbAl	
耐氢、氮、氨腐蚀钢	DTO(微碳纯铁)	微碳纯铁主要用于氨合成塔内件的焊接 其他低合金钢对氢、氮、氨有良好的耐蚀性能
	10MnWVNb	
	12SiMoVNb 15MoV	
耐氧化、耐腐蚀	15Al2Cr2MoWTi 15Al3MoWTi	含铝较高的钢具有很强的耐石油腐蚀性能。焊接时熔合线母材一侧产生铁素体脆化
	10MoWVNb	
	14WVTiBRE	

续表

主要工艺措施	焊条选用	
	型号	牌号
	E5016-G	J506NiCuP
	E5015-G	J507NiCuP
	E5015-G	J507NiCr
	E5015-G E5016-G	J507CuP J507MoNbRE J506CuPRE
与 Q345 (16Mn) 等低合金钢焊接工艺相同	E5015-G	J507Mo J507MoNb J507CrMo J507CrAlMo
	E5015-G E347-16 E309-16 E309-15	J507MoNb A132 A302 A307
	-	J350 J357
	E5015-G	J507MoW J507MoNb
与强度级别低的低合金热轧钢相同	E5015-G	J507MoNb J507MoW J507MoWNbB
	E5015-G	J507Mo J507MoNb J507CrMo A707
对含铝较高的钢焊后需进行 650℃ 回火处理, 保温 3h, 以改善焊接接头性能; 刚度较大时需预热 100 ~ 150℃ 控制层温, 小电流、快速焊	E5015-G	J507MoW
与同强度级别的低合金强度钢相同		08MoWTiBRE 专用焊条

5. 焊接低温用钢焊条的选用

低温钢主要用于低温下工作的容器、管道或其他结构。伴随着我国石油工业的迅猛发展,液化石油气储存和运输装备也获得了大力发展,低温用钢的需求量也日益增加。

低温用钢可分为含镍和无镍两大类。属低合金的含镍低温钢常用的有 2.5Ni 和 3.5Ni 两种。对低温用钢主要性能要求是保证在使用温度下具有足够的韧性及抵抗脆性破坏的能力。低温用钢一般是通过合金元素的固溶强化、晶粒细化,并通过正火或正火加回火处理细化晶粒,均匀组织,获得良好的低温韧性。在低温用钢中常加入 V、Al、Nb 及 Ni 等合金元素,如我国的低温压力容器用钢 09MnVDR、15MnNiDR、09MnNiDR 等;16MnDR 钢可作为 -40°C 低温用钢。为保证低温韧性,在低温用钢中应尽量降低含碳量,并严格限制 S、P 含量。各种低温用钢的最低使用温度一般即相当于最低冲击吸收功试验温度。在选择低温用钢时,针对工作应力大小、板材厚度及热处理条件等不同情况,也可以适当调整低温用钢的最低使用温度。

不含镍的低温用钢由于含碳量低,其他合金元素含量也不高,淬硬和冷裂倾向小,具有良好的焊接性。一般可不预热,但应避免在低温下施焊。含镍低温用钢由于添加了镍,增大了钢的淬硬性,但并不显著,冷裂倾向不大。当板厚较大或拘束度较大时,应适当预热。Ni 可能会增大热裂倾向。但只要严格控制钢材中的 C、S 及 P 的含量,采用小的焊接热输入、小电流快速焊,减轻焊道过热、增大焊缝成形系数,可避免热裂纹。保证焊缝和粗晶区的低温韧性是低温用钢焊接时的关键。

含 Ni 用钢应用最广的有 2.5Ni 和 3.5Ni 两类,广泛应用于乙烯、化肥、橡胶、液化石油气及煤气等工程中低温设备的制造。这类钢主要是依靠降低 C、S、P 的含量,加入 Ni 等合金元素,并利用热处理来细化晶粒确保低温韧性的。3.5Ni 钢有应变时效倾向,当冷加工变形 5% 以上时,应消

除应力热处理以改善其韧性。

低温用钢焊条的选用见表 2-22。

6. 焊接耐热钢的焊条选用

耐热钢按合金成分的含量可分为低合金(合金元素总的质量分数 $< 5\%$)、中合金(合金元素总的质量分数为 $5\% \sim 12\%$)和高合金(合金元素总的质量分数为 $> 12\%$)耐热钢。

低合金耐热钢有 Mo、Cr-Mo、Mo-V、Cr-Mo-V、Mn-Mo-V、Mn-Ni-Mo 及 Cr-Mo-W-V-Ti-B 等合金系统。当合金元素总的质量分数小于 2.5% 时,供货状态下的组织为 P + F,故称珠光体型耐热钢。当合金元素总的质量分数大于 3% 时,供货状态下的组织为 F + B,故称贝氏体型耐热钢。

中合金耐热钢有 Cr-Mo、Cr-Mo-V、Cr-Mo-Nb 和 Cr-Mo-W-V 等合金系列。当合金元素总的质量分数为 10% 以下时,在退火状态下其组织为 F + 合金碳化物,在正火 + 回火状态下其组织为 F + B;当合金元素总的质量分数超过 10% 时,其组织为 M,属马氏体型耐热钢。

高合金耐热钢,按供货状态下的组织可分为马氏体型、铁素体型和奥氏体型三种。应用最广的高合金耐热钢,为奥氏体铬镍耐热钢,其合金系列为 Cr-Ni、Cr-Ni-Ti、Cr-Ni-Mo、Cr-Ni-Nb、Cr-Ni-Mo-Nb、Cr-Ni-Mo-V-Nb 和 Cr-Ni-Si 等。

耐热钢具有良好的高温强度和持久强度,广泛应用于常规核电站、核动力装置、石油精炼设备、加氢裂化装置、合成化工容器、宇航器械及其他高温加工设备中。正确选用耐热钢种对于保证高温高压设备长期可靠的工作具有重要的意义。

(1) 焊接耐热钢时焊接材料选用的基本原则。为了保证耐热钢焊接结构在高温、高压和各种腐蚀介质条件下长期安全运行,所选用的焊接材料应使焊接接头的性能满足以下要求:

1) 等强度和等塑性 耐热钢的焊接接头,不仅应具有

与母材基本相等的室温和高温短时强度,而且更应具有与母材相当的高温持久强度,或达到产品技术条件提出的最低性能指标。由于耐热钢焊接部件大多需经冷作、热冲击成形或弯曲加工,焊接接头经受较大的塑性变形,因而,应具有与母材相近的塑性。

若焊件焊后需退火或正火热处理时,应选用合金成分或强度等级略高于母材的焊接材料。

2) 等成分 耐热钢焊接接头与母材应具有同等的抗氢

表 2-22 低温用钢焊条的选用

类别	钢号	供应状态	强度等级 σ_s /MPa	A_{KV} /J	主要特点
无 Ni 低温用钢 (低温压力容器用钢)	16MnDR	正火或正火加回火	315	24(-40℃)	低合金低温用钢主要用于低温下工作的容器、管道和结构,对低温用钢的主要性能要求是在使用温度下具有足够的韧性及抵抗脆性破坏的能力,不含 Ni 的低温用钢由于含 C 量低、其他合金含量也不高,淬硬与冷裂倾向小,因而焊接性好,一般可不预热但应避免在低温下焊接。含 Ni 的低温用钢中,当 Ni 含量不
	15MnNiDR		325	27(-45℃)	
	09MnTiCu-REDR		312	27(-70℃)	
	09MnNiDR		300	27(-70℃)	
	09Mn2VDR		290	27(-50℃)	
	06MnNbDR		300	27(-90℃)	
	06AlNbCuN		250	27(-120℃)	

性能和抗氧化性能,为此焊接材料的选用应使焊缝与母材合金成分基本相等,即采取等成分的原则。

3) 接头组织的稳定性 耐热钢焊接接头在制造过程中,通常需要经多次热处理,在运行过程中将长期受高温、高压的作用,焊接接头的各区不应由此而产生明显的组织变化,以及由此引起的焊接接头脆化或软化。

(2) 焊接耐热钢时焊条的选用。见表 2-23。

工艺措施	热处理温度	型号	牌号
		E5015-G	J507NiTiB J507NiBMA J507RH
①根据工作温度,选用相应等级的低温钢焊条 ②热输入应控制在 20kJ/cm 以下,尽量避免焊缝及近缝区金属形成粗晶 ③注意避免焊接缺陷,注意收弧 ④注意控制层温(不大于 300℃),避免过热 ⑤为保证焊缝具有良好的低温韧性,对铝镇静钢,选用 $\omega(\text{Ni})$ 为 0.5% ~ 1.5%。低 Ni 型焊条比选用 C-Mn 型焊条更可靠。对低	无 Ni 钢可不预热,含 Ni 钢预热 150℃,层温不高于 300℃,焊后消除应力,处理规范,一般为 600 ~ 650℃ 回火	E5016-G	J507NiMA J506NiMA J506RH
		E5015-G E5515-C1	W607 W607H W707
		E5515-C1 E5515-G	W707Ni W807
		E5515-C2 E5015-C2L — — —	W907Ni W107 W107Ni DW-120 特-127A

类别	钢号	供应状态	强度等级 σ_s /MPa	A_{KV}/J	主要特点
含Ni低温用钢	JISG3217 SL2N2(日)	正火	255	21(-70℃)	太高时(如2.5Ni或3.5Ni钢)虽增大了淬硬倾向,但不显著,冷裂倾向不大。当板厚较大或拘束度较大时,应适当预热。Ni可增大热裂倾向,应严格控制焊材的C、S、P含量,并采用合理的焊接工艺
	ASTM A203-72 A级(美) B级(美)		255 274	— —	
	NFA36- 208 2.25Ni(法)	正火	274	40(-80℃)	
	JISG32 17 SL3N26(日) SL3N 45(日)	调质	255 441	21(-101℃) 27(-110℃)	
	ASTM D级(美) E级(美)	调质 正火	255 274	— —	
	NF 3.5Ni(法)	协议	274	40 (-100℃)	

表 2-23 钼及铬钼耐热钢焊条、不锈钢焊条的主要成分、性能及用途

类别	钢种合金系	钢号	主要特点
珠光体型耐热钢	0.3Mo 0.5Mo	15Mo 20Mo	珠光体耐热钢由于含碳及合金元素较多,焊缝及热影响区具不同程度的淬硬倾向,易出现淬硬组织,当焊件钢度较大,接头应力较高
	0.5Cr-0.5Mo	12CrMo	

续表

工艺措施	热处理温度	型号	牌号
		E5515-C1	W707Ni
Ni 低温钢, 焊材的含 Ni 量应与母材相同或高于母材 ⑥对铁素体类低温钢, 当板厚大于 15mm 时焊后多采用消除应力热处理		E5515-C2 E5015-C2L-AWS	W907Ni W107 W107Ni E7016-G
		JISZ3241 DL501610P3	NB-3N (日)

工艺措施	热处理温度/℃		焊条选用	
	预热、层温	焊后回火	型号	牌号
①焊前对焊件进行预热, 包括焊前点固焊预热 ②焊接过程中, 保持焊件温度不低于预热温度	200 ~ 250	650 ~ 700	E5003-A1	R102
			E5018-A1	R106Fe
			E5015-A1	R107
			E5503-B1	R202
			E5500-B1	R200
			E5515-B1	R207

类别	钢种合金系	钢号	主要特点
珠光体型耐热钢	1Cr-0.5Mo	15CrMo	时,容易出现冷裂纹。焊后热处理过程中,易产生再热裂纹,再热裂纹倾向的大小主要取决于钢中碳化物形成元素的特性及含量。铬钼钢在350~500℃温度区间长期运行易发生回火脆变——回火脆性,其倾向与钢中杂质总量有关
	1Cr~Mo	20CrMo	
	1Cr ₁ ~0.5Mo-V	12Cr1MoV	
		15Cr1MoV	
		20Cr1MoV	
	2.25Cr~1Mo	12Cr2Mo	
	3Cr~1MoVSiTiB	12Cr3MoVSiTiB	
	0.5MoVWSiBRe	12MoVWSiBRe	
	2Cr~MoWVTiB	12Cr2MoWVTiB	

续表

工艺措施	热处理温度/℃		焊条选用	
	预热、层温	焊后回火	型号	牌号
<p>③焊接过程应避免中断,尽可能一次完成,否则重新加热到预热温度再焊</p> <p>④焊后应使焊件缓冷,有条件时可进行去氢处理。为了消除应力,焊后须经高温回火</p> <p>⑤选用焊缝金属化学成分及性能与母材相当的焊条、最好选用低氢型</p> <p>⑥保持低氢状态</p>	200 ~ 250	650 ~ 700	E5503-B2 E5515-B2	R302 R307 R307H
	250 ~ 300		E5515-B1 E5515-B2	R207 R307 R307H
	250 ~ 350	710 ~ 750	E5500-B2-V E5503-B2-V E5515-B2-V E5518-B2-V	R310 R312 R317 R316Fe
	300 ~ 350	710 ~ 730	E5515-B2-VW E5515-B2-VNb	R327 R337
	300 ~ 350	680 ~ 720		
	250 ~ 300	710 ~ 750	E6000-B3 E6018-B3 E6015-B3	R400 R402 R406Fe R407
	250 ~ 350	750 ~ 770	E5515-B3-VNb	R417Fe R427
			E5515-B2-V E5515-B2-VW	R317 R327
	250 ~ 350	1 000 ~ 1 030 正火 + 760 ~ 780 回火	E5500-B3-VWB E5515-B3-VWB	R340 R347

类别	钢种合金系	钢号	主要特点
	Mn-Mo-Nb	18MnMoNb	
	Mn-Ni-Mo-Nb	13MnNiMoNb	
	1Cr-Mo-V	ZG15Cr1MoV ZG20CrMoV	
马氏体型耐热钢	5Cr-0.5Mo	1Cr5Mo A213-T5(美) A335-P5(美)	<p>具有很强的淬硬倾向,在空冷条件下就能产生高硬度的M及B组织,焊接性差。接头脆性增大,易产生冷裂纹。近缝区易过热脆化和回火脆化,焊接时应选用抗裂性好的低氢型焊条</p>
	5Cr-MoWVTiB	10Cr5MoWVTiB	
	7Cr-0.5Mo	A213-T7(美) A335-P7(美)	
	9Cr-1Mo	A213-T9(美) A335-P9(美) 1Cr9Mo1	
	9Cr-1MoV	A213-T91(美)	
	9Cr-1MoVNb	10Cr9Mo1VNb	

续表

工艺措施	热处理温度/℃		焊条选用	
	预热、层温	焊后回火	型号	牌号
	$\delta > 30\text{mm}$ 150 ~ 250	600 ~ 650	E6016-D1	J606
			E6015-D1	J607
			E6015-G	J607Ni
			E7015-G	J707Ni
			E7015-D2	J707
	300 ~ 350	710 ~ 750	E5515-B2-VW	R327
			E5515-B2-VNb	R337
① 选用低氢型焊条 ② 焊前预热, 并保持层温 ③ 焊后一般均需热处理。当焊后不能热处理时应选用奥氏体型不锈钢焊条 ④ 大焊接电流焊接, 减慢冷却速度	200 ~ 250	740 ~ 760	E5MoV-15	R507
	250 ~ 300	760 ~ 780	—	R517A G106
	250 ~ 300	730 ~ 750	E9Mo-15	R707
			—	R717A
	300 ~ 350	720 ~ 740	E9Mo-15	R707
			—	R717A
			E301-16.15	A402 A407
		710 ~ 730	—	R717
	740 ~ 750	—	R717	

类别	钢种合金系	钢号	主要特点
	11Cr-MoV	1Cr11MoV 1Cr11MoNiVW	
	12Cr-MoV	2Cr12MoV	
		1Cr12MoWV	
铁素体型耐热钢	13Cr	1Cr13 2Cr13	
	13Cr	0Cr11Ti 00Cr12 0Cr13SA1	
	17Cr	1Cr17 1Cr17Ti	
	17CrMo	1Cr17Mo2Ti	
	25Cr	1Cr25Ti 2Cr25N	
	28Cr	1Cr28 1Cr28Ti	

铁素体耐热钢是一组低 C 高 Cr 的 Fe-Cr-C 合金, 没有淬硬性, 焊接性比马氏体钢好, 比奥氏体钢差, 焊接的主要问题是接头脆化和腐蚀问题, 当含 Cr 量高或加入一些固定 C 的元素时, 可提高耐晶间腐蚀能力

续表

工艺措施	热处理温度/℃		焊条选用	
	预热、层温	焊后回火	型号	牌号
	300 ~ 400	680 ~ 720	E11MoVNi-16 E11MoVNi-15 E11MoVNiW-15	R802 R807 R817
	300 ~ 450	740 ~ 760	E11MoVNi-15	R827
			E11MoVNiW-15	R817
			E11MoVNi-15	R827
	350 ~ 400	700 ~ 740	E410-15 E410-16 E308-15	G207 G202 A107
①小电流、高速焊,小的热输入,窄焊道,减少接头高温停留时间 ②根据要求性能不同可选用与母材相近的焊条或奥氏体焊条 ③预热温度不宜过高,控制层温,不宜连续施焊 ④采取冷却措施,提高冷却速度 ⑤对 $\omega(\text{Cr}) > 25\%$ 的耐热钢,在特殊条件下可采用镍基合金焊条	200	750 ~ 800	E410-16 E410-15	G202 G207 G217
			E430-16 E430-15	G302 G307
			E430-15 E309-15 E309-16	G307 A307 A302
	100 ~ 150		E309-16 E309-15 E309Mo-15	A302 A307 A317
	100 ~ 150	750 ~ 800	E310-16 E310-15 E310Mo-16	A402 A407 A412

类别	钢种合金系	钢号	主要特点
奥氏体型耐热钢	19-9	1Cr18Ni9Ti	<p>奥氏体耐热钢与奥氏体不锈钢具有基本相同的焊接特点,具有较高的变形能力并不可淬硬,有着较好的焊接性。但焊缝金属及热影响区容易产生热裂纹。在 650~850℃ 长时间停留,会析出 σ 脆性相,所以应严格控制铁素体含量和 σ 脆性相。从抗热裂性出发,要求焊缝金属中含有一定量的 F;但从 σ 相脆变和热强性出发,F 含量越低越好。解决这一矛盾是奥氏体耐热钢焊接的核心技术</p>
	18-11	0Cr18Ni11Nb	
	17-13	Cr17Ni13W 0Cr17Ni12Mo2 0Cr18Ni13Si4	
	19-13-Mo	0Cr19Ni13Mo3	
	19-9WMoNbTi	0Cr19Ni9- WMoNbTi	
	20-14Si	1Cr20Ni14Si2	
	23-13	0Cr23Ni13	
	25-20	0Cr25Ni20 Cr25Ni20Si2	
		4Cr25Ni20	
	16-25Mo	Cr16Ni25Mo6	
	Cr-Mn-Si-N	3Cr18Mn11Si2N 2Cr20Mn- 9Ni2Si2N	

续表

工艺措施	热处理温度/℃		焊条选用	
	预热、层温	焊后回火	型号	牌号
<p>①为防止热裂纹的产生,应采用小电流、高焊速来减少过热</p> <p>②采用短弧、窄焊道操作方法</p> <p>③焊接过程中可采取强制冷却措施</p> <p>④通常不进行焊后热处理,但对大刚性构件必要时可进行800~900℃稳定化处理</p> <p>⑤对固溶时效处理的耐热钢焊件,焊后应作固溶+时效热处理</p> <p>⑥最好选用工艺性能良好的钛钙型不锈钢焊条</p> <p>⑦焊条使用前应烘干,去除药皮中的水分,并妥善保管以免吸潮,避免产生气孔</p>	—	—	E308-16 E308-17	A101 A102 A102A
			E347-16、15	A132 A137
			E347-16 E347-5-15	A132 A137
			E316-16 E318V-16.15 —	A201 A202 A232
			E317-16	A242
			E318V-15	A237
			E309Mo-16	A312
			E309-16	A302 A307
			E310-16 E310-15 E310Mo-16.15	A402 A407 A412
			E310H-16 —	A432 A462
			— E16-25Mo- N-15.16	A507 A502
			E310-16 E310-15	A402 A707 A717

7. 焊接不锈钢的焊条选用

(1) 不锈钢的种类及性能。不锈钢主要有高铬(Cr-Fe系)不锈钢和高铬镍(Cr-Ni-Fe系)耐酸钢。用于焊接的不锈钢通常是指变形不锈钢,按其组织不同可分为:马氏体型不锈钢、铁素体型不锈钢、奥氏体型不锈钢、奥氏体-铁素体型双相不锈钢及沉淀硬化型不锈钢等五类。其中奥氏体型不锈钢应用最广。品种也最多。

不锈钢与碳钢相比,其物理性能具有以下特点:

1) 比电阻高 奥氏体型不锈钢约为碳钢的5倍;马氏体型和铁素体型不锈钢约为碳钢的4倍。

2) 热导率低 奥氏体型不锈钢约为碳钢的1/3;马氏体型不锈钢和铁素体型不锈钢约为碳钢的1/2。

3) 线胀系数大 奥氏体型不锈钢约比碳钢大50%,且随着温度的升高,线膨胀系数也相应增大。

马氏体型不锈钢在退火状态下,硬度最低,可淬火硬化。

铁素体型不锈钢的特点:是在常温时冲击韧度低,若在高温下长时间加热时,力学性能会进一步恶化,可能导致475℃脆化,形成 σ 脆性相或晶粒粗大等。

奥氏体型不锈钢常温下具有低的屈强比(40%~50%),伸长率、断面收缩率和夏比冲击吸收功均很高,并具有高的冷加工硬化性。某些奥氏体型不锈钢经高温加热后,会产生 σ 相和晶界析出碳化铬,引起脆化现象,降低耐晶间腐蚀能力。

由于各类不锈钢具有不同的成分和性能,在焊接材料选用和施焊工艺中也有所不同。

(2) 焊接不锈钢时焊条的选用。不锈钢焊条的主要成分、性能和用途,见表2-12。

不锈钢的应用通常是用其所特有的耐热、耐蚀的特性,因此焊条应根据不锈钢的材质、工作条件(如工作温度、接触介质等)来选用。若选用不当会降低接头强度、增大晶间腐蚀倾向,缩短产品的使用寿命。

对高温工作的耐热不锈钢,焊条的选用主要应满足焊缝金属的抗热裂纹性能和接头的高温性能。如对 $\text{Cr}/\text{Ni} \geq 1$ 的奥氏体耐热钢,一般应选用 A + F 不锈钢焊条(F 的体积分数约为 2% - 5%);对 $\text{Cr}/\text{Ni} < 1$ 的稳定型奥氏体耐热钢,一般应选用在保证焊缝金属具有与母材成分大致相近的同时,增加焊缝金属中的钼、钨和锰等元素的含量,以保证焊缝金属的热强性,同时还可提高其抗裂性。

焊接在各种腐蚀介质中工作的耐蚀不锈钢,应按介质种类和工作温度来选择焊条。对于工作温度在 300°C 以上,有较强腐蚀性介质的,须选用含钛或铌稳定元素或超低碳的不锈钢焊条;对于含有稀硫酸或盐酸的介质,常选用含钼或钼、铜的不锈钢焊条。对于常温下工作,腐蚀性弱或仅为避免锈蚀的设备等,从降低生产成本出发可选用不含钛、铌的不锈钢焊条。

一般说不锈钢焊条选用的基本原则是选用焊缝金属与母材成分相同或相近的焊条。由于含碳量对不锈钢的耐蚀性影响很大,因此一般选用焊条熔敷金属含碳量不高于母材的不锈钢焊条。耐热不锈钢焊条的选用,见表 2-24。

8. 堆焊焊条的选用

堆焊是为增大或恢复焊件尺寸,或使焊件表面获得具有特殊性能的熔敷金属而进行的焊接。堆焊可以提高零件耐磨、耐热、耐腐蚀等性能。堆焊的物理本质、冶金过程、热过程等基本规律与一般焊接没有区别,但堆焊的目的是使零件表面充分发挥堆焊合金的性能,使零件获得更高的使用寿命。

堆焊金属有时同时遭受腐蚀和磨损综合作用的复杂磨损过程,如水轮机转子、叶片等。因此在腐蚀条件下,选择堆焊材料应具有耐蚀和耐磨两方面的性能。

选用堆焊焊条时,应首先满足堆焊件的工作条件,如磨损类型(磨料磨损、冲击磨损或金属间磨损等)、工作温度及介质等;其次应考虑焊接性、堆焊层的可加工性及经济性等。

表 2-24 不锈钢焊条的选用

类别	钢材牌号	主要特点	工艺措施
奥氏体型	00Cr19Ni10 0Cr18Ni9	奥氏体型不锈钢焊接时容易产生热裂纹,其原因之一是不锈钢热导率较小,线膨胀系数大,延长了焊缝在高温停留的时间,因而收缩应力大;原因之二是凝固温度区特别宽,低熔点杂质易在晶界上富集,在一定拉应力下开裂	<p>①焊缝金属呈 A + F 的双相组织,可减少热裂纹。</p> <p>②合适的焊条,调整焊缝的化学成分,减少 C、S、P,增加 Cr、Mo、Mn、Si 等元素,减少热裂纹。在必须保证焊缝为纯 A 组织的前提下,可选用高 Mn 焊条,如 20-10-Mn6, 19-13-Mn5 等,可有效防止纯 A 钢的热裂纹</p> <p>③采用小电流、快速焊,直流反接,限制热输入,提高熔池冷却速度,多层焊时层温控制不超过 60℃。</p>
	00Cr18Ni12Mo2 00Cr17Ni14Mo2 00Cr17Ni14Mo3		
	00Cr18Ni12-Mo2Cu2		
	00Cr19Ni13Mo3		
	00Cr17Ni15Si4Nb		
	0Cr19Ni9		
	0Cr18Ni10Ti 0Cr18Ni11Nb		
	1Cr18Ni9 1Cr18Ni9Ti		
	1Cr18Ni2Mo 0Cr18Ni13Si4		

热处理温度(℃)		焊条选用	
预热层温	焊后热处理	型号	牌号
原则上不预热,层温一般应低于60℃	原则上不进行焊后热处理,只有在接头发生了脆化或需要提高其耐蚀性时,才进行固溶处理或稳定化处理。固溶处理:1 050 ~ 1 150℃,保温1h,然后快冷。稳定化处理:850 ~ 930℃,保温3h,空冷。	E308L-16 E308L-17 E308L-15	A002 A002A A001、G15
		E316L-16	A022 A022L
		E317MoCuL-16	A032
		E317MoCuL-16	A032
		—	A082、A012Si
		E308-16 E308-17 E308-15	A101、A102 A102A A107
		E347-16 E347-15	A132 A132A、A137
		— E347-16	A112 A132
		E316-16 E316-15 E318V-16	A201 A202 A207 A232

类别	钢材牌号	主要特点	工艺措施
奥氏体型	0Cr18Ni12Mo2Ti 1Cr18Ni12Mo2Ti	奥氏体不锈钢在 450 ~ 850℃ 下长时间停留, 会在晶界上析出碳化铬, 使晶界区形成贫铬层, 极易腐蚀, 是奥氏体不锈钢最危险的破坏形式, 奥氏体不锈钢在 500 ~ 800℃ 下长时间停留且含氮高时, 可能出现 475℃ 脆性或 σ 相脆性, 降低焊缝的塑性和韧性	④ 条件允许时 可对焊缝采取强制 冷却措施 ⑤ 为减少焊接 变形, 焊条电弧焊时 坡口倾角要小 ⑥ 与腐蚀介质 接触的焊层可考虑 最后施焊
	0Cr19Ni13Mo3 0Cr18Ni12Mo3Ti		
	0Cr23Ni13 0Cr25Ni13		
	1Cr20Ni14Si2		
	1Cr25Ni18 0Cr25Ni20 3Cr18Mn11Si2N 2Cr20Mn9- Ni2Si2N		
	4Cr25Ni20 (HK-40)		
	Cr16Ni26Mo6 Cr15Ni25WTi2B		
	Cr25Ni32B Cr18Ni37		
	0Cr17Mn1 3Mo2N (A4)		
	0Cr18Ni18- Mo2Cu2Ti		

续表

热处理温度(℃)		焊条选用	
预热层温	焊后热处理	型号	牌号
		E316-16 E316-15 E318-16	A201、A202 A202NE A207 A212
		E317-16	A242
		E309-16 E309-15	A302 A301 A302A A307
		E309Mo-16	A312
		E310-16 E310-15	A402 A407
		E310H-16	A432
		E16-25MoN-16.15	A502 A507
		E330MoMnWNb-15	A607
		—	A707
		—	A802

类别	钢材牌号	主要特点	工艺措施
奥氏体+铁素体(双相)型	00Cr18Ni5-Mo3Si2 00Cr18Ni5-Mo3Si2Nb	<p>双相不锈钢比传统的奥氏体型不锈钢具有较好的耐腐蚀性能。现有 Cr18、Cr21 及 Cr25 型三类双相不锈钢, 相比比例大致为 F40 ~ F60% + A60% ~ A40% 之间。</p> <p>Cr18-5, Cr18-5Nb 型双相组织稳定, 与 18-8 型奥氏体不锈钢相比, 由于 C、Cr 含量低, 所以 475℃ 脆性或 σ 相脆性倾向小, 热裂纹倾向低, 焊接性良好</p>	<p>①尽量采用小的热输入, 小电流、快速焊, 窄焊道、多道焊, 以防止热影响区晶粒粗大与单相铁素体化。</p> <p>②选用成分相近的专用焊条, 如 A022SiA 或其他含 C 碳低的 A 不锈钢焊条, 对 Cr25 双相不锈钢也可选用镍基合金焊条</p> <p>③一般不需要预热和焊后热处理, 但层温不宜太高, 最好冷后再施焊一层, 对在腐蚀性较强介质工作的 Cr25 型焊接接头最好进行焊后固溶处理</p>
	1Cr21Ni5Ti 0Cr21Ni6Mo2Ti		
	0Cr26Ni5Mo2		
铁素体型	00Cr12 0Cr13 0Cr13Al	<p>铁素体钢没有相变, 含铬量很高, 没有淬硬性, 焊接性比 M 钢好, 比 A 钢差。主要问题:</p>	<p>①采用同质焊缝, 焊前应预热</p> <p>②采用小的热输入, 单道、多层、快速、短弧焊。避免过热, 控制层</p>

续表

热处理温度(℃)		焊条选用	
预热层温	焊后热处理	型号	牌号
—	—	— E309MoL-16 E316L-16 —	A042Si A042 A022Si、A022
—	—	E309MoL-16	A042 成分相近似的专用焊条
—	最好进行 1 050 ~ 1 080℃ 固溶处理	— E309L-16 ENi-0 ENiCrMo-0 ENiCrFe-3	A072 A062 Ni112 Ni307 Ni307A Ni307B 可采用同成分的专用焊条
100 ~ 200	回火 700 ~ 760	E410-16 E410-15 E309-16 E309-15 E310-16 E310-15	G202 G207、G217 A302 A307 A402 A407

类别	钢材牌号	主要特点	工艺措施
	1Cr17 1Cr17Mo 00Cr17Mo 00Cr18Mo2 0Cr17Ti 1Cr17Ti	<p>一是焊接接头脆化。当接头严重过热时,晶粒长大引起脆化,应力大时产生裂纹;475℃脆化比较严重,也易引起σ相脆化。二是焊接接头的晶界析出碳化铬,形成贫铬引起接头晶间腐蚀,其倾向比A钢大</p>	<p>温,尽量缩短高温停留时间,减少高温脆化和475℃脆化。</p> <p>③焊后退火,可改善焊接接头的塑性和耐蚀性。</p> <p>④采用A体焊缝,可提高抗裂性,降低预热温度,或不预热,焊后不进行热处理,但耐蚀性可能低于同类焊接接头</p>
	00Cr27Mo 00Cr30Mo2		
马氏体型	1Cr13 2Cr13	<p>淬硬倾向大,在空冷条件下,就能产生高硬度的马氏体组织,焊接性差</p> <p>在焊接应力作用下很容易产生冷裂纹,含C量越高,越容易产生裂纹</p> <p>焊接接头脆化是M钢另一个问题,近缝区产生粗大的M,使接头塑性下降而脆化</p>	<p>①严格清理焊件,烘干焊条,保持低氢的条件</p> <p>②采用与母材相近成分的焊缝,尽量采用低氢焊条</p> <p>③焊前预热,焊后冷至100~150℃时回火</p> <p>④当焊件不允许进行热处理时,宜选用25-20、24-13型奥氏体钢焊条</p> <p>⑤采用较大的焊接电流,减缓冷却速度</p>
	1Cr17Ni12		
	2Cr17Ni12		

续表

热处理温度(℃)		焊条选用			
预热层温	焊后热处理	型号	牌号		
70 ~ 150	回火 750 ~ 800	E430-16	G302		
		E430-15	G307		
		E316-16. 15	A202		
			A207		
		E309-16. 15	A302		
			A307		
		E310-16. 15	A402		
			A407		
70 ~ 100	—	E310-16	A402		
		E310-15	A407		
		E310Mo-16	A412		
150 ~ 250	—	E308-16	A102		
		E308-15	A107		
		E309-16	A302		
		E309-15	A307		
		E410-16	A402		
		E410-15	A407		
	700 ~ 750 空冷	—	E430-16	G302	
			E430-15	G307	
			—	E308-16	A102
				E308-15	A107
				E309-16	A302
				E309-15	A307
E410-16	A402				
E410-15	A407				

类别	钢材牌号	主要特点	工艺措施
沉淀硬化型	17-7PH(半) PH15-7Mo(半) PH14-8Mo(半) AM-350(半) AM-355(半)	沉淀硬化型半奥氏体不锈钢为超高强不锈钢,常用于核工业、航空、宇航等工业。除 17-10P 钢外都具有良好的焊接性能,一般不需预热、后热。当采用同成分材料焊接,焊后进行相应的热处理后可获得接近等强的接头。这类钢有着极高的强度,适用于极高和极低温度的工作环境,并具有良好的耐腐蚀性能,这类钢是通过热处理或机械变形和时效析出硬化,达到所需的高强度性能	沉淀硬化半 A 型的工艺措施与普通奥氏体型不锈钢相近似。应尽量采用小电流、高速焊、多层多道焊,多层焊时应控制层温,一般不高于 60℃。当不要求等性能接头时,可选用 18-8 型、18-12Mo 型奥氏体焊条,若要求等性能、等强时应采用等成分专用焊条。
	17-4PH 15-5PH PH13-8Mo A-286(Cr15Ni25) 17-10P		

续表

热处理温度(℃)		焊条选用	
预热层温	焊后热处理	型号	牌号
		E308-16 E308L-16 E308-15 E316-16 E316-15	与母材 不等强时可 选用以下焊 条 A102 A002 A107 A202 A202NE A207
	按母材 热处理制度 进行低温回 火、时效硬 化或复合热 处理	—	与母材 要求等强时 应采用与母 材等成分的 专用焊条



堆焊焊条的型号(GB/T984-2001)、牌号和性能见表2-13。堆焊焊条的药皮类型主要有钛钙型、低氢型和石墨型三种。堆焊焊条的性能指标通常是以堆焊层的硬度来表示,但由于堆焊金属类型繁多、化学成分也各不相同,其显微组织及性能也有很大差异,这就决定了堆焊层在不同工作条件下具有不同的耐磨性;即使具有相同的硬度,而不同成分的堆焊层,也会有很大差异。有的在高温时很耐磨;有的仅在常温下耐磨;有的对金属间磨损表现出良好的耐磨性,而耐磨料磨损却很差;总之堆焊层焊条的选用是要满足焊件的工作条件,而不能仅依靠硬度的高低去选用。如D207($\geq 50\text{HRC}$)常温堆焊不能代替D397($\geq 40\text{HRC}$)来堆焊热锻模,也不能代替D256($\geq 170\text{HBC}$)高锰钢焊条来堆焊铁路道岔,否则会很快磨损或破坏。各种不同条件下堆焊焊条的选用见表2-25。

9. 焊接铸铁时焊条的选用

铸铁是指铁的质量分数大于2.11%的铁碳合金。另外

表 2-25 堆焊焊条的选用

工作条件		堆焊金属类型		型号
金属间磨损	常温	低合金珠光体型钢	1Mn3Si	EDPMn2-03 EDPMn2-16 EDPMn2-15
			2Cr1.5Mo	EDPCrMo-A1-03
			2Mn4Si	EDPMn4-16 EDPMn4-15

还含有一定量的 Si、Mn 等合金元素及杂质 S、P 等。

铸铁通常是按碳在铸铁中分布形态分类的。一般可分为白口铸铁、灰铸铁、球墨铸铁、蠕墨铸铁和可锻铸铁。

铸铁的焊接性很差,白口铸铁更差,很少焊接,铸铁焊接产生的主要问题是白口和裂纹。必须根据工件的工作条件和工作要求,正确选用焊接材料,采取特殊的工艺措施,才可能取得良好的效果。

焊条电弧焊在铸铁焊接中应用广泛。主要用于:①铸造缺陷的焊接修复;②已损坏的铸铁成品件焊接修复;③零部件的生产,这是指用焊接方法将铸铁与铸铁件或各种钢件、有色金属件焊接起来而生产出零部件。所用的焊接材料——焊条的种类也较多。铸铁焊条的选用及工艺措施见表 2-26。

选用焊条		说明及典型产品举例
牌号	堆焊硬度 (HRC \geq)	
D102 D106 D107	22	这类零件如轴、火车车轮、滚轮、链轮等,母材材质多为中碳钢、中碳低合金钢(如 45、50、40Cr 等),在常温下工作,承受粘着磨损。通常摩擦面间有砂子、锈等存在,从而也产生磨料磨损,使磨损加剧。这类工件的堆焊通常是为了恢复尺寸,其硬度通常与相配合的材料相近
D112		
D126 D127	28	

工作条件		堆焊金属类型	型号	
金属间磨损	常温	型钢	5Cr2.5Mo EDPCrMo-A2-03 EDPCrMo-A2-16	
		合金马氏体型钢	2Mn4 1Cr3Si 4Mn4Si 4Cr2Mo	EDPMn4-16 — EDPMn6-15 EDPCrMo-A3-03
			7Cr3W5Mo4V2	EDRCrMoWV-A3-15
			5Cr5W9Mo2V	EDRCrMoWV-A1-03 EDRCrMoWV-A1-15
			5Cr5W5Mo2V2	EDRCrMoWV-A2-15
			5Cr5Si3MoV 6Cr5Mo2SiV	— —
	高温	热模具钢	5CrMnMo 3Cr2W8 5Cr5Mo5W8CoV	EDRCrMnMo-03 EDRCrMnMo-15 EDRCrW-15 EDRCrMoWCo-A-16
		高速钢	W18Cr4V 9Cr4Mo8W1.7V1.2	EDD-D-15 CMo09 型
		钴基合金	Co-Cr-W	EDCoCr-A-03 EDCoCr-B-03

续表

选用焊条		说明及典型产品举例
牌号	堆焊硬度 (HRC \geq)	
D132 D136	30	
D146 D156 D167 D172	30 \approx 31 50 40	主要用于齿轮、碳素钢道岔、挖泥斗等的堆焊
D317	50	主要用冲模、剪刀、切边模等的堆焊,要求硬度较高、耐磨性好,并有足够的强度和冲击韧度
D322 D327	55	
D327A	50	
D027 D036	55	
D392 D397 D337 D406	40 40 48 \approx 50	用于热锻模的堆焊,也可用于修复5CrMnMo、5CrNiMo、5CrNiSiW等旧锻模。对热轧辊、热剪刀刃、热拔伸模的堆焊因受热严重,宜选用3Cr2W8类钢
D307 GRIDUR36	55 62	用于刀具、热剪刀刃、冲头等堆焊,也可用于修复刀具及其他工具(如剪床刀口)等
D802 D812	40 44	由于Co基合金具有优良的红硬性、高温耐磨性、抗热疲劳性,国外在热锻模、热剪刀刃、热轧孔型等的堆焊上大量使用,国内也有使用。但较多的用于高温高压阀门的堆焊

工作条件		堆焊金属类型		型号
金属间磨损 + 介质腐蚀、冲蚀(阀门)密封面	中温	高铬不锈钢	1Cr13	EDCr-A1-03 EDCr-A1-15
			1Cr13MoNb	EDCr-A1-15
			1Cr13Mo	EDCr-A2-15
			2Cr13	EDCr-B-03 EDCr-B-15
			1Cr13Mn	EDCrMn-A-16
		奥氏体型铬锰钢	Cr10Mn25	EDCrMn-D-15
			Cr14Mn14	EDCrMn-C-15
	高温	奥氏体型铬镍不锈钢	Cr18Ni8Si5	EDCrNi-A-15
			Cr18Ni8Si5Mo	EDCrNi-B-15
			Cr18Ni8Si7	EDCrNi-C-15
		钴基合金	Cr30W5	EDCoCr-A-03
			Cr30W8	EDCoCr-B-03
			Cr30W8(低碳)	EDCoCr-D-03
	金属间磨损 +		低合金珠光体型钢	1Mn3Si 1Mn3Si 2Cr1.5Mo 2Mn4Si 5Cr2.5Mo

续表

选用焊条		说明及典型产品举例
牌号	堆焊硬度 (HRC \geq)	
D502 D507	40	用于中温、中低压阀门密封面的堆焊、使用温度 $<450^{\circ}\text{C}$
D507MoNb	37	
D507Mo		
D512 D517	45	用于中温高压阀门密封面的堆焊、使用温度 $<500^{\circ}\text{C}$
D516Mn D516MA D516F	38~48	
D567	$\geq 210\text{HBS}$	
D577	28	用于中温高压阀门的堆焊、使用温度 $<510^{\circ}\text{C}$ 。闸阀中与D507配合使用可延长使用寿命
D547	(270~320) HBS	用于高温、高压阀门的堆焊、使用温度一般 $<600^{\circ}\text{C}$
D547Mo	37	
D557		
D802	40	用于高温、高压阀门的堆焊、使用温度 $<650^{\circ}\text{C}$ 也可用于热锻模,热剪刀刃等的堆焊,使用温度 $<800^{\circ}\text{C}$
D812	44	
D842	28~38	
D102 D106、D107 D102 D126、D127 D132	22 22 22 28 30	金属间的磨损,在某些特定工作条件下常伴有磨粒磨损,使磨损严重,如压路机链轮等

工作条件		堆焊金属类型		型号		
磨料磨损			5Cr4Mo2V4	EDPCrMoV-A2-15		
		马氏体型合金钢	7Cr3Mn2Si 5Cr3Mo2 3Cr2MoNi	EDPCrMnSi-15 EDPCrMo-A4-03 EDPCrMo-A3-15		
磨料磨损	常温高应力	马氏体型合金钢	7Cr3Mn2Si	EDPCrMnSi-15		
			5Cr3Mo2	EDPCrMo-A4-03		
			5Cr3Mo2	EDPCrMo-A3-15		
			5Cr4Mo2V4	EDPCrMoV-A2-15		
			3Cr12W3Si	EDPCrMoV-A1-15		
		马氏体型合金铸铁	Cr4Mo4	EDZ-A1-08		
			W9B	EDZ-B1-08		
			Cr5W13	EDZ-B2-08		
		高铬合金铸铁	Cr18W15MoV	—		
			Cr30Mo5V	—		
			Cr30	EDZCr-B-03 EDZCr-B-16		
			Cr28Ni4Si4	EDZCr-C-15		
			Cr30Co5Si2B	EDZCr-D-15		
		磨料磨损	常温低应力	凡适用常温、高应力的各种堆焊焊条均适用		
				碳化钨	W45MnSi4 W60	EDW-A-15 EDW-B-15

续表

选用焊条		说明及典型产品举例
牌号	堆焊硬度 (HRC \geq)	
D227	55	<p>对磨料磨损零件的堆焊,在堆焊金属中必须均匀分布高硬度相,才能有效地抵抗磨损。实践表明堆焊金属含有大量碳化物(高硬度),对抵抗磨料磨损最有效。碳化物虽然性脆,但当受冲击不太大时,还是适用的,如常用于推土机刃板、矿山料车、矿山机械、铲斗齿等高铬铸铁中加入质量分数为3%的硼时,可显著提高耐磨性</p>
D207 D212 D217A	50	
D207	50	
D212		
D217A		
D227	55	
D237	50	
D608	55	
D678	50	
D698	60	
D618	58	
D628	60	
D642 D646	45	
D667	48	
D687 D680	58	
D707 D717 D717A	60	<p>在低应力下的磨料磨损件如泥浆泵、混凝土搅拌机叶片、螺旋输送机、水轮机叶片等,碳化钨和高铬铸铁对这类磨损抗力最高</p>

工作条件		堆焊金属类型		型号
常温 低应力	碳化钨			EDW-A-15 EDW-B-15
		WC		EDGWC1-XX EDGWC2-XX EDGWC3-XX
高温	高铬合金铸铁	Cr28		EDZCr-B-03 EDZCr-B-16
		Cr28Ni4Si4 (索尔马依特1号)		EDZCr-C-15
磨料磨损 + 冲击磨损	合金马氏体钢	7Cr3Mn2Si		EDPCrMnSi-15
		5Cr3Mo2		EDPCrMo-A4-03
		5Cr3Mo2		EDPCrMo-A3-15
		3Cr12W3Si		EDPCrMoV-A1-15
	高锰钢	Mn13		EDMn-A-16
		Mn13Mo2		EDMn-B-16
冲击磨损	常温	高锰钢	Mn13	EDMn-A-16
			Mn13Mo2	EDMn-B-16
	高温	铬锰钢	2Mn12Cr13	EDCrMn-B-16
				EDCrMn-B-15
耐腐蚀	中温耐水蚀	铬镍奥氏体型不锈钢	超低碳 19-10 型	E308L-16
			超低碳 24-13Mo2	E309MoL-16

续表

选用焊条		说明及典型产品举例
牌号	堆焊硬度 (HRC \geq)	
D707 D717 D717A	60	耐岩石强烈磨损、如石油钻头、牙轮、钻杆接头等且具有一定的耐热性能
—	30 ~ 60	
D642 D646	45	常温或高温耐磨、耐蚀零件如高炉料钟,推焦机推杆
D667	48	耐 500℃ 以下强烈磨损,耐腐蚀或气蚀如高炉料钟等
D207 D212 D217A D237	50	主要用于受有一定冲击下的磨料磨损如颚式破碎机牙板、挖掘机斗齿等 高锰钢堆焊金属只有获得单相 A 时,才有良好的塑性和韧性。其组织状态取决于 C 和 Mn 的含量及冷却速度,快冷时才可能得到单一 A 组织,若慢冷碳化物沿 A 晶界析出,塑性、韧性下降,易裂
D256 D266	HBS \geq 170	
D256 D266 D276 D277	HBS \geq 170 HBS \geq 20	堆焊受冲击的磨损件如铁路道岔、履带板推土机热剪切机刀刃、热锯等
A002 A042	—	对中温下耐水腐蚀的工件,如原子锅炉、压力容器等可选用铬镍奥氏体不锈钢焊条进行堆焊

工作条件		堆焊金属类型		型号
耐腐蚀	中温耐水蚀	铬镍奥氏体型不锈钢	超低碳 24-13	E309L-16
			18-12Mo2	E316-16
			24-13	E309-16
			26-21	E310-16
	高温耐蚀	钴基合金	Cr30W5	EDCoCr-A-03
			Cr30W8	EDCoCr-B-03
			Cr30W12	EDCoCr-C-03
			Cr28W8(低碳)	EDCoCr-D-03
耐气蚀	常温	铬锰钢	2Mn12Cr13	EDCrMn-B-16
				EDCrMn-B-15
		高铬铸铁	Cr30	EDZCr-B-03
				EDZCr-B-16
		合金马氏体型钢	3Cr12W3Si	EDPCrMoV-A1-15

续表

选用焊条		说明及典型产品举例
牌号	堆焊硬度 (HRC \geq)	
A062	—	对中温下耐水腐蚀的工件,如原子锅炉、压力容器等可选用铬镍奥氏体不锈钢焊条进行堆焊
A202		
A302		
A402		
D802	40	对高温耐腐蚀堆焊采用铁基合金(奥氏体不锈钢、铬锰钢、高铬铸铁等)、钴基合金和镍基合金。钴基合金有良好红硬性、高温耐磨、耐蚀性、对内燃机排气阀等宜用钴基合金进行堆焊
D812	44	
D822	53	
D842	28~35	
D276	20	受气相和液相磨料磨损,如抽气机叶轮,粉尘泵阀、水轮机叶片、泥浆泵叶轮、挖泥船转轮叶片等,若承受带有大量磨料的气体或液体流强烈磨损时,可选用高铬铸铁或碳化钨的焊条进行堆焊;当受气蚀、液体浸蚀时,选用铬锰钢、高铬铸铁、马氏体钢等类型的堆焊焊条
D277		
D642	45	
D646		
D237	50	

表 2-26 铸铁焊条的选用及工艺措施

铸铁类别	焊缝金属类别	主要特点
灰铸铁	铸铁 (同质焊缝)	<p>灰铸铁的焊接性差,主要由于含C、S、P高,焊接熔池凝固快,焊缝及近缝区极易产生硬而脆的白口及马氏体组织</p> <p>灰铸铁强度低,塑性差,由于焊接是局部的不均匀加热,快速冷却,易产生较大的焊接应力,导致焊缝和热影响区产生裂纹</p> <p>对已变质的铸铁易出现焊不上或“打滚”的现象。这主要是与铸铁件出现在高温下长时间工作导致石墨析出聚集和金属氧化等有关</p>

工艺措施	热处理 温度/℃	选用焊条	
		型号	牌号
<p>①冷焊</p> <p>若使焊缝与母材具有相近的化学成分、组织、性能和颜色等,应采用同质焊缝金属的焊条,从而通过焊芯(Z248)或药皮(Z208)过渡到合金。控制焊缝金属成分及冷却速度是关键,应提高碳、硅含量,添加少量钛、稀土,可加强石墨化,改善石墨分布、细化石墨</p> <p>提高焊缝热输入,采用大直径焊条,大电流连续焊接,降低冷却速度,可避免熔化工区产生白口组织</p> <p>②热焊</p> <p>高温(600~700℃)预热,焊后缓冷,可有效防止白口及淬硬组织,减少焊接应力,防止裂纹</p> <p>③半热焊</p> <p>预热温度较低(300~400℃),冷却速度较快,须在石墨化较强的焊条配合下,才能获得灰口组织</p>	<p>预热 600~700</p> <p>后热 600~700</p> <p>整体加 热随炉 冷却或 隔热缓冷</p>	EZC	<p>Z208</p> <p>Z208DF (钢芯)</p> <p>Z248 (铸铁芯)</p>

铸铁类别	焊缝金属类别	主要特点
灰铸铁	非铸铁 (异质焊缝)	<p>当采用非铸铁焊缝时,可用钢基、铜基、镍基等焊条,当采用镍基或一般低碳钢焊条时,焊缝金属对热裂纹敏感性较大,其原因一是母材 S、P 含量高,易与镍形成低熔点共晶,二是单相 A 焊缝晶粒较粗大,晶界易于富集较多的低熔点共晶</p> <p>当用碳钢焊条焊接铸铁时,第一、二层会溶入较多的 C、S、P,故产生热裂纹的敏感性较大</p>
球墨铸铁	球墨铸铁 (同质焊缝)	<p>球墨铸铁的焊接性与灰铸铁基本相同。主要特点是石墨呈球状,从而提高了铸铁的力学性能和抗裂性,但另一方面由于球化剂大大增加了铁水的过冷倾向,尤其是 Mg、Ce 是强的反石墨化元素,提高了 A 的稳定性,使球墨铸铁焊缝和熔合区更易形成白口和淬硬组织</p> <p>球墨铸铁有较高的强度和一定的韧性和塑性。为保证球墨铸铁构件可靠工作,一般要求焊接接头的力学性能与母材基本相匹配</p>

续表

工艺措施	热处理 温度/℃	选用焊条	
		型号	牌号
<p>①降低母材在焊缝中的熔合比,控制 C、S、P 溶入焊缝,减少焊缝热输入,缩小热影响区的宽度,尽量使热不集中,以降低焊接应力</p> <p>②可采用小直径焊条、小电流和快速短道焊、断续焊和分散焊等方法</p> <p>③焊后锤击焊道,降低焊接应力</p> <p>④在某些情况下,可采取某些特殊的焊补措施,如镶块、栽丝、加垫板等</p> <p>⑤加焊退火焊道</p>	冷焊	EZFe EZFe-2 ECuSnB EZNi-1 EZNiFeCu EZNiCu-1 E4303 E4315 E5015	Z100 Z122Fe Z607 Z612 T227 Z308 Z408 Z408A J422 J427 J507
<p>热焊</p> <p>①清理缺陷,开坡口,小缺陷应扩大至 $\phi 30 \sim 40\text{mm}$、深 8mm 以上</p> <p>②大电流连续焊</p> <p>③中等大小缺陷应一次连续焊满,较大缺陷可分段或分区填满后再向前堆焊,保证焊补区有较大的热输入</p> <p>④对刚度大的较大缺陷焊补应采取加热减应工艺或焊前预热、焊后缓冷</p> <p>⑤需加工的工件,焊后应立即用气体火焰加热焊补区至红热状态,并保持约 5min 或进行热处理</p>	预热 500 ~ 700 后热正火 900 ~ 920 2h + 730 ~ 750 保温 2h	EZCQ EZCQ EZCQ EZCQ EZCQ EZCQ	Z258 (铸铁芯) Z238、 Z238DF Z238SnCu Z238F Z268 (碳钢芯)

铸铁类别	焊缝金属类别	主要特点
球墨铸铁	非球墨铸铁 (非同质焊缝)	主要选用 Ni-Fe 或 Ni-Fe-Cu 基焊条,当强度要求高时也可选用高 V 钢焊条,但加工性较差
蠕墨铸铁	同质焊缝	蠕墨铸铁除含有 C、Si、Mn、S、P 外,还含有 RE 蠕化剂,但 RE 含量较球墨铸铁低,故形成白口倾向较球墨铸铁小,而较灰铸铁大,其力学性能高于灰铸铁而低于球墨铸铁
	异质焊缝	

10. 焊接铜及铜合金时的焊条选用

铜及铜合金由于其独特而优越的导电性、导热性、耐腐蚀性、延展性,以及一定的强度等综合性能,因而在电气、电子、化工、食品、动力、交通、航天、航空和兵器等工业部门中得到广泛的应用。铜及铜合金一般可分为纯铜(紫铜)、黄铜(Cu-Zn 合金)、青铜(Cu-Sn、Cu-Al、Cu-Si 等合金)、白铜(Cu-Ni 合金)。对焊条电弧焊来说,纯铜和黄铜焊接性较差,而白铜和青铜焊接性较好。

续表

工艺措施	热处理 温度/℃	选用焊条	
		型号	牌号
冷焊 球墨铸铁的冷焊工艺 基本与灰铸铁相同	预热 不超 过200 或不 预热	EZNiFe-1 EZNiFe-1 EZV EZNiFeCu	Z408 Z438 Z116、Z117 Z408A
热焊与灰铸铁相似 冷焊工艺与灰铸铁基 本相同,用 Z308 冷焊时具 有良好的加工性,但强度 低,不能与蠕墨铸铁相匹 配。新改进的 Z308 强度 较高,力学性能基本能 与之相匹配,并具有良好的 抗裂性	同球墨 铸铁	—	专用焊条 (碳素钢 + 石墨化药 皮 + 蠕墨 化剂)
	冷焊	EZNi-1	Z308 新 Z308

铜及铜合金由于热导率高,线膨胀系数大,对焊条电弧焊来说不仅不易熔合,焊缝成形差,接头应力大,易产生裂纹,而且由于焊缝金属中含氧、氢高和 Zn 的蒸发等,极易产生气孔,并使接头性能下降。因而对重要焊件不推荐焊条电弧焊的方法,可采用 TIG 焊或 MIG 焊等。但对某些小批量、板厚不大的焊件或其他焊接方法难以焊到的部位及堆焊等场合,也常用焊条电弧焊的方法。铜及铜合金焊接工艺要点及焊条的选用见表 2-27。

表 2-27 铜及铜合金焊接工艺要点及焊条的选用

类别	主要特点	工艺措施
纯铜	由于铜及铜合金的导热率大(约为钢的 8 倍),热量易从母材散失,当热输入不足时,母材难以熔合,产生未焊透、焊缝成形差	①应采用较高的预热温度和较大的焊接电流,并保持较高的层温,使母材熔合良好
黄铜	铜及铜合金的线膨胀系数大,导热强,焊接热影响区宽,变形大,应力大。铜能与某些元素或杂质形成低熔点共晶(如 Cu-Bi、Cu-Pb、CuO-Cu 等),使焊缝及热影响区产生裂纹的倾向增大	②需较大的坡口角与间隙,并将接头部位清理干净,不得有氧化皮、油污、水等,可用有机熔剂、碱、酸溶液清洗后,再用水冲洗并吹干
锡青铜		③由于流动性好,尽量在平焊位置焊接。磷青铜、白铜可实现全位置焊接;对高流动性的铜合金焊接时应采用石墨或铜合金的衬带或衬环
铝青铜	由于氢的溶解度在结晶过程中迅速下降,以及氧化还原反应生成的气体在结晶凝固之前来不及逸出,而产生气孔,故产生气孔的倾向较大,焊接接头性能的下降,主要表现在塑性变坏、导电性及耐蚀性下降	④直流反接,短弧操作
硅青铜		⑤为改善接头性能,减小焊接应力,焊后对焊接接头进行热态和冷态的锤击
白铜		⑥对 Al 的质量分数 >7% 的铝青铜厚板,焊后需经 600℃ 退火处理,并以风冷来消除应力

热处理温度/℃	选用焊条型号(牌号)
预热 400 ~ 500	ECu、ECuSi-B(T107)、(T207) ECuSn-B、 ECuAl-C(T227)、(T237)
预热 250 ~ 350	ECuSn-B(T227) ECuAl-C(T237)
预热 150 ~ 200 层温 < 200 后热 480 快冷	ECuSn-B(T227)
Al 的质量分数 < 7%, 预热 < 200; Al 的质量分数 > 7%, 预热 600 ~ 620, 后热, 600 退火并快冷, 厚度 < 3mm 可不预热	ECuAl-C(T237)
不预热层温 < 100, 焊后锤击消除应力	ECuSi-B(T207)
不预热层温 < 70	ECuAl-C(T237)

11. 焊接铝及铝合金时的焊条选用

纯铝化学活泼性强,在空气中其表面即可产生一层致密的 Al_2O_3 氧化膜,可有效地防止硝酸、醋酸的腐蚀,但在碱中会迅速被破坏。

铝中加入 Si、Cu、Mg、Mn、Zn 等合金元素,可获得不同性能的铝合金,根据铝合金的化学成分和制造工艺的不同,可分为变形铝合金和铸造铝合金两大类。变形铝合金又可分为非热处理强化和可热处理强化铝合金。

非热处理强化铝合金可通过加工硬化、固溶强化来提高力学性能,主要有 Al-Mn、Al-Mg 合金。这些合金具有中等的强度、良好的塑性、耐腐蚀性和焊接性,在铝合金焊接结构中应用最多,通常称为防锈铝,以 5A × × 表示其牌号。

热处理强化铝合金包括硬铝(2A × ×)、超硬铝(7A × ×)、锻铝(6A × × ×)等,焊接性较差,熔焊时产生裂纹倾向大,力学性能下降严重,很少用于熔焊。

总的说来铝及铝合金由于导热快、热容量大、线胀系数大、易氧化、熔点低、高温强度和塑性低等特点,采用焊条电弧焊时较为困难,焊接质量差,故在重要构件上很少采用。一般在批量小、质量要求不太高或在修理、焊补中使用。焊前应注意对焊件的清理、焊后应及时消除熔渣。焊条再烘干一般为 150°C 1~2h,焊件需预热 $200\sim 300^\circ\text{C}$ 。铝及铝合金焊条的性能及适用范围见表 2-16。

12. 焊接异种钢时焊条的选用

随着现代化工业的发展和科学技术的进步,对焊接构件的性能提出了更高的要求,除通常的力学性能外,往往还有如高温强度、低温韧性、耐蚀性、导电性等多方面的性能要求,单靠一种金属材料很难满足这些要求。而现代焊接技术可以将所要求的不同性能的不同材料牢固地连接起来,做到“物尽其用”。这样既可满足结构的性能要求,又可节约重贵金属,具有重大的经济意义和实用价值,因而为人们所重视,并获得越来越广泛的应用。

在异种金属焊接中,应用最广的是异种钢的焊接。目前已广泛应用于化工、电站、矿山机械、航天、航空、军工等部门。异种钢焊接结构中所有的钢种,按金相组织可分为珠光体钢,马氏体-铁素体钢和奥氏体钢等三大类。每一大类按力学性能、使用性能、焊接性和工程应用的相近程度等,又可分为若干类别,见表 2-28。

表 2-28 常用于异种钢焊接结构的钢种

组织类型	类别	钢 号
珠光体型钢	I	低碳钢: Q195, Q215, Q235, Q255, 08, 10, 15, 20, 20R, 20g, 20HP, 25
	II	中碳钢及低合金钢: B5, BJ5, Q345, 16MnR, 16MnRC, 16MnD, 09MnV, 09Mn2VD, 06MnNbDR, 14MnNb, 15MnV, 15MnVNR, 15MnVR, 15MnVRC, 15MnTi, 18MnSi, 14MnMoV, 18MnMoNbR, 18CrMnTi, 20Mn, 20MnSi, 20MnMo, 30Mn, 09Mn2, 15Cr, 20Cr, 30V, 10Mn2, 10CrV, 20CrV
	III	船用特殊低合金钢: AK25, AK27, AK28, AJ15, 901 钢, 921 钢
	IV	高强度中碳钢及中碳低合金钢: 35, 40, 45, 50, 55, 35Mn, 40Mn, 50Mn, 40Cr, 50Cr, 35Mn2, 45Mn2, 50Mn2, 35CrMnTi, 40CrMn, 35CrMn2, 40CrV, 25CrMnSi, 35CrMnSiA
	V	铬钼耐热钢: 12CrMo, 12Cr2Mo, 12Cr2MoIR, 12Cr2MoI, 15CrMo, 15CrMoR, 20CrMo, 35Mo, 38CrMoAlA, 2. 25Cr-1Mo

续表

组织类型	类别	钢 号
马氏体—铁素体型钢	VI	铬钼钒(钨)耐热钢: 20Cr3MoWVA, 12Cr1MoV, 25CrMoV, 12Cr2MoWVTiB
	VII	高铬不锈钢: 0Cr13, 1Cr14, 1Cr13, 2Cr13, 3Cr13
	VIII	高铬耐酸耐热钢: Cr17, Cr17Ti, Cr25, 1Cr28, 1Cr17Ni2
	IX	高铬热强钢: Cr5Mo, Cr9Mo1NbV, 1Cr11MoVNb, 1Cr12W1NiMoV, 1Cr11MoV, X20CrMoV121
奥氏体及奥氏体—铁素体型钢	X	奥氏体型耐酸钢: 00Cr18Ni10, 0Cr18Ni9, 1Cr18Ni9, 2Cr18Ni9, 0Cr18Ni9Ti, 1Cr18Ni9Ti, 1Cr18Ni11Nb, Cr18Ni12Mo2Ti, 1Cr18Ni12Mo3Ti, 0Cr18Ni12TiV, Cr18Ni22W2Ti2
	XI	奥氏体型耐热钢: 0Cr23Ni18, Cr18Ni18, Cr23Ni13, 0Cr20Ni14Si2, Cr20Ni14Si2, TP304, P347H, 4Cr14Ni14W2Mo
	XII	无镍或少镍的铬锰氮奥氏体钢和无铬镍奥氏体钢: 3Cr18Mn12Si2N, 2Cr20Mn9Ni2Si2N, 2Mn18Al15SiMoTi
	XIII	奥氏体—铁素体型高强度耐酸钢: 0Cr21Ni5Ti, 0Cr21Ni6MoTi, 1Cr22Ni5Ti

上述三大组织类型钢种之间的焊接是最典型的异种钢焊接；而同一类型组织不同类别的钢种，在化学成分与性能等有时也存在着较大差异，所以在工程中通常也把它们之间的组合归属于异种钢的焊接。

异种钢焊接突出的问题在于焊接接头的化学成分不均匀性及由此引起的组织和力学性能的不均匀性、界面组织的不稳定性及应力变形的复杂性等。协调处理好这些问题是选用焊接材料，制定焊接工艺的依据，也是获得满意焊接接头的关键。大部分熔焊和压焊都可以用于异种钢的焊接。在一般生产条件下焊条电弧焊使用最方便，应用最广。这也与焊条品种多，可选择性大有着密切的关系。

(1) 焊接异种钢的焊接材料选用原则。焊接材料的选择，必须按照异种钢母材的化学成分、性能、接头形式和使用要求来进行。其基本原则可归纳如下：

1) 所选择的焊接材料必须能够保证异种钢焊接接头设计所需要的性能 如力学性能，耐热、耐蚀性能等，但只需要符合两种母材中的一种，即可认为满足技术条件和使用要求。

2) 在焊接接头不产生裂纹等缺陷的前提下 若焊缝金属的强度和塑性不能兼顾时，则应选用塑性和韧性较好的填充金属。

3) 所选择的焊接材料必须保证焊接性需要 在有关稀释率、熔化温度和焊件其他物理性能要求等方面能保证焊接性需要。

4) 焊接材料应经济、易得，并有良好的焊接工艺性能 焊缝成形美观。

5) 结构钢的异种材质焊接时 对相同强度等级的结构钢焊条，一般应选用抗裂性能好的低氢型焊条。

6) 如果不能进行预热和焊后热处理时 对需预热焊件的构件，可选用奥氏体型不锈钢焊条，以提高焊缝金属的塑性，防止裂纹的产生，也可满足焊接接头力学性能的要求。

为解决母材对焊缝金属的稀释，可采用堆焊隔离层的

方法。如母材为 A + B, 焊缝金属为 A, 则应在母材 B 上堆焊隔离层 A。

异种钢焊接时, 预热的目的主要还是降低焊接接头的淬火倾向。预热仍是降低淬火裂纹倾向的重要工艺手段, 其预热温度通常按淬火倾向较大的钢种确定。

(2) 焊接异种珠光型钢时焊条的选用。表 2-28 中 I ~ VI 类都属于珠光体型钢(含低合金耐热钢), 种类多, 应用广, 它们的化学成分, 强度级别及耐热性能不同, 焊接性也有很大差异。除一部分低碳钢外, 大部分均有较大的淬火倾向, 近缝区有明显的裂纹倾向, 焊接这类钢的首要问题是采取措施防止近缝区裂纹; 其次是注意防止或减轻它们由于化学成分不同, 特别是碳及碳化物形成

表 2-29 焊接异种珠光体钢焊条的选用

母材组合	选用焊条	
	牌号	型号
I + II	J427	E4315
I + III	J426	E4316
	J427	E4315
I + IV	J426	E4316
	J427	E4315
	A302	E309-16
	A307 A146	E309-15
I + V	J427	E4315
	R207	E5515-B ₁
	R407	E6015-B ₃
I + VI	J427	E4315
	R207	E5515-B ₁
II + III	J506	E5016
	J507	E5015

元素含量的不同所引起界面组织和力学性能的不稳定和劣化。

对于这类异种钢的焊接,通常且行之有效的办法是:①采用珠光体类焊条加预热或后热;②采用奥氏体焊条(或堆焊隔离层)不预热。当然有时珠光体焊缝也可能产生裂纹,奥氏体焊缝又存在屈服强度不高的问题,在实际生产中还需要根据具体情况予以解决。

焊接材料的选用根据前述的原则,宜选用与合金含量较低的一侧的母材相匹配的珠光体焊材,并保证力学性能,其接头强度不低于两种母材较低者,其中 I ~ IV 类主要考虑常温力学性能,而 V 和 VI 类还应保证耐热性能。焊条的选用见表 2-29。

预热温度/℃	回火温度/℃	备 注
100 ~ 200	600 ~ 650	
150 ~ 250	640 ~ 660	
200 ~ 250	600 ~ 650	焊后立即热处理
不预热	不回火	焊后不能热处理时选用
200 ~ 250	640 ~ 670	焊后立即热处理
200 ~ 250	640 ~ 670	焊后立即热处理
150 ~ 250	640 ~ 660	

母材组合	选用焊条	
	牌号	型号
II + IV	J506	E5016
	J507	E5015
II + V	A402	E310-16
	A407	E310-15
	A146	
II + VI	J506	E5016
	J507	E5015
III + IV	R317	E5515-B ₂ -V
	J506	E5016
	J507	E5015
III + V	A507	E16-25MoN-15
	J506	E5016
III + VI	J507	E5015
	A507	E16-25MoN-15
	J506	E5016
IV + V	J507	E5015
	A507	E16-25MoN-15
IV + VI	J707	E7015
	A507	E16-25MoN-15
V + VI	R207	E5515-B ₁
	R507	E6015-B ₃
	A507	E16-25MoN-15

续表

预热温度/℃	回火温度/℃	备 注
200 ~ 250	600 ~ 650	
不预热	不回火	
200 ~ 250	640 ~ 670	
200 ~ 250	640 ~ 670	
200 ~ 250	640 ~ 670	
不预热	不回火	
200 ~ 250	640 ~ 670	
不预热	不回火	
200 ~ 250	640 ~ 670	
不预热	不回火	
200 ~ 250	640 ~ 670	焊后立即热处理
不预热	不回火	
200 ~ 250	640 ~ 670	焊后立即热处理
不预热	不回火	
200 ~ 250	700 ~ 720	焊后立即热处理
不预热	不回火	

表 2-30 焊接不同马氏体-铁素体型钢时焊条的选用

母材组合	选用焊条	
	型号	牌号
VII + VIII	E410-15	G207
	E309-15	A307
VII + IX	E410-15	G207
	E11MoVNiW-15	R817
	—	R827
	E309-15	A307
VIII + IX	E430-15	G307
	E11MoVNiW-15	R817
	—	R827
	E309Mo-16	A312

(3) 焊接不同马氏体 - 铁素体型钢时焊条的选用。表 2-28 中类别 VII、VIII、IX 的马氏体 - 铁素体型钢,一般都含有大量强碳化物形成元素 Cr,铁素体型钢是一种低 C 高 Cr 合金,虽无淬硬性,但热敏感性很强,在焊接高温条件下晶粒严重粗化、塑性、韧性显著下降;马氏体型钢有强烈的空淬倾向和晶粒粗化倾向,增大回火脆性。所以这两类钢焊接性都较差,马氏体型钢更差。焊接马氏体 - 铁素体型异种钢时,最主要是采取措施防止接头近缝区产生裂纹或塑性、韧性的下降。

针对上述问题,对铁素体钢焊接时,通常选用抗裂性能好的奥氏体或镍基焊条,采用小焊接电流、快速焊、窄焊道、多层焊时控制层温等;对马氏体型钢焊接时,则必须预热,预热 250 ~ 300℃ (但不能超过 400℃),采用小热输入施焊,焊后缓冷至 100℃ 以下再进行高温回火(700 ~ 750℃)。在

预热温度/℃	回火温度/℃	备注
200 ~ 300	700 ~ 740	—
—	—	—
350 ~ 400	700 ~ 740	焊后保温缓冷后立即回火处理
—	—	—
350 ~ 400	700 ~ 740	焊后保温缓冷后立即回火处理
—	—	—

不能预热的条件下也可选用奥氏体焊缝,但存在焊缝强度大大低于母材的问题。

不同马氏体 - 铁素体型钢焊接时焊条的选用见表 2-30。

(4) 焊接异种奥氏体型钢时焊条的选用。不同牌号的奥氏体型钢焊接时,应考虑各自的焊接性而采取相应的工艺措施,并选用焊条。应注意的问题与同种奥氏体钢焊接一样,主要是防止热裂纹、晶间腐蚀和析出脆化等问题。异种奥氏体型钢焊接时一般都不需预热。也不需焊后热处理。异种奥氏体型钢焊接时焊条的选用见表 2-31。

表 2-31 焊接异种奥氏体型钢时焊条的选用

工作条件	选用焊条		焊后热处理
	牌号	型号	
350℃以下非氧化性介质	A202NE A202 A207	E316-16、15	不回火或 950~1050℃ 稳定化处理
氧化性介质，在610℃以下具有热强性	A137 A132	E347-15、16	
无浸蚀性介质，在600℃以下具有热强性	A212	E318-16	
在不含硫化物或无浸蚀性介质中，1000℃以下具有热稳定性，但焊缝不耐晶间腐蚀	A302 A307	E309-16 E309-15	不回火或 870~920℃ 回火
在不含硫化物的气体介质中，在700~800℃以下具有热稳定性	A132 A137	E347-16 E347-15	
对Ni的质量分数<35%又不含Nb的钢材，700℃以下具有热强性	A507	E16-25MoN-15	

(5) 焊接珠光体型钢与铁素体 - 马氏体型钢时焊条的选用。珠光体型钢与铁素体 - 马氏体型钢的焊接性主要取决于铁素体型钢。其原因是焊接接头铁素体型钢一侧热影响区有较大的粗晶脆化倾向。所采取工艺措施主要是焊前预热,严格控制层温,焊后及时热处理,采用小电流、快速焊等。所用的焊接材料一般可选用珠光体类焊条,也可选用铁素体类焊条。但珠光体型钢与 Cr12 型热强钢焊接时,为防止热影响区产生裂纹,则应选 R817 焊条。当不进行预热或焊后回火时则应选用奥氏体型不锈钢焊条。

珠光体型与马氏体型钢焊接时的焊接性取决于马氏体型钢,主要问题是焊接接头易产生冷裂纹和脆化。因为不仅马氏体钢,就连多数的珠光体钢都有较大的淬硬倾向。这类异种钢焊接接头焊后冷却时容易形成淬硬组织,是产生冷裂纹的主要原因。加上两种钢的线胀系数相差较大,产生较大的应力,而结构的拘束度、扩散氢等因素,又都会大大促使接头冷裂纹的产生。由于马氏体钢的晶粒粗化倾向大,引起塑性下降,使接头脆化。为保证异种钢结构的使用性能要求,焊缝金属的化学成分力求接近两种母材的成分。表 2-32 列出珠光体型钢与铁素体 - 马氏体型钢焊接时焊条的选用及相关的热处理规范。

(6) 焊接珠光体型钢与奥氏体型钢时焊条的选用。珠光体型钢与奥氏体型钢在化学成分、金相组织、物理性能、力学性能等方面有着较大差异,在焊接时会有很多困难。为保证质量应注意以下问题:

1) 焊缝金属的稀释 先按熔合比来估算,以求得纯 A 或 A + F(少量)的焊缝成分,然后再来选用焊条。由于珠光体型钢的稀释作用,18-8 型焊材不可能满足要求,25-20 型焊接材料又可能因单相 A 组织而容易产生热裂纹,故在多数情况下选用 25-13 型焊接材料比较合适。

2) 碳迁移形成扩散层 在焊接、热处理或使用中长时间处于高温时,珠光体型钢与奥氏体型钢界面附近发生反

表 2-32 焊接珠光体钢与铁素体-马氏体型钢时焊条的选用

母材组合	选用焊条	
	牌号	型号
I + VII	G207	E410-15
	A302 A307	E309-16 E309-15
I + VIII	G307	E430-15
	A302 A307	E309-16 E309-15
II + VII	G207	E410-15
	A302 A307	E309-16 E309-15
II + VIII	A302 A307	E309-16 E309-15
III + VII	A507	E16-25 MoN-15
III + VIII	A507	E16-25 MoN-15
	A207	E316-15
IV + VII	R202 R207	E5503-B ₁ E5515-B ₁
IV + VIII	A302 A307	E309-16 E309-15
V + VII	R307 R307H	E5515-B ₂
V + VIII	A302 A307	E309-16 E309-15
V + IX	R817 R827	E-11MoVNiW-15
VI + VII	R307 R317	E5515-B ₂ E5515-B ₂ -V
VI + VIII	A302 A307	E309-16 E309-15
VI + IX	R817 R827	E2-11MoVNiW-15

预热温度/℃	回火温度/℃	备注
200 ~ 300	650 ~ 680	焊后立即回火
—	—	—
200 ~ 300	650 ~ 680	焊后立即回火
—	—	—
200 ~ 300	650 ~ 680	焊后立即回火
—	—	—
—	—	—
—	—	—
—	—	焊件在浸蚀性介质中工作时, 在 A507 焊缝表面堆焊 A207 或 A202
—	—	
200 ~ 300	620 ~ 660	焊后立即回火
—	—	—
200 ~ 300	680 ~ 700	焊后立即回火
—	—	—
350 ~ 400	720 ~ 750	焊后保温缓冷并回火
350 ~ 400	720 ~ 750	焊后立即回火
—	—	—
350 ~ 400	720 ~ 750	焊后立即回火

应扩散而使 C 迁移。珠光体钢一侧脱 C 层发生软化,奥氏体钢一侧形成增 C 而硬化,引起应力集中,会降低接头承载能力。为防止碳迁移,可尽量降低加热温度,减少高温停留时间;增加珠光体钢碳化物形成元素或堆焊含强碳化物形成元素或镍基合金的隔离层;采用含镍高的填充金属等。

3) 接头残余应力 由于珠光体型钢与奥氏体型钢的线胀系数不同,奥氏体钢导热性差等,接头具有较大的残余应力。

焊接材料选用时必须充分考虑异种钢焊接接头的使用要求、稀释作用、碳迁移、焊接应力及抗裂性等一系列问题。焊接材料选用参见表 2-33。

表 2-33 焊接珠光体型钢与奥氏体型钢时焊条的选用

母材组合	选用焊条		预热温度 /°C
	牌号	型号	
I + X	A402 A407	E310-16 E310-15	不预热
	A502 A507	E16-25MoN-16、15	
	A202	E316-16	
I + XI	A502 A507	E16-25MoN-16、15	
	A212	E318-16	
	Ni307	ENiCrMo-0	
I + XIII	A502 A507	E16-25MoN-16、15	
II + X 或 II + XI	A402 A407	E310-16 E310-15	
	A502 A507	E16-25MoN-16、15	
	A202	E316-16	
	ANi307B	ENiCrFe-3	

(7) 焊接铁素体型钢与奥氏体型钢时焊条的选用。铁素体型钢与奥氏体型钢焊接所遇到的困难、问题及工艺措施,和珠光体型钢与奥氏体型钢焊接时近似。焊条的选用上,一般可考虑用铁素体型类焊条如 G202、G207,也可用奥氏体型不锈钢焊条如 A137、A212、A302 等。具体选用时,应考虑所焊母材的成分、性能和焊接构件的使用环境。当采用奥氏体型焊条时,要注意防止焊缝中的热裂纹,焊缝尽量选择 A + F 双相组织。还应注意防止铁素体一侧的冷裂纹,焊前应预热 150 ~ 250℃,焊后有时需回火处理。依照母材不同的组合,可参见表 2-34。

回火温度/℃	备 注
不回火	工作温度 < 350℃, 不耐晶间腐蚀
	工作温度 < 450℃, 不耐晶间腐蚀
	用于覆盖 A502、A507 焊缝, 可耐晶间腐蚀
	工作温度 < 350℃, 不耐晶间腐蚀
	用于覆盖 A502、A507 焊缝, 可耐晶间腐蚀
	工作温度 < 350℃, 不耐晶间腐蚀
	工作温度 < 350℃, 不耐晶间腐蚀
	用于覆盖 A402、A407、A502、A507 焊缝, 可耐晶间腐蚀
	珠光体型钢坡口堆焊过渡层

母材组合	选用焊条		预热温度 /°C	
	牌号	型号		
II + XIII	A502 A507	E16-25MoN-16、15	不预热	
III + X 或 III + XI	A502 A507	E16-25MoN-16、15		
	A202	E316-16		
III + XIII	A502 A507	E16-25MoN-16、15	150 - 200 或不预热	
IV + X 或 IV + XI	A502 A507	E16-25MoN-16、15		
	ANi307B	ENiCrFe-3		
IV + XIII	A502 A507	E16-25MoN-16、15	150 - 200 或不预热	
	ANi307B	ENiCrFe-3		
V + X 或 V + XI	A302 A307	E309-16 E309-15		150 - 200 或不预热
	A502 A507	E16-25MoN-16、15		
	Ni307	ENiCrMo-0		
	A212	E318-6		
V + XIII	A502 A507	E16-25MoN-16、15		
VI + X 或 VI + XI	A302 A307	E309-16 E309-15	150 - 200 或不预热	
	A502 A507	E16-25MoN-16、15		
	ANi307B	ENiCrFe-3		
	A212	E318-6		
VI + XIII	A502 A507	E16-25MoN-16、15		

续表

回火温度/℃	备 注
不回火	工作温度 < 300℃, 不耐晶间腐蚀
	工作温度 < 300℃, 不耐晶间腐蚀
	用于覆盖 A502、A507 焊缝, 可耐晶间腐蚀
	工作温度 < 500℃, 不耐晶间腐蚀
680 ~ 710 或不回火 730 ~ 770 或不回火	工作温度 < 450℃, 不耐晶间腐蚀
	淬火钢坡口堆焊过渡层
	工作温度 < 300℃, 不耐晶间腐蚀
	淬火钢坡口堆焊过渡层
680 ~ 710 或不回火	工作温度 < 400℃
	工作温度 < 450℃
	用于过渡层堆焊
	用于覆盖焊缝, 可耐腐蚀
730 ~ 770 或不回火	工作温度 < 350℃, 不耐晶间腐蚀
	工作温度 < 520℃, 不耐晶间腐蚀
	工作温度 < 550℃, 不耐晶间腐蚀
	工作温度 < 570℃, 不耐晶间腐蚀
	用于覆盖焊缝, 可耐腐蚀
	工作温度 < 300℃, 不耐晶间腐蚀

表 2-34 焊接铁素体型钢与奥氏体型钢时焊条的选用

母材组合	选用焊条		
	牌号	型号	
VII + X	A302 A307	E309-16 E309-15	
VII + XI	A202 A207	E316-16 E316-15	
	A212	E318-6	
	A502	E16-25MoN-16	
	A137	E347-15	
VII + XIII	A122	—	
VIII + X	A122	—	
VIII + XI	A202	E316-16	
	A217	E318-5	
	A302	E309-16	
	A307	E309-15	
	A507	E16-25MoN-16	
IX + XI	A137	E347-15	
	VIII + XIII	A122	—
	IX + X	A302 A307	E309-16 E309-15
	IX + XI	A202	E316-16
A212		E318-16	
A217		E318-15	
A302 A307		E309-16 E309-15	
IX + XI	A507	E16-25MoN-16	
	A137	E347-15	
	IX + XIII	A122	—

预热温度/°C	回火温度/°C	备 注
150 ~ 200 或不预热	720 ~ 760	不耐晶间腐蚀,在无硫介质中工作可达 650°C
150 ~ 200 或不预热	720 ~ 760 或不回火	在浸蚀性气体介质中,工作温度 < 350°C
		不耐晶间腐蚀,在无硫介质中工作可达 650°C
		工作温度可达 540°C
		未经热处理的焊缝不耐晶间腐蚀,工作温度可达 570°C
200 ~ 250	750 ~ 800	回火后快速冷却,可耐晶间腐蚀
不预热	720 ~ 750	回火后快速冷却,可耐晶间腐蚀
不预热	不回火	回火后快速冷却,可耐晶间腐蚀
		回火后快速冷却,可耐晶间腐蚀
		在无硫气氛中工作温度可达 1 000°C
		—
不预热	720 ~ 800 或不回火	焊后状态耐晶间腐蚀
不预热	720 ~ 760	焊缝耐晶间腐蚀
150 ~ 200	750 ~ 800	不耐晶间腐蚀,工作温度 < 580°C
150 ~ 200	不回火	焊后状态耐晶间腐蚀
	750 ~ 760	
	750 ~ 800	工作温度可达 650°C
		工作温度可达 580°C
	750 ~ 800	焊后状态耐晶间腐蚀
200 ~ 250	750 ~ 800	回火后快速冷却,可耐晶间腐蚀

表 2-35 复合钢板焊条电弧焊时焊条的选用

复合钢板牌号	基 层	
	焊条牌号	焊条型号(GB)
Q235 + Cr13	J422 J427	E4303 E4315
Q345 + 1Cr13 15MnV + 1Cr13	J502 J507 J557	E5003 E5015 E5515-G
12CrMo + 1Cr13	R207	E5515-B ₁
Q235 + 1Cr18Ni9Ti	J422 J427	E4303 E4315
Q345 + 1Cr18Ni9Ti	J502 J507	E5003 E5015
15MnV + 1Cr18Ni9Ti	J507 J557	E5015 E5515-G
Q235 + 1Cr18Ni12Mo2Ti	J422 J427	E4303 E4315
Q345 + 1Cr18Ni12Mo2Ti 15MnV + 1Cr18Ni12Mo2Ti	J502 J507 J557	E5003 E5015 E5515-G
20g + 1Cr13	J422	E4303
09Mn2 + 1Cr18Ni9Ti	J502 J507	E5003 E5015
15MnTi + 1Cr18Ni9Ti	J607 J557	E6015-D1 E5015-G

(8) 复合钢板的焊接。复合钢板是以不锈钢、镍基合金、铜基合金或钛板等高性能合金为覆层,以低碳钢或低合金钢为基层进行复合轧制、焊接而成的双金属板。基层主

过渡层		覆 层	
焊条牌号	焊条型号(GB)	焊条牌号	焊条型号(GB)
A302	E309-16	A102	E308-16
A307	E309-15	A107	E308-15
A302	E309-16	A102	E308-16
A307	E309-15	A107	E308-15
A302	E309-16	A102	E308-16
A307	E309-15	A107	E308-15
A302	E309-16	A132	E347-16
A307	E309-15	A137	E347-15
A302	E309-16	A132	E347-16
A307	E309-15	A137	E347-15
A302	E309-16	A132	E347-16
A307	E309-15	A137	E347-15
A312	E309Mo-16	A212	E318-16
A312	E309Mo-16	A212	E318-16
A302	E309-16	A202	E316-16
A302	E309-16	A107	E308-16
A307	E309-15	A212	E308-15
A302	E309-16	A107	E308-16
A307	E309-15	A212	E308-15

要满足结构强度和刚度的要求,覆层满足耐蚀、耐磨等特殊性能的要求。通常覆层只占总厚度的10%~20%,能节约大量的贵重金属,又具有任何单独组成金属所不能达到的

性能,具有很高的技术经济价值。

目前我国的复合钢板主要有奥氏体系和铁素体-马氏体系两大类如: Q235 + 1Cr18Ni9Ti, Q235 + 1Cr18Ni12Mo2Ti, Q235 + 1Cr13、20g + 1Cr18Ni9Ti、20g + 1Cr13、Q245 + 1Cr18Ni9Ti, Q345 + 1Cr18Ni12Mo2Ti 等。由于复合钢板是由两种化学成分、力学性能等差别很大的金属复合而成,所以复合钢板的焊接属于异种钢的焊接。复合钢板焊接时所用的焊接材料可分为基层、覆层和过渡层用焊接材料三类,三者有着很大差异。选择焊接材料的基本原则是,覆层用焊接材料应保证熔敷金属的主要合金元素含量不低于覆层母材标准规定的下限值,对于有防止晶间腐蚀要求的焊接接头,还应保证有一定的稳定化学元素(如 Nb、Ti)或 $\omega(\text{C}) \leq 0.04\%$ 。基层应按基层钢材的成分和性能选用焊接材料,保证焊接接头的抗拉强度不低于基层母材的标准规定的抗拉强度下限。隔离层焊接材料宜选用 25Cr-13Ni 或 25Cr-20Ni 型以保证能补充基层对覆层的稀释;基层如果是含 Mo 钢则应选用 25Cr-13Ni-Mo 型。焊条的选用见表2-35。

13. 特殊用途及特殊性能钢焊接时焊条的选用

(1) 特殊用途焊条的选用。特殊用途焊条是指具有特殊功能或在某种特定工作条件下使用的焊条,如水下焊条(TS202 等)、水下割条(TS304 等)、开槽割条(TS404)、管状焊条(TS500 等)、薄板专用焊条(TS421、TSA102)等。

(2) 特殊性能焊条的选用。特殊性能焊条与一般“通用”焊条相比,在特定工作条件下(如立焊、管接头全位焊、打底焊、盖面焊等)具有更好的适用性、更高的生产效率或更好的质量等。这里对常用的某些具有特殊性能的焊条作一简介,供选用时参考。

1) 重力焊碳钢焊条 是指可借助重力焊支架进行半机械化焊接用的焊条,具有设备简单、操作方便、劳动强度低、熔敷效率高等优点。一个焊工可同时操作多台,从而大大提高劳动生产率。一般用于碳钢和其他相应等级的角焊缝

焊接。常用的焊条牌号有 J421Z16、J422Z13、J432Z、J502Z 等。该类焊条一般较长(500 ~ 900mm)、外径较粗,熔敷效率高。

2) 立向下焊条 “通用”焊条进行立焊时,一般是由下而上进行焊接,对焊工技术要求较高,焊接速度慢,焊缝成形较差、凸度较大,应力集中系数较大,生产效率低。立向下焊条是为立焊设计的专用焊条。采用立向下焊条施焊时可自上直拖而下,不摆动,焊接速度快,成形美观,可采用较大的焊接电流,与普通焊条相比可提高生产效率 30% 以上,并可节省焊接材料和电能。常用的立向下焊条有 J425、J421X、J425G、J426X、J427X、J506X、J507X 等。

3) 管道专用焊条 管线接头大多处于水平位置对接接口,管道专用焊条可全位置焊接,工艺性能优良,不同焊位(平、立、仰)使用相同的焊接电流,立焊时由上而下施焊,生产效率高,焊接质量好。常用焊条有 J425G、J505G、J420G、J507XG 等。

4) 底层焊条(打底专用焊条) 这类焊条的特点是可单面焊双面成形,在狭窄的坡口中施焊仍具有良好的脱渣性能,焊缝金属具有良好抗裂纹和抗气孔能力。常用的焊条有 J425G、J505MoD、J506D 等。

5) 盖面焊条 该类焊条最大的特点是焊缝成形特别美观,常用于装饰焊缝和盖面焊。常用的焊条有 J422GM、J506GM 等。

6) 高效不锈钢焊条 所谓高效不锈钢焊条,实际上可分为两种类型。一种熔化系数高,但熔敷效率与普通不锈钢焊条一样;另一种具有高的熔敷效率。

熔化系数高的高效不锈钢焊条采用新型的渣系,使熔滴的过渡形态由粗熔滴短路过渡为主变为由细熔滴渣壁过渡为主。在使用同样焊接电流的条件下,熔化系数可比普通钛钙型不锈钢焊条高 20% ~ 30%,焊条长度可增加 50mm。这类焊条是我国近年来开发研制或引进国外技术

发展起来的,标志着我国不锈钢焊条质量取得突破性的进展。它们是当前不锈钢焊条的主导产品,已得到广泛的应用。这类焊条药皮类型代号为“17”。如国内研制成功的 A102A、A202A、北京金威焊材有限公司的 A102、上海焊条总厂引进的 OK61.30、瑞典 Avesta 公司的 P5(绿皮)、荷兰“飞利浦”的 Philips316,日本“神钢”的 NCS 系列等。

这类焊条一般均具有熔滴颗粒小、药皮套筒深直、呈渣壁过渡、易引弧、电弧燃烧稳定、飞溅少、易脱渣、成形美观,药皮不易发红不开裂等优点,是一种性能优良、值得进一步推广应用的新型不锈钢焊条。

该类焊条焊前应充分进行烘干,以防止产生气孔。

熔敷效率高的高效不锈钢焊条,主要是在药皮中加入大量的合金粉末,以提高熔敷效率。其主要类型可分为以下几种:

①低碳钢芯:药皮中加入了质量分数为 50% - 70% 的合金粉(Cr、Ni 粉等),同时加大药皮厚度,熔敷效率可达 130% 以上。如泰州焊条厂与太原理工大学(原太原工学院)研制的 A102Fe 等焊条。

②高合金钢焊芯(含铁粉):在药皮中加入了质量分数为 50% - 70% 的铁粉及其他合金粉。如前苏联的 AHB-23 焊条,采用 Cr25Ni13 焊芯,药皮中加入 Cr-Ni 粉及铁粉等,保证焊缝达到 18-10 型成分,熔敷效率为 160%,堆焊生产率达 40g/min。

③高合金钢焊芯(不含铁粉):药皮中加入大量与焊缝金属成分相近的中间合金粉,同样可获得高的熔敷效率,且焊缝成分均匀。

日本“神钢”近年来研制成功新型不锈钢焊条如 HIMELT-308、HIMELT-308L、HIMELT-309、HIMELT-316、HIMELT-316L 等,允许采用低碳钢焊条的焊接电流,效率高;采用难吸潮药皮,一般焊前可不必再烘干。

7) 高韧性焊条 随着焊接结构日趋大型化及工作条件

的复杂化,焊接结构的安全运行也为人们所重视,对焊接接头的性能提出了更高的要求,不仅要考核冲击韧度的平均值,而且还要求考核其最低值和 COD 性能。为此,近年来各国都研究和开发了扩散氢低、低温韧性高、COD 值高的新型高韧性焊条。

实现焊缝金属高韧性的主要技术途径是净化焊缝金属,严格控制 S、P 及含氧量,以减少有害杂质和氧化物夹杂;控制氢源、增强去氢能力,以降低焊缝金属扩散氢含量;利用 Ti、B 元素的复合作用,使焊缝金属形成针状铁素体;利用稀土等微量元素净化金属、细化晶粒、减少偏析等,以达到提高冲击韧度和 COD 值的目的。

Ti-B 系焊条, Ti、B 含量极低(一般 $\omega(\text{Ti}) \approx 0.4\%$ 、 $\omega(\text{B})$ 约 $30 \times 10^{-6} \sim 50 \times 10^{-6}$),但作用明显,有着较高的冲击韧度和 COD 值。除 Ti-B 系外,还有 Ni-Ti-B 及 Ti-B-RF 等。属于这类焊条的有 J507R、J506R、J506RH、J507RH、J556RH、J557RH、J507NiTiB、J507TiBMA、J606RH、J607RH、J707Ni、J707RH、J757Ni、J807RH、日本的 NBIS、LB-52NS、荷兰 Philip-76S 等。

8) 铁粉焊条 铁粉焊条是在焊条药皮中加入一定数量的铁粉,以改善焊条的操作工艺性能,提高熔敷效率。铁粉加入量在 30% 以下时,加入铁粉主要是为了改善焊接工艺性,如 E5018 型。铁粉加入量大于 30%,并适当增大药皮厚度,就可大大提高焊条的熔敷效率。后者通常被称为高效铁粉焊条,其熔敷效率可达 160%,最高可达 250%。铁粉焊条一般具有优良的工艺性能,焊缝成形平滑,无咬边,熔滴呈喷射过渡,飞溅很小。主要用于平焊、平角焊和船形焊。

铁粉焊条的药皮类型可分为铁粉氧化铁型(E4327 型)、铁粉钛铁矿型(E4323 型)、铁粉钛型(E4324 型)、铁粉低氢型(E4328 型、E5048 型)等。通常把熔敷效率 130% 作为划分一般铁粉焊条和高效铁粉焊条的界限。

国外铁粉焊条属铁粉钛型的有瑞典 ESAB 的 OK Fe max33.65、OK Fe max33.80、荷兰 Philips 的 C23S、C23、C23H,日本神钢的 ZERO43F 等;属铁粉低氢型的有 OK Fe max38.48(钛碱型)、OK Fe max38.65(锆碱型)、OK Fe max38.95(锆碱型)、Philips C6、C6H、C6V(锆碱型)、神钢的 LBF-52A、LB52-28 等。

铁粉焊条焊接时,通常会产生大量烟尘,影响焊接环境,因此近年来又开发了低尘铁粉焊条。如钛型低尘铁粉焊条 TGD-1(符合国标 E5024)、ZERO43F,氧化铁型低尘铁粉焊条等。

9) 难吸潮焊条 由于焊条药皮中含有较多强碱性氧化物,以及颗粒间存在毛细管吸附现象,而焊条在烘干后于包装物内贮存期间及施工过程中总会接触含有水分的大气,因此药皮吸潮是必然的、难免的。这也是焊缝形成气孔,焊缝金属增氢,造成延迟裂纹等焊接缺陷的重要原因之一。为此,对焊条必须进行焊前烘干,这无疑会给施工带来诸多不便,并造成能源的浪费。

所谓难吸潮焊条,就是在药皮中加入一些低熔点玻璃或其他物质,经过一定的工艺处理,可大大降低焊条药皮的吸潮,使药皮具有较强的抗吸潮能力。这类焊条在一般焊接结构施工中,通常可免去焊前烘干,对重要结构的焊接虽然有时仍需焊前烘干,但焊条在施工过程中可使用更长的时间,从而方便了生产。由于药皮吸潮量的减少,降低了焊缝中扩散氢的含量,有利于降低气孔和延迟裂纹的产生,有利于焊接质量的提高。

第三章 焊丝与焊剂

一、焊丝

焊丝作为一种焊接材料,在现在各种各样的焊接方法中应用越来越广泛。其在熔焊过程中所起的作用,与焊接方法有关,在气焊、火焰堆焊和 TIG 焊时,焊丝仅作为填充金属;而在埋弧焊、MIG 焊、MAG 焊、电渣焊时,焊丝作为熔化极,既传导电流、产生电弧,又作为填充金属、过渡合金与母材金属熔合形成焊缝。

1. 焊丝的分类

(1)按焊丝的结构形式分类。可分为实芯焊丝和药芯焊丝。实芯焊丝多为冷拔钢丝;而药芯焊丝则是由薄钢带纵向折叠并加入药粉后,再行拉拔而成。

(2)按其适用的焊接方法分类。可分为埋弧焊焊丝、气体保护电弧焊焊丝、电渣焊焊丝、堆焊焊丝和气焊焊丝。

(3)按被焊材料性质分类。可分为碳钢焊丝、低合金钢焊丝、不锈钢焊丝、铸铁焊丝和有色金属焊丝。

2. 实芯焊丝的型号、牌号及成分

焊丝的型号或牌号通常可以反映一种焊丝的主要特性及类别。实芯焊丝分气体保护焊用碳素钢、低合金钢焊丝(钢丝),熔化焊用焊丝,铜及铜合金焊丝,铝及铝合金焊丝,镍及镍合金焊丝等。防止焊丝生锈,保持焊丝的光洁,焊丝表面一般都镀有一层铜,镀铜焊丝不影响焊丝的使用性能。

(1)实芯焊接用钢丝牌号的编制方法

1)字母“H” 表示焊丝。

2) 在“H”之后的一位(千分位)或两位(万分位)数字表示平均含碳量。

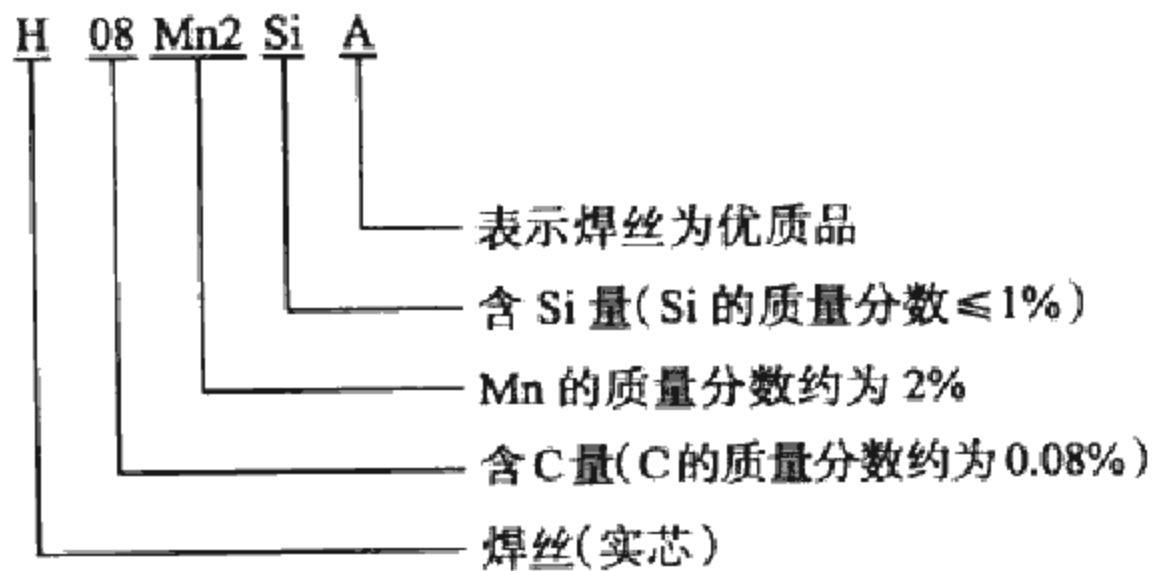
3) 化学元素符号及其后的数字表示该元素的大约质量分数 当主要合金元素的质量分数 $\leq 1\%$ 时,可省略数字只记元素符号。

4) 在焊丝牌号尾部标有“A”或“E”时 分别表示为“优质品”或“高级优质品”。

表 3-1 焊接用钢丝牌号及化学成分

钢种	牌号	化学成分(质量分数,%)		
		C	Mn	Si
碳素结构钢	H08A	≤ 0.10	0.30 ~ 0.55	≤ 0.03
	H08E			
	H08C			
	H08Mn	≤ 0.10	0.80 ~ 1.10	≤ 0.07
	H08MnA			
	H15A	0.11	0.35 ~ 0.65	≤ 0.03
	H15Mn	0.18	0.80 ~ 1.10	

焊丝牌号举例：



常用焊丝的牌号及化学成分见表 3-1。

化学成分(质量分数,%)					
Cr	Ni	Mo	其他	S \leq	P \leq
				0.03	0.03
				0.02	0.02
				0.15	0.015
≤ 0.20 H08C 为 0.10	≤ 0.30 H08C 为 0.10	—	—	0.04	0.04
				0.03	0.03
				0.03	0.03
				0.035	0.035

钢种	牌号	化学成分(质量分数,%)		
		C	Mn	Si
合金结构钢	H10Mn2	≤0.12	1.50 ~ 1.90	≤0.07
	H08MnSi	≤0.11	1.20 ~ 1.50	0.40 ~ 0.70
	H08Mn2Si		1.70 ~ 2.10	0.65 ~ 0.95
	H08Mn2SiA		1.80 ~ 2.10	0.65 ~ 0.95
	H10MnSi	≤0.14	0.80 ~ 1.10	0.60 ~ 0.90
	H11MnSi	0.07 ~ 0.15	1.00 ~ 1.50	0.65 ~ 0.95
	H11Mn2SiA		1.40 ~ 1.85	0.85 ~ 1.15
	H10MnSiMo	≤0.14	0.90 ~ 1.20	0.70 ~ 1.10
	H10MnSiMoTiA	0.08 ~ 0.12	1.00 ~ 1.30	0.40 ~ 0.70
	H08MnMoA	≤0.10	1.20 ~ 1.60	≤0.25
	H08Mn2MoA	0.06 ~ 0.11	1.60 ~ 1.90	≤0.25
	H10Mn2MoA	0.08 ~ 0.13	1.70 ~ 2.00	≤0.40
	H08Mn2MoVA	0.06 ~ 0.11	1.60 ~ 1.90	≤0.25

续表

化学成分(质量分数,%)						
Cr	Ni	Mo	其他	S≤	P≤	
≤0.20	≤0.30			0.035	0.035	
	≤0.15			0.035	0.035	
	≤0.15	—	Cu≤0.20	0.035	0.035	
				0.03	0.03	
				0.035	0.035	
			≤0.15	V≤0.05	0.025	0.035
			0.15~0.25	Cu≤0.20	0.03	0.035
		≤0.30	0.20~0.40	Ti:0.05~0.15	0.025	
			0.30~0.50			
			0.50~0.70	Ti:0.15	0.03	0.03
			0.60~0.80			
			0.50~0.70	V:0.06~0.12		

钢种	牌号	化学成分(质量分数,%)				
		C	Mn	Si		
合金结构钢	H10Mn2MoVA	0.08 ~ 0.13	1.70 ~ 2.00	≤ 0.40		
	H08CrNi2MoA	0.05 ~ 0.10	0.50 ~ 0.85	0.10 ~ 0.30		
	H30CrMoSiA	0.25 ~ 0.35	0.80 ~ 1.10	0.90 ~ 1.20		
铬钼耐热钢	H08CrMoA	≤ 0.10	0.40 ~ 0.70	0.15 ~ 0.35		
	H13CrMoA	0.11 ~ 0.16				
	H18CrMoA	0.15 ~ 0.22				
	H08CrMoVA	≤ 0.10				
	H10CrMoA	≤ 0.12				
	H08CrMnSiMoVA	≤ 0.10			1.20 ~ 1.60	0.60 ~ 0.90
	H08Cr2MoA	≤ 0.10			0.40 ~ 0.70	0.15 ~ 0.35
	H1Cr5Mo	≤ 0.12			0.40 ~ 0.70	
不锈钢	H0Cr14	≤ 0.06	≤ 0.60	≤ 0.70		
	H1Cr13	≤ 0.12	≤ 0.60	≤ 0.50		

续表

化学成分(质量分数,%)					
Cr	Ni	Mo	其他	S≤	P≤
≤0.02	≤0.30	0.60~0.80	V:0.06~0.12	0.03	0.03
0.70~1.00	1.40~1.80	0.20~0.40	—	0.025	0.03
0.80~1.10	≤0.30	—			0.025
0.80~1.10	≤0.30	0.40~0.60	—	0.03	0.030
		0.40~0.60	—	0.03	
		0.15~0.25	—	0.025	
1.00~1.30	≤0.30	0.50~0.70	V:0.15~0.35	0.03	
0.45~0.65		0.40~0.60	—	0.03	
0.95~1.25		0.50~0.70	—	0.03	
2.00~2.50	≤0.25	0.90~1.20	V:0.20~0.40	0.03	
4.0~6.0	≤0.30	0.40~0.60	—	0.03	
13.0~15.0	≤0.60	—	—	—	0.030
11.5~13.5	≤0.60				

钢种	牌号	化学成分(质量分数,%)				
		C	Mn	Si		
不 锈 钢	H2Cr13	0.13 - 0.21	≤0.60	≤0.60		
	H1Cr17	≤0.10	≤0.60	≤0.50		
	H1Cr19Ni9	≤0.14	1.0 - 2.0	≤0.60		
	H0Cr21Ni10	≤0.08	1.0 - 2.5			
	H00Cr21Ni10	≤0.03				
	H1Cr24Ni13	≤0.12				
	H1Cr24Ni13Mo2	≤0.12				
	H0Cr26Ni21	≤0.08				
	H1Cr26Ni21	≤0.15				
	H09Cr19Ni12Mo2	≤0.08				
	H00Cr25Ni22Mn4Mo2N	≤0.03			3.50 - 5.50	≤0.50
	H0Cr17Ni4Cu4Nb	≤0.05			0.25 - 0.75	≤0.75

续表

化学成分(质量分数,%)					
Cr	Ni	Mo	其他	S≤	P≤
12.0 ~ 14.0	≤0.60				
15.5 ~ 17.0	≤0.60			—	
18.0 ~ 20.0	8.0 ~ 10.0				
19.5 ~ 22.0	9.0 ~ 11.0			0.03	
19.5 ~ 22.0	9.0 ~ 11.0			0.02	
23.0 ~ 25.0	12.0 ~ 14.0			0.03	
23.0 ~ 25.0	12.0 ~ 14.0	2.0 ~ 3.0		0.03	0.03
25.0 ~ 28.0	20.0 ~ 22.5			0.03	
25.0 ~ 28.0	20.0 ~ 22.5			0.03	
18.0 ~ 20.0	11.0 ~ 14.0	2.0 ~ 3.0		0.03	
24.0 ~ 26.0	21.5 ~ 23.0	2.0 ~ 2.8	N:0.10 ~ 0.15	0.02	
15.5 ~ 17.5	4.0 ~ 5.0	0.75	Cu:3.0 ~ 4.0 Nb:0.15 ~ 0.45	0.03	



钢种	牌号	化学成分(质量分数,%)				
		C	Mn	Si		
不 锈 钢	H00Cr19Ni12Mo2	≤0.03	1.0~2.5	≤0.60		
	H00Cr19Ni12Mo2Cu2	≤0.03				
	H0Cr19Ni14Mo3	≤0.03				
	H0Cr20Ni10Ti	≤0.08				
	H0Cr20Ni10Nb	≤0.08				
	H0Cr21Ni10Mn6	≤0.10			5.0~7.0	≤0.60
	H00Cr20Ni25Mo4Cu	≤0.03			1.0~2.5	≤0.60

(2) 气体保护焊焊丝。GB/T8110-1995 对该种焊丝做了规定。该焊丝包括碳素钢、低合金熔化极气体保护焊用的实芯焊丝,也可作为 TIG 焊、等离子弧焊的填充焊丝。其型号表示方法为: ER × × - ×。

1) 字母 ER 表示焊丝。

2) ER 后面的两位数字 表示熔敷金属的最低抗拉强度。

3) 短横线“-”后面的数字或字母 表示焊丝化学成分分类代号。

4) 附加其他化学成分时 直接用元素符号表示,并以“-”隔开。

续表

化学成分(质量分数,%)					
Cr	Ni	Mo	其他	S \leq	P \leq
18.0~20.0	11.0~14.0	2.0~3.0		0.03	
18.0~20.0	11.0~14.0	2.0~3.0	Cu:1.0~2.5	0.02	
18.5~20.5	13.0~15.0	3.0~4.0		0.03	
18.5~20.5	9.0~10.5		Ti:9 \times C%~1.0	0.03	0.03
19.0~21.5	9.0~11.0		Nb:10 \times C%~1.0	0.03	
20.0~22.0	9.0~11.0			0.02	
19.0~21.0	24.0~26.0	4.0~5.0	Cu:1.0~2.0	0.02	

例如:

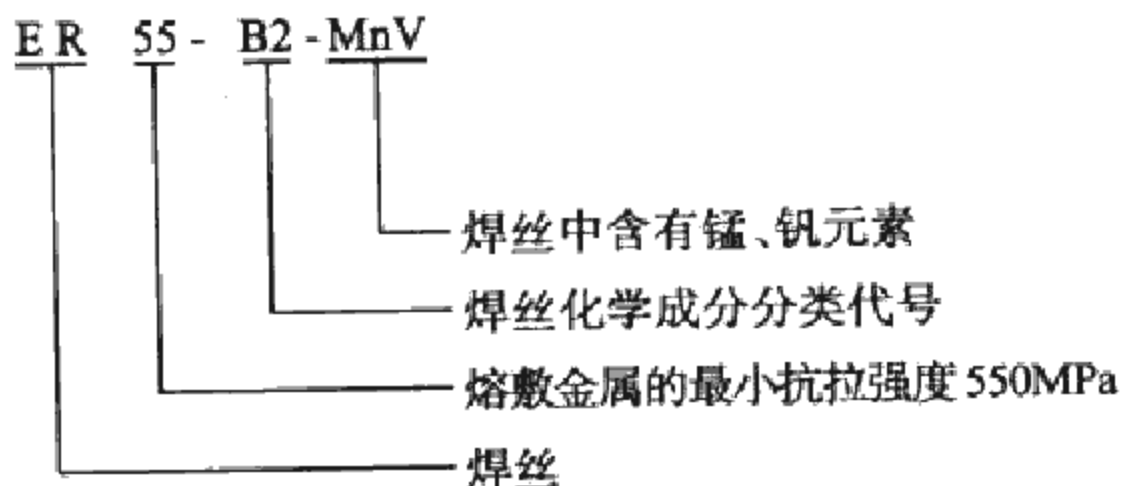


表 3-2 列出了部分碳钢和低合金钢气保焊用实芯焊丝的牌号与型号对比及性能和用途。

表 3-2 碳钢和低合金钢气保焊用实芯焊丝的成分、性能和用途

序号	牌号	型号	焊丝化学成分(质量分数,%)					
			C	Si	Mn	S	P	其他
1	MG49-1	ER49-1 (—)	≤ 0.11	0.65 ~ 0.95	1.80 ~ 2.10	≤ 0.03	≤ 0.03	—
2	MG49-Ni	— (—)	≤ 0.10	0.50 ~ 0.80	1.30 ~ 1.60	≤ 0.03	≤ 0.03	Cr:0.2~0.55 Ni:0.3~0.6 Cu:0.2~0.5
3	MG49-G	ER49-G (ER70S-G)	≤ 0.15	0.55 ~ 1.10	1.4 ~ 1.9	≤ 0.03	≤ 0.03	—
4	MG50-3	ER50-3 (ER70S-3)	0.06 ~ 0.15	0.45 ~ 0.75	0.9 ~ 1.4	≤ 0.035	≤ 0.025	—
5	MG50-4	ER50-4 (ER70S-4)	0.07 ~ 0.15	0.65 ~ 0.85	1.0 ~ 1.5	≤ 0.035	≤ 0.025	—
6	MG50-6	ER50-6 (ER70S-6)	0.06 ~ 0.15	0.8 ~ 1.15	1.4 ~ 1.85	≤ 0.035	≤ 0.025	—

熔敷金属力学性能(不小于)				特征和用途
σ_b / MPa	$\sigma_{0.2}$ / MPa	δ_5 (%)	A_{KV} /J	
490	372	20	47 (室温)	CO ₂ 气保焊焊丝,具有良好的抗气孔性能,用于低碳钢和某些低合金钢的焊接
490	372	20	27 (-20℃)	CO ₂ 气保焊焊丝,具有电弧稳定,可全位置施焊,焊缝具有良好的低温韧性和抗大气腐蚀性等。用于焊接 500MPa 级高强度钢和耐候钢等
490	390	22	27 (0℃)	含有适量 Ti 的 CO ₂ 气保焊焊丝,焊缝晶粒细小,低温性能优良,用于船舶、桥梁等结构,可使用大电流,适于厚板焊接
500	420	22	27 (-18℃)	CO ₂ 气保焊焊丝,良好的工艺性能,用于低碳钢和低合金钢的焊接
500	420	22	-	采用 CO ₂ 或 Ar (95% ~ 80%) + CO ₂ (5% ~ 20%) 作保护气,具有优良的工艺性能,电弧稳定,飞溅小,适于薄板的高速焊接,可用于管子的向下立焊,还可用于碳钢焊接
500	420	22	27 (-30℃)	保护气体和焊接工艺同 MG50-4,焊丝熔化速度快,抗铁锈能力强,气孔敏感性小,可全位置施焊。用于碳钢及 500MPa 级高强度钢结构的焊接

序号	牌号	型号	焊丝化学成分(质量分数,%)					
			C	Si	Mn	S	P	其他
7	MG50-G	ER50-G (ER70S-G)	≤ 0.15	0.4 ~ 1.0	0.85 ~ 1.6	≤ 0.03	≤ 0.03	—
8	MG59-G	—	0.04 ~ 0.07	0.6 ~ 0.8	1.3 ~ 1.6	≤ 0.03	≤ 0.03	Ni:0.6~0.9 Mo:0.3~0.6 Ti:0.1~0.14
9	TG50	ER50-4 (ER70S-4)	≤ 0.07	0.60 ~ 0.85	1.2 ~ 1.5	≤ 0.025	≤ 0.025	—
	TG50Re		~ 0.12					Re 微量
10	TGR50M	—	0.06 ~ 0.12	0.45 ~ 0.70	0.75 ~ 1.05	≤ 0.025	≤ 0.025	Cr≤0.3 Mo:0.45~0.65
	TGR50ML		≤ 0.07					
11	TGR55C M	ER55-B2 (—)	0.06 ~ 0.12	0.45 ~ 0.70	0.75 ~ 1.05	≤ 0.025	≤ 0.025	Cr:1.1~1.4 Mo:0.45~0.65
	TGR55C ML	ER55-B2 L(—)	≤ 0.07					

续表

熔敷金属力学性能(不小于)				特征和用途
σ_b / MPa	$\sigma_{0.2}$ / MPa	δ_5 (%)	A_{KV} /J	
490	345	22	27 (-30℃)	Ar + CO ₂ 气保焊焊丝, 熔池流动性好, 抗裂性优良, 飞溅少, 熔渣少且易清除。适于高速焊接, 尤其是薄板焊接
590	450	16	47 (-20℃)	CO ₂ 气保焊焊丝, 飞溅小, 成型良好, 用于 590MPa 级高强度钢的焊接, 如 HQ60 等。适于焊接起重机、推土机零部件、工程机械和桥梁等
490	390	22	27 (-30℃)	TIG 焊焊丝, 具有良好的塑性、韧性和抗裂性能。用于各种位置的管子打底焊及填充焊, 接头质量满意。可用于焊接低碳钢及低合金钢
	410			
490	390	22	47 (常温)	TIG 焊焊丝, 适于打底焊焊接。用于工作温度在 510℃ 以下的锅炉受热面管子及 450℃ 以下的蒸气管道, 也可用于焊接低合金高强度钢
	370			
540	440	17	47 (常温)	TIG 焊焊丝, 可全位置焊接, 适于打底焊。用于工作温度在 520℃ 以下的管道、高压容器、石油炼制设备等。主要焊接 1.25Cr0.5Mo 珠光体耐钢, 也可用于 30CrMnSi 铸钢件的修补及打底焊
	410			

序号	牌号	型号	焊丝化学成分(质量分数,%)					
			C	Si	Mn	S	P	其他
12	TGR55V	ER55B2 MnV (—)	0.06 ~ 0.12	0.45 ~ 0.70	0.75 ~ 1.05	≤ 0.025	≤ 0.025	V:0.2~0.35 Mo:0.45~0.65
	TGR55VL	(—)	≤ 0.07					
13	TGR55WB	—	0.06 ~ 0.12	0.4 ~ 0.7	0.7 ~ 1.0	≤ 0.025	≤ 0.025	V:0.25~0.45 W:0.3~0.5 B:0.003 ~0.005 Cr:1.8~2.2
	TGR55WBL		≤ 0.07					
14	TGR59C2M	ER62-B3 (—)	0.06 ~ 0.12	0.45 ~ 0.7	0.75 ~ 1.05	≤ 0.02	≤ 0.025	Cr:2.2~2.5 Mo:0.95~1.25
	TGR59C2ML	ER62-B3 L(—)	≤ 0.07					

(3) 铜及铜合金焊丝。GB/T 9460-1988《铜及铜合金焊丝》的规定以字母“HS”表示焊丝,“HS”后以化学元素符号表示焊丝的主要组成元素,在短划“-”后的数字表示相同主

续表

熔敷金属力学性能(不小于)				特征和用途
σ_b / MPa	$\sigma_{0.2}$ / MPa	δ_5 (%)	A_{KV} /J	
540	440	17	47 (常温)	TIG 焊焊丝, 适于焊接 1.25Cr-0.5Mo-V 珠光体耐热钢。用于工作温度在 580℃ 以下的锅炉受热面管子和 540℃ 以下和蒸汽管道、石化设备等打底焊接
	410			
540	440	17	47 (常温)	TIG 焊焊丝, 适于焊接 CrMoWVB 珠光体耐热钢, 可全位置焊接, 用于 620℃ 以下的 12Cr2MoWVB 钢制的蒸汽管道、过热器等的打底焊接
	410			
590	490	15	47 (常温)	2.25Cr-1Mo 珠光体耐热钢用 TIG 焊焊丝, 全位置操作性能良好, 适于打底焊接。用于工作温度在 580℃ 以下的锅炉受热面管子和工作温度在 550℃ 以下的高温高压蒸汽管道、合成化工机械、石油裂化设备等
	440			

要元素中的不同品种。表 3-3 列出了常见铜及铜合金焊丝的型号、牌号及其主要用途:

表 3-3 铜及铜合金焊丝的型号、牌号及主要用途

类别	名称	牌号	代号	识别颜色	主要用途
铜	纯铜丝	HSCu	HS201	浅灰	用于耐海水腐蚀等钢件上的堆焊
黄铜	1号黄铜丝	HSCuZn-1	HS221	大红	用于轴承和耐腐表面的堆焊
	2号黄铜丝	HSCuZn-2	HS222	苹果绿	
	3号黄铜丝	HSCuZn-3	HS223	紫蓝	
	4号黄铜丝	HSCuZn-4	HS224	黑色	
白铜	锌白铜丝	HSCuZnNi	HS231	棕色	用于钢件上堆焊
	白铜丝	HSCuNi	HS234	中黄	
青铜	硅青铜丝	HSCuSi	HS211	紫红	用于耐腐蚀表面的堆焊,不能用于轴承堆焊
	锡青铜丝	HSCuSn	HS212	粉红	用于轴承及抗腐蚀表面的堆焊
	铝青铜丝	HSCuAl	HS213	中蓝	用于耐腐蚀表面的堆焊
	镍铝青铜丝	HSCuAlNi	HS214	中绿	用于耐磨、耐腐蚀表面堆焊

(4) 铝及铝合金焊丝。根据 GB/T 10858-1989《铝及铝合金焊丝》的规定,以字母“S”表示焊丝,在“S”后面的化学元素符号表示焊丝的主要组成成分,其尾部数字表示同类焊丝的不同品种(顺序号)并与前面的元素符号用短划“-”分开,如 SAlMg-1、SAlMg-2。表 3-4 列出铝及铝合金焊丝的分类,型号及统一牌号的对照。

(5) 镍及镍合金焊丝。根据 GB/T 15620-1995《镍及镍合金焊丝》的规定,以字母“ER”表示焊丝,以化学成分的组别表示合金类型,后面的数字表示同一类型合金中的不同品种。

(6) 铸铁焊丝。根据 GB/T 10044-1988《铸铁焊条及焊丝》的规定,以字母“R”表示焊丝,“Z”表示焊丝用于铸铁焊接;以“C”(灰铸铁)、“CH”(合金铸铁)、“CQ”(球墨铸铁)表示熔敷金属类型。其焊丝型号如 RZC、RZCH 和 RZ-VQ 等。

铸铁焊丝的牌号以 HS4 × × 表示。

3. 药芯焊丝的型号、牌号及性能

药芯焊丝适用于自保护焊接或熔化极气体保护焊,如 MIG 焊、MAG 焊,有时也可作为 TIG 焊的填充焊丝。目前已用于碳钢、低合金结构钢、不锈钢及堆焊等金属的焊接。

(1) 药芯焊丝的特性

- 1) 合金成分 合金成分调整方便,对钢材适应性强。
- 2) 焊接时 飞溅少。
- 3) 焊缝外观 平坦、成型、美观。
- 4) 有比实芯焊丝更高的熔敷速度 提高了焊接效率。

(2) 药芯焊丝的渣系类型。根据焊丝中的粉剂成分和熔滴过渡形式,大致可分为五种基本类型:

- 1) 钛型药芯焊丝 主要用金红石、硅铝酸盐进行造渣。
- 2) 钛钙型药芯焊丝 在钛型药芯焊丝的基础上,适当地加入较多的碱性氧化物,提高了焊缝的冲击韧性,但降低了工艺性能。

表 3-4 铝及铝合金焊丝的分类、型号、统一牌号及化学成分

类别	型号 (AWS)	统一 牌号	化学成分(质量分数,%)			
			Si	Fe	Cu	Mn
纯 铝	SAI-1	—	Fe + Si 1.0		0.05	0.05
	SAI-2	—	0.20	0.25	0.40	0.03
	SAI-3 (ER1100)	HS301	0.30	0.30	—	—
铝 镁	SAlMg-1	—	0.25	0.40	0.10	0.50 ~ 1.0
	SAlMg-2	—	Fe + Si 0.45		0.05	0.01
	SAlMg-3	—	0.40	0.40	0.10	0.50 ~ 1.0
	SAlMg-5	HS331	0.40	0.40	—	0.20 ~ 0.60
铝 铜	SAlCu	—	0.20	0.30	5.8 ~ 6.8	0.20 ~ 0.40
铝 锰	SAlMn	HS321	0.60	0.70	—	1.0 ~ 1.6
铝 硅	SAlSi-1 (Er4043)	HS311	4.5 ~ 6.0	0.80	0.30	0.05
	SAlSi-2	—	11.0 ~ 13.0	0.80	0.30	0.15

化学成分(质量分数,%)

Mg	Cr	Zn	Ti	V	Zr	Al
—	—	0.10	0.05	—	—	≥99.0
0.03		0.04	0.03			≥99.7
—		—	—			≥99.5
2.40 ~3.0	0.05 ~0.20	—	0.05 ~0.20	—	—	余量
3.10 ~3.90	0.15 ~0.35	0.20	0.05 ~0.15			
4.30 ~5.20	0.05 ~0.25	0.25	0.15			
4.70 ~5.70	—	—	0.05 ~0.25			
0.02		0.10	0.10 ~0.20			
—	—	—	—	—	—	余量
0.05		0.10	0.20			
0.10		0.20	—			

表 3-5 铸铁焊丝的化学成分

焊丝型号 (或牌号)	C	Si	Mn	S	P
RZC-1	3.20 ~ 3.50	2.7 ~ 3.0	0.60 ~ 0.75	0.10	0.50 ~ 0.75
RZC-2	3.50 ~ 4.50	3.0 ~ 3.8	0.3 ~ 0.8		0.50
RZCH	3.20 ~ 3.50	2.0 ~ 2.5	0.5 ~ 0.7		0.20 ~ 0.40
RZCQ-1	3.20 ~ 4.00	3.2 ~ 3.8	0.1 ~ 0.4	0.015	0.05
RZCQ-2	3.50 ~ 4.20	3.5 ~ 4.2	0.5 ~ 0.8	0.03	0.10
HS401	3.0 ~ 4.2	2.8 ~ 3.6	0.3 ~ 0.8	0.08	0.50
气焊、冷焊	3.0 ~ 4.2	3.8 ~ 4.8	0.3 ~ 0.8		
HS402	3.8 ~ 4.2	3.0 ~ 3.6	0.5 ~ 0.8	0.05	0.05
(轻稀土镁 焊丝、气焊)	3.5 ~ 4.0	3.5 ~ 3.9	0.5 ~ 0.8	0.03	0.10

Fe	Ni	Mo	Ce	球化剂
	—	—	—	—
	—	—	—	—
	1.20 ~ 1.60	0.25 ~ 0.45	—	—
	0.50	—	0.20	0.04 ~0.10
余量	—	—	—	
	—	—	—	—
	—	—	—	钇基重稀土 ΣRE 0.08 ~0.15
	—	—	—	稀土镁 Mg:0.035 ~0.05 ΣRE 0.08 ~0.15

3) 碱性药芯焊丝 又称钙型药芯焊丝,熔渣碱度较高,但焊缝具有良好的塑性及优异的低温冲击韧性。

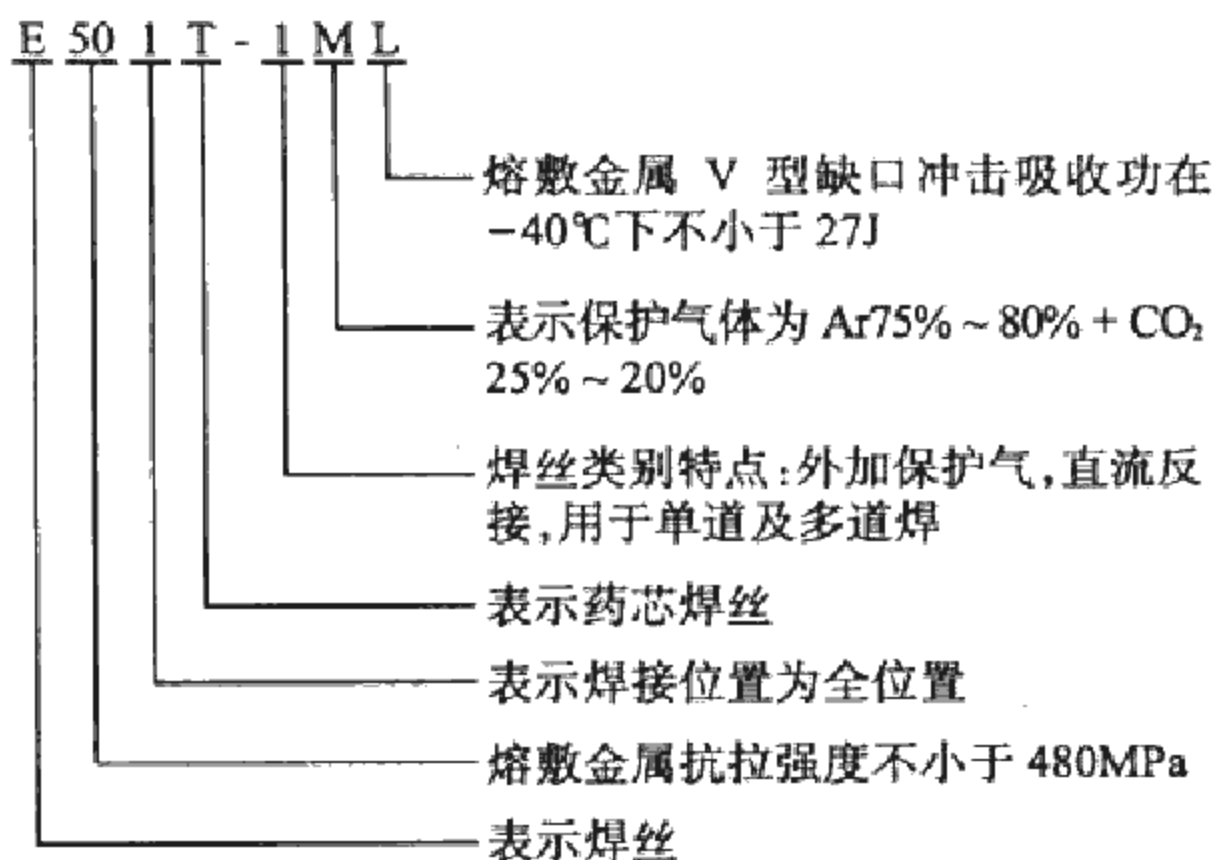
4) 金属粉型药芯焊丝 渣量少,电弧柔软、焊接工艺性好,效率高。

5) 自保护药芯焊丝 不加保护气。

(3) 碳钢药芯焊丝的型号。碳钢药芯焊丝的型号是根据其熔敷金属力学性能、焊接位置和焊丝类别特点(保护类型、电流种类、渣系特点等)进行分类的。碳钢药芯焊丝型号编制方法示例如右上:

表 3-6 碳钢药芯焊丝熔敷金属力学性能要求

型 号	抗拉强度 σ_b /MPa	屈服强度 σ_s /MPa
E50 × T-1, -1M	480	400
E50 × T-2, -2M	480	—
E50 × T-3	480	—
E50 × T-4	480	400
E50 × T-5, -5M	480	400
E50 × T-6	480	400
E50 × T-7	480	400
E50 × T-8	480	400
E50 × T-9, -9M	480	400
E50 × T-10	480	—
E50 × T-11	480	400



伸长率 δ_5 (%)	V 型缺口冲击性能	
	试验温度/ $^{\circ}\text{C}$	冲击吸收功/J
22	-20	27
—	—	—
—	—	—
22	—	—
22	-30	27
22	-30	27
22	—	—
22	-30	27
22	-30	27
—	—	—
20	—	—

型号	抗拉强度 σ_b /MPa	屈服强度 σ_s /MPa
E50 × T-12, -12M	480 ~ 620	400
E43 × T-13	415	—
E50 × T-13	480	—
E50 × T-14	480	—
E43 × T-G	415	330
E50 × T-G	480	400
E43 × T-GS	415	—
E50 × T-GS	480	—

表 3-7 不同碳钢焊丝的焊接位置、保护类型、极性和适用性要求

型号	焊接位置
E500T-1/-1M	横、平
E501T-1/-1M	横、平、向上立焊、仰焊
E500T-2/-2M	横、平
E501T-21/-2M	横、平、向上立焊、仰焊
E500T-3	横、平
E500T-4	横、平
E500T-5/-5M	横、平
E501T-5/-5M	横、平、向上立焊、仰焊
E500T-6	横、平
E500(501)T-7	横、平(横、平、向上立焊、仰焊)

续表

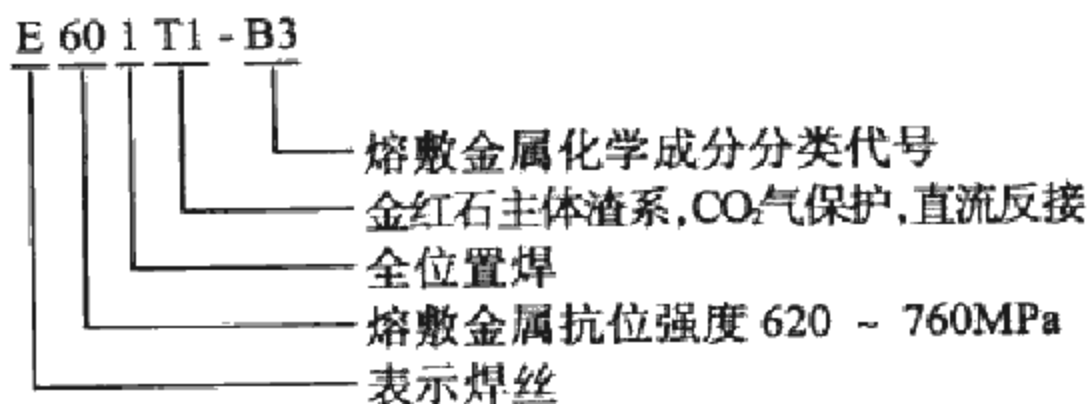
伸长率 δ_5 (%)	V型缺口冲击性能	
	试验温度/°C	冲击吸收功/J
22	-30	27
—	—	—
—	—	—
—	—	—
22	—	—
22	—	—
—	—	—
—	—	—

外加保护气	极性	适用性
CO ₂ 或 Ar75% ~ 80% + CO ₂	直流反接	单道和多道焊
CO ₂ 或 Ar75% ~ 80% + CO ₂	直流反接	单道和多道焊
CO ₂ 或 Ar75% ~ 80% + CO ₂	直流反接	单道焊
CO ₂ 或 Ar75% ~ 80% + CO ₂	直流反接	单道焊
无	直流反接	单道焊
无	直流反接	单道和多道焊
CO ₂ 或 Ar75% ~ 80% + CO ₂	直流反接	单道和多道焊
CO ₂ 或 Ar75% ~ 80% + CO ₂	直流反接 或正接	单道和多道焊
无	直流反接	单道和多道焊
无	直流正接	单道和多道焊

型号	焊接位置
E500(501)T-8	横、平(横、平、向上立焊、仰焊)
E500T-9/-9M	横、平
E501T-9/-9M	横、平、向上立焊、仰焊
E500T-10	横、平
E500(501)T-11	横、平(横、平、向上立焊、仰焊)
E500T-12/-12M	横、平
E501T-12/-12M	横、平、向上立焊、仰焊
E431T-13	横、平、向上立焊、仰焊
E501T-13	横、平、向上立焊、仰焊
E501T-14	横、平、向上立焊、仰焊
E × × 0T-G	横、平
E × × 1T-G	横、平、向下立焊或向上立焊、仰焊
E × × 0T-GS	横、平
E × × 1T-GS	横、平、向下立焊或向上立焊、仰焊

(4) 低合金钢药芯焊丝的型号。根据 GB/T 17493-1998 《低合金钢药芯焊丝》的规定,焊丝的型号根据其熔敷金属力学性能、焊接位置、焊丝类别特点和熔敷金属的化学成分进行划分。如表 3-8。

低合金钢药芯焊丝型号编制方法示例如下:



续表

外加保护气	极性	适用性
无	直流正接	单道和多道焊
CO ₂ 或 Ar75% ~ 80% + CO ₂	直流反接	单道和多道焊
CO ₂ 或 Ar75% ~ 80% + CO ₂	直流反接	单道和多道焊
无	直流正接	单道焊
无	直流正接	单道和多道焊
CO ₂ 或 Ar75% ~ 80% + CO ₂	直流反接	单道和多道焊
CO ₂ 或 Ar75% ~ 80% + CO ₂	直流反接	单道和多道焊
无	直流正接	单道焊
无	直流正接	单道焊
无	直流正接	单道焊
-	-	单道和多道焊
-	-	单道和多道焊
-	-	单道焊
-	-	单道焊

字母“E”表示焊丝，“T”表示药芯焊丝；“E”后面的2位数字表示焊丝熔敷金属的力学性能(表3-8)；第3位数字表示焊接位置(表3-9)；字母“T”后的数字表示焊丝的渣系、保护类型及电流种类(表3-10)；短划“-”后面的字母及数字表示熔敷金属化学分类代号(表3-11)。

(5) 不锈钢药芯焊丝的型号。根据 GB/T 17853-1999 《不锈钢药芯焊丝》的规定，不锈钢药芯焊丝的型号是根据熔敷金属化学成分、焊接位置、保护气体及电流类型来划分的。编制方法示例如下：

表 3-8 低合金钢焊丝熔敷金属力学性能

型号	抗拉强度 σ_b /MPa	屈服强度 σ_s /MPa	伸长率 δ_5 (%)
E43 × T × - ×	410 ~ 450	340	22
E50 × T × - ×	490 ~ 620	400	20
E55 × T × - ×	550 ~ 690	470	19
E60 × T × - ×	620 ~ 760	540	17
E70 × T × - ×	690 ~ 830	610	16
E75 × T × - ×	760 ~ 900	680	15
E85 × T × - ×	830 ~ 970	750	14

表 3-9 焊接位置的符号说明

型号	焊接位置
E × × 0 T × - ×	平焊或横焊
E × × 1 T × - ×	全位置

表 3-10 低合金钢焊丝类别特点的型号说明

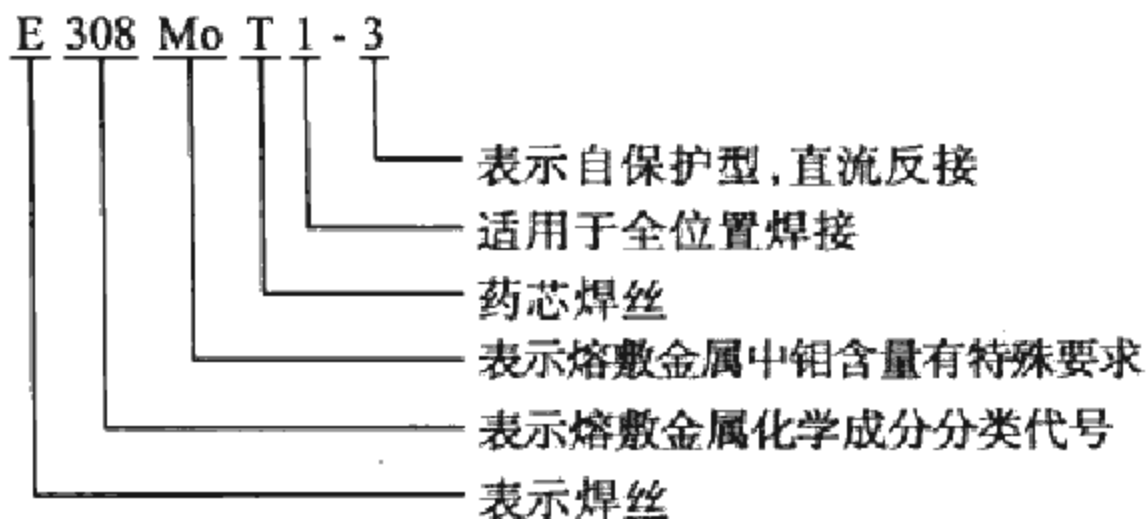
型号	焊丝渣系特点	保护类型	电流类型
E × × × T 1 - ×	渣系以金红石为主体, 熔滴成喷射或细滴过渡	气保护	直流反接
E × × × T 4 - ×	渣系具有强脱硫作用, 熔滴成粗滴过渡	自保护	直流反接

续表

型号	焊丝渣系特点	保护类型	电流类型
E × × × T 5 - ×	渣系为氧化钙-氟化物,碱性,熔滴成粗滴过渡	气保护	直流反接
E × × × T 8 - ×	渣系具有强脱硫作用	自保护	直流正接
E × × × T × - G	渣系、电弧特性、焊缝成型及极性不作规定		

表 3-11 低合金钢焊丝熔敷金属化学成分代号

型 号	熔敷金属化学成分分类
E × × × T × - A1	碳-钼钢焊丝
E × × × T × - B1	0.5% Cr - 0.5% Mo 钢焊丝
E × × × T × - B2	1.0% Cr - 0.5% Mo 钢焊丝
E × × × T × - B3	2.25% Cr - 1.0% Mo 钢焊丝
E × × × T × - Ni1	1.0% Ni 钢焊丝
E × × × T × - Ni2	2.25% Ni 钢焊丝
E × × × T × - Ni3	3.25% Ni 钢焊丝
E × × × T × - D1(2,3)	锰钼钢焊丝
E × × × T × - K1(2-7)	其他低合金钢焊丝



型号表示方法为：“E”表示焊丝，“R”表示填充焊丝；后面用三位或四位数字表示熔敷金属化学成分分类代号；对有特殊要求的化学成分，将其元素符号附加在数字后面，或用“L”表示含碳量较低，“H”表示含碳量较高，“K”表示焊丝适用于低温环境；最后用“T”表示药芯焊丝，之后用一位数字表示焊接位置，“0”表示焊丝适用于平焊位置或横焊位置，“1”表示焊丝适用于全位置焊接；后面的数字表示保护气体及焊接电流种类。表 3-12 列出了不同类别的不锈钢药芯焊丝型号与保护气体、电流种类及焊接方法的关系。

表 3-12 不锈钢药芯焊丝型号与保护气体、电流种类及焊接方法的关系

型号	保护气体 (体积分数)	电流类型	焊接方法
E × × × T × 1	CO ₂	直流反接	药芯焊丝 电弧焊
E × × × T × 3	无		
E × × × T × 4	Ar75% ~ 80% + CO ₂		
R × × × T1-5	Ar100%	直流正接	TIG 焊
E × × × T × -G	不规定	不规定	药芯焊丝 电弧焊
R × × × T1-G			TIG 焊

(6) 药芯焊丝的牌号。药芯焊丝的牌号是商品代号,我国为统一牌号,国外均由生产厂家自行命名。我国药芯焊丝牌号的编制方法为:

- 1) 首字母“Y” 表示药芯焊丝。
- 2) 第二位字母 表示药芯焊丝种类与焊条牌号的编制方法相同,见表 3-13。

表 3-13 药芯焊丝的种类

第二位字母	种 类	第二位字母	种 类
J	结构钢药芯焊丝	D	堆焊药芯焊丝
G(A)	不锈钢药芯焊丝	R	耐热钢药芯焊丝

- 3) 第一、二位数字 表示焊丝特点。
- 4) 第三位数字 表示熔渣类型(或第三位以后之数字及元素符号表示焊缝金属化学成分)。

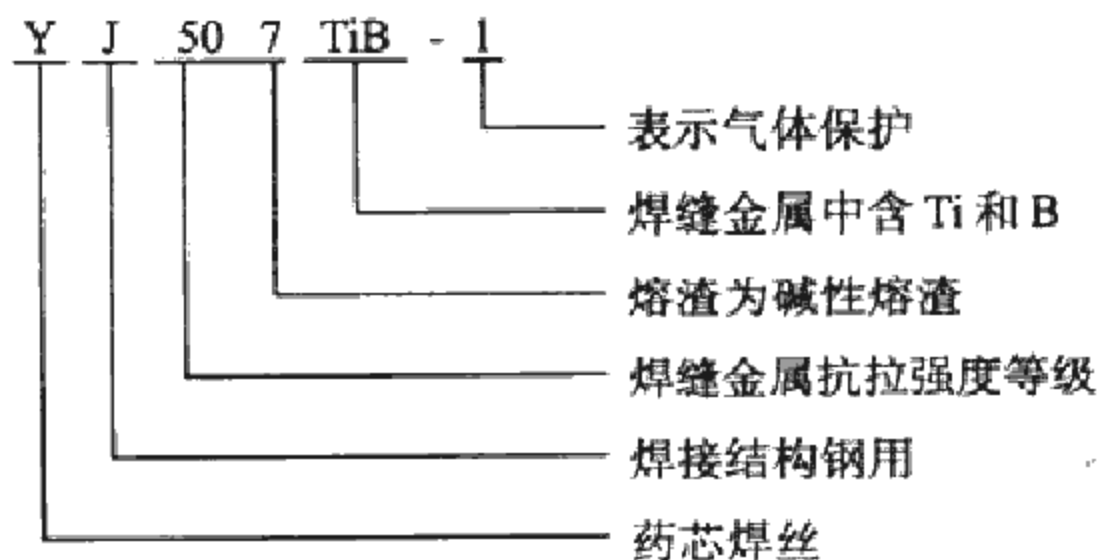




表 3-14 碳钢和低合金钢焊芯焊丝的性能

统一 牌号	型号 (AWS)	熔敷金属化学成分 (质量分数,%)		
		C	Mn	Si
YJ501-1	E501T-1 (E71T-1)	≤0.10	≤1.75	≤0.90
YJ501Ni-1	E501T-1 (E71T-1)	≤0.10	≤1.75	≤0.90
YJ502-1	E500T-1 (E70T-1)	≤0.10	≤1.75	≤0.90
YJ502R-1	—	≤0.10	≤1.75	≤0.90
YJ502R-1	—	≤0.10	≤0.90	≤0.30
YJ507-1	E500T-5 (E70T-5)	≤0.10	≤1.75	≤0.90

熔敷金属化学成分 (质量分数,%)			特征及用途
P≤	S≤	其他	
0.04	0.03	—	钛型 CO ₂ 气体保护焊药芯焊丝,全位置焊接,可向下立焊,综合工艺性能好,用于碳钢及 500MPa 级高强度钢的焊接
0.04	0.03	Ni≤0.50	含有少量 Ni 的 CO ₂ 气保护焊丝,全位置焊接,其工艺性能与 YJ501-1 相似。用于结构的对接及角接,如造船、桥梁、机械制造
0.04	0.03	—	钛钙型 CO ₂ 气体保护焊药芯焊丝,直流反接、工艺性能良好,效率高。用于重要的低碳钢及相应强度的低合金结构钢的焊接
0.04	0.03	—	钛钙型 CO ₂ 气体保护焊药芯焊丝,全位置焊接,操作性能优良,熔敷金属力学性能优良。用于重要低碳钢和低合金高强钢的焊接,如船舶、压力容器、石油、化工容器等
0.04	0.03	Ti≤0.3	钛钙型自保护药芯焊丝,全位置焊接,工艺性能优良,用于低碳钢和低合金高强钢的各类结构,如船舶、石油、压力容器等
0.04	0.03	—	低氢型药芯焊丝,CO ₂ 气保护,直流反接,工艺性能良好,可进行自动、半自动焊接。用于重要的低碳钢和相应强度等级的普低钢的焊接,如压力容器、船舶、石油、化工等

统一 牌号	型号 (AWS)	熔敷金属化学成分 (质量分数,%)		
		C	Mn	Si
YJ507Ni-1	—	≤0.15	≤1.75	≤0.90
YJ507TiB-1	E500T-5 (E70T-5)	≤0.12	≤1.60	≤0.75
YJ507-2	E500T-4 (E70T-4)	—	≤1.75	≤0.90
YJ507G-2	E500T-8 (E70T-8)	—	≤1.75	≤0.90
YJ507R-2	E501T-8 (E71T-8)	—	≤1.75	≤0.90
YJ507D-2	E500T-GS (E70T-GS)	—	≤1.75	≤0.90

续表

熔敷金属化学成分 (质量分数, %)			特征及用途
P ≤	S ≤	其他	
0.04	0.03	Ni ≤ 0.50	低氢型 CO ₂ 气保护焊焊丝, 熔敷金属具有良好的塑性、韧性及抗裂性, 工艺性能良好。用于重要的低碳钢和相应强度等级普低钢的焊接, 如船舶、压力容器等
0.04	0.03	Ni: 0.35 -1.0 Ti ≤ 0.04 B ≤ 0.005	碱性高韧性 CO ₂ 气体保护药芯焊丝, 含有 Ni-Ti-B 元素, 具有优良的低温韧性及断裂韧性。用于低温韧性要求高的重要钢结构的焊接, 如桥梁、船舶
0.04	0.03	Ni ≤ 0.50 Al ≤ 1.80	自保护焊药芯焊丝, 操作工艺性好, 抗气孔能力强, 宜用于平焊的单道焊或多道焊、角焊和棱角焊。用于冶金高炉、船舶、桥梁等钢结构的焊接
0.04	0.03	Ni ≤ 0.5 Cr ≤ 0.2 Mo ≤ 0.3 Al ≤ 1.8 V ≤ 0.03	自保护焊药芯焊丝, 适用于平焊及横焊位置的单道或多道焊, 工艺性能好, 有较好的低温冲击韧性。用于焊接低碳钢的中、厚板结构
0.04	0.03	Al ≤ 1.80	碱性短渣自保护药芯焊丝, 具有优良的低温冲击韧性、工艺性好。适用于焊接对低温冲击韧性要求较高的钢结构, 亦用于船舶、桥梁、压力容器等
0.04	0.03	Ni ≤ 0.50 Al ≤ 1.80	自保护药芯焊丝, 可进行平焊、横焊、工艺良好适于室外作业。用于焊接低碳钢输油、气管及其他普通中、薄板结构的单道焊

统一 牌号	型号 (AWS)	熔敷金属化学成分 (质量分数,%)		
		C	Mn	Si
YJ602G-1	E601T-1 (E91T-1)	≤0.12	1.25 ~ 1.75	≤0.6
YJ607-1	E601T-5 (E91T-5)	≤0.12	1.25 ~ 1.75	≤0.6
YJ707-1	E700T5-Ni1 (E80T5-Ni1)	≤0.15	1.2 ~ 1.7	0.3 ~ 0.6
YR307-1	E550T5-B2 (E80T5-B2)	0.05 ~ 0.12	≤0.9	≤0.60

二、焊剂

焊剂是在焊接时能熔化形成熔渣和气体,对熔化金属起保护和冶金处理作用的颗粒状物质,是埋弧焊、电渣焊时一种不可缺少的主要焊接材料之一。焊剂和焊丝配合使用是决定焊缝金属化学成分和力学性能的主要因素。

1. 焊剂的分类

按生产工艺的不同可分为熔炼焊剂和烧结焊剂两类。

按照焊剂添加脱氧剂、合金剂分类,又可分为中性焊剂、活性焊剂和合金焊剂。中性焊剂是指焊接后,熔敷金属

续表

熔敷金属化学成分 (质量分数,%)			特征及用途
P≤	S≤	其他	
0.035	0.03	—	钛钙型渣系,用于重要的低合金高强钢焊接,如船舶、压力容器、起重机构等重要结构
0.035	0.03	Mo0.25 ~0.45	碱性渣系,用于焊接相应强度等级的低合金高强钢,如Q390、Q420等,也可焊接中碳钢结构
0.03	0.03	Mo0.1 ~0.5 Ni1.0 ~1.2	低氢型低合金高强钢 CO ₂ 气体保护的药芯焊丝,效率高、力学性能优良。用于焊接 15MnMoVN、14MnMoVB、18MnMoNb 等低合金高强钢结构
0.035	0.035	Cr1.0 ~1.5 Mo0.4 ~0.65	低氢型低合金耐热钢 CO ₂ 保护的药芯焊丝,焊接效率高。用于工作温度在 520℃ 以下的 Cr1Mo0.5 的低合金钢如锅炉管道、高压容器、石油精炼设备等

化学成分与焊丝化学成分产生明显变化的焊剂。活化焊剂是加入少量 Mn、Si 脱氧剂的焊剂,这种焊剂可以提高焊缝抗气孔能力和抗裂能力,合金焊剂是添加了较多的合金成分的焊剂。

按焊剂的碱度可分为:碱性焊剂、中性焊剂、酸性焊剂。

按焊剂的颗粒结构可分:玻璃状、结晶状和浮石状。具体分类可见图 3-1。

2. 焊剂的型号

依据有关国家标准的规定来划分。型号可表示焊剂的基本特性。

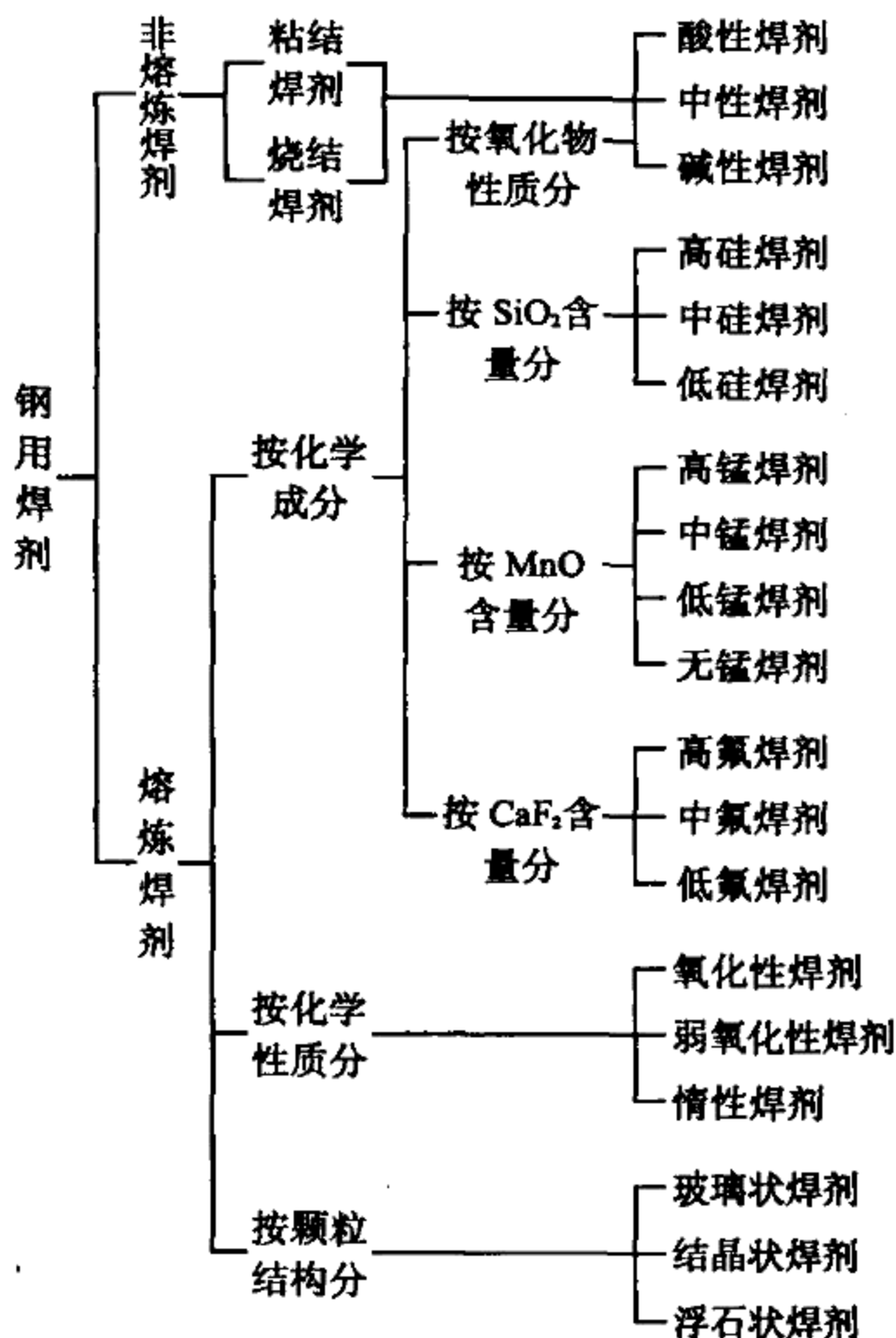
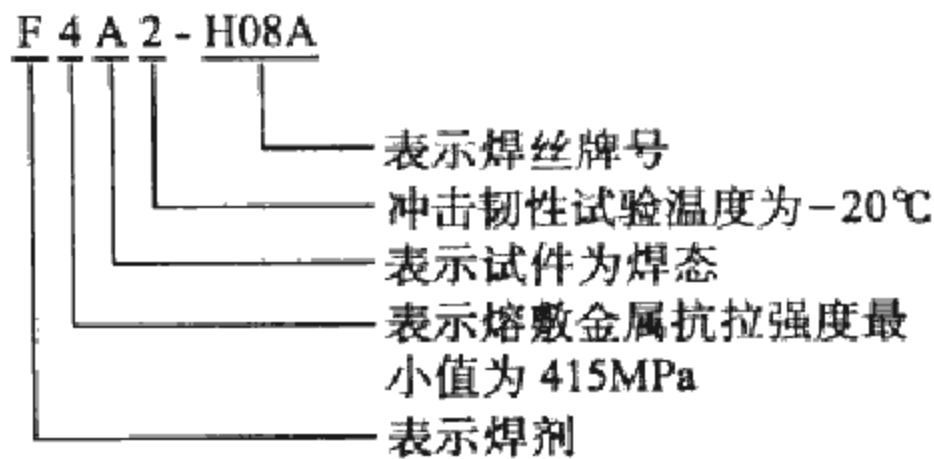


图 3-1 焊剂的分类

(1) 碳钢埋弧焊用焊剂的型号。根据 GB/T 5293-1999 《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》的规定,型号是根据焊丝-焊剂组合的熔敷金属力学性能、热处理状态来分类的。其编制方法如下:字母“F”表示焊剂;第 1 位数字表示熔敷金属抗拉强度的最小值;第 2 位字母表示试件的热处理状态——“A”表示焊态,“P”表示焊后热处理状态;第 3 位数字表示熔敷金属冲击吸收功不小于 27 J 时的最低温度;“-”后表示

焊丝的牌号。例：



熔敷金属抗拉强度的最低值与熔敷金属冲击吸收功不小于 27J 时的试验温度分别如表 3-15 和表 3-16 所示：

表 3-15 熔敷金属拉伸试验

焊剂型号	抗拉强度 σ_b/MPa	屈服强度 σ_s/MPa	伸长率 $\delta_5(\%)$
F4 × × - H × × ×	415 - 550	≥ 330	≥ 22
F5 × × - H × × ×	480 - 650	≥ 400	≥ 22

表 3-16 熔敷金属冲击试验

焊剂型号	冲击吸收功/J	试验温度/ $^{\circ}\text{C}$
F × × 0 - H × × ×	≥ 27	0
F × × 2 - H × × ×		-20
F × × 3 - H × × ×		-30
F × × 4 - H × × ×	≥ 27	-40
F × × 5 - H × × ×		-50
F × × 6 - H × × ×		-60

(2) 低合金钢埋弧焊焊剂的型号。低合金钢焊剂型号
的表示方法及含义如下：



F X₁ X₂ X₃ X₄ - Hxxxx

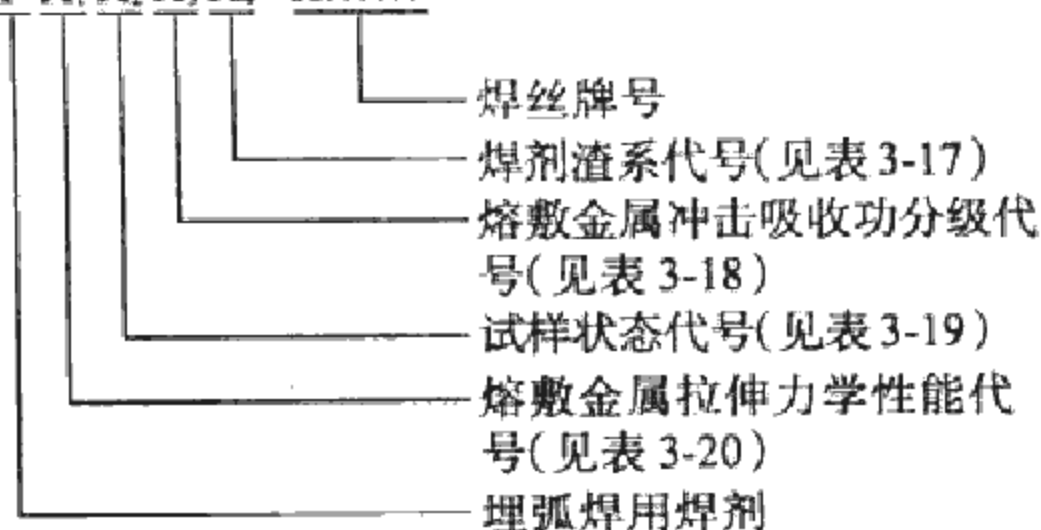


表 3-17 焊剂渣系分类及组成(X₄)

渣系代号 X ₄	主要化学成分(质量分数)组成类型	渣系
1	CaO + MgO + MnO + CaF ₂ > 50% , SiO ₂ ≤ 20% , CaF ₂ ≥ 15%	氟碱型
2	Al ₂ O ₃ + CaO + MgO > 45% , Al ₂ O ₃ ≥ 20%	高铝型
3	CaO + MgO + SiO ₂ > 60%	硅钙型
4	MnO + SiO ₂ > 50%	硅锰型
5	Al ₂ O ₃ + TiO ₂ > 45%	铝钛型
6	不作规定	其他型

表 3-18 熔敷金属 V 形缺口冲击吸收功分级代号及要求(X₃)

冲击吸收功代号(X ₃)	A _{KV} /J	试验温度/℃
0	无要求	-
1	≥27	0
2		-20
3		-30
4		-40
5		-50
6,7		-60
8,9		-80
10		-100

表 3-19 试样状态代号(X_2)

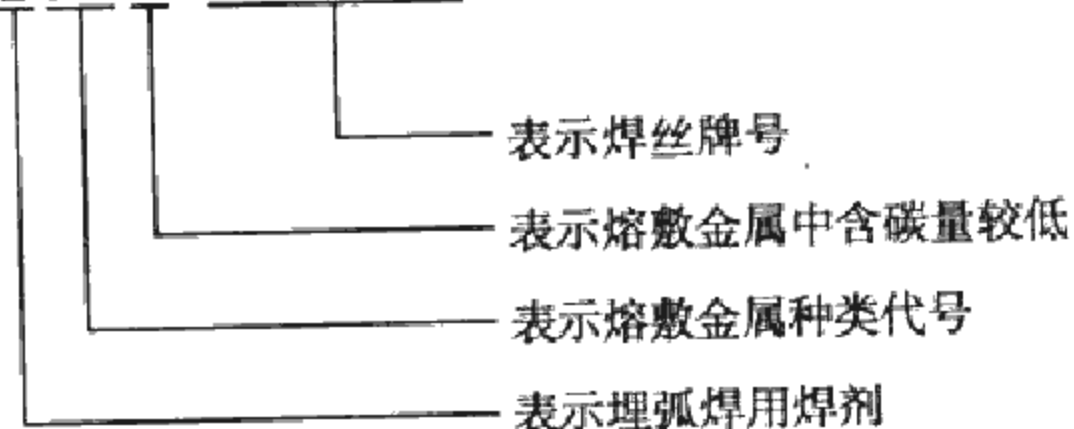
试样状态代号 X_2	试样状态
0	焊态
1	焊后热处理

表 3-20 力学性能代号(X_1)及要求

X_1	抗拉强度 σ_b /MPa	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ /MPa	伸长率 δ_5 (%)
5	480 ~ 650	≥ 380	≥ 22
6	550 ~ 690	≥ 460	≥ 20
7	620 ~ 760	≥ 540	≥ 17
8	690 ~ 820	≥ 610	≥ 16
9	760 ~ 900	≥ 680	≥ 15
10	820 ~ 970	≥ 750	≥ 14

(3) 不锈钢埋弧焊用焊剂的型号。由 GB/T 17854-1999 规定,完整的焊丝-焊剂型号举例如下:

E 308 L - H00Cr18Ni9



3. 焊剂的牌号

焊剂牌号的表示方法与型号的表示方法相似。

(1) 熔炼焊剂

1) 第一位数字 表示焊剂中氧化锰含量,其系列按表 3-21 规定编排。

由 HJ 表示熔炼焊剂,后加 3 个阿拉伯数字组成。

表 3-21 熔炼焊剂牌号第一位数字系列

型号	焊剂类型	氧化锰含量(%)
HJ1 × × ×	无锰	MnO < 2
HJ2 × × ×	低锰	MnO: 2 ~ 15
HJ3 × × ×	中锰	MnO: 15 ~ 30
HJ4 × × ×	高锰	MnO > 30

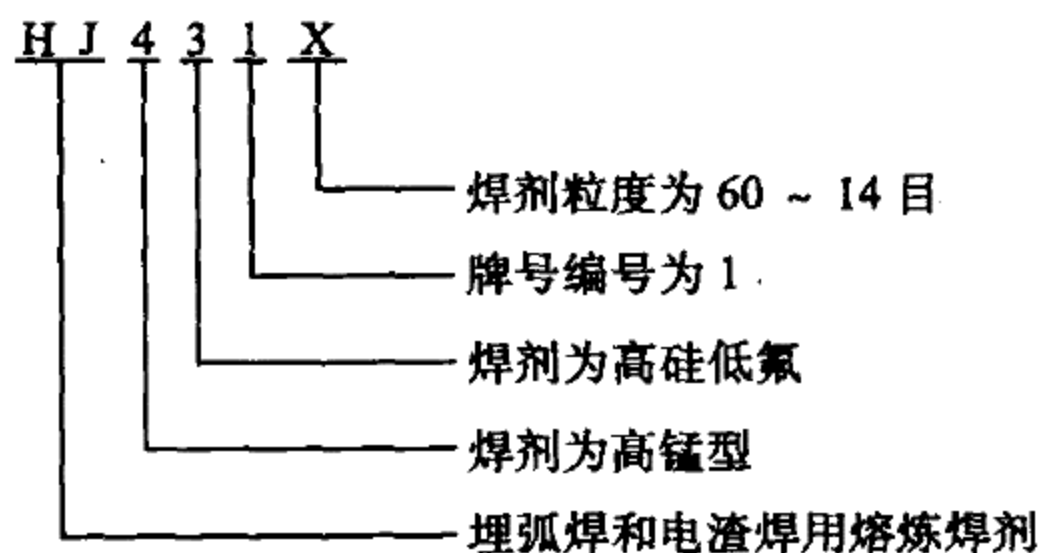
2) 第二位数字 表示焊剂中 SiO₂、CaF₂ 的含量,其系列按表 3-22 排列。

表 3-22 熔炼焊剂牌号第二位数字系列

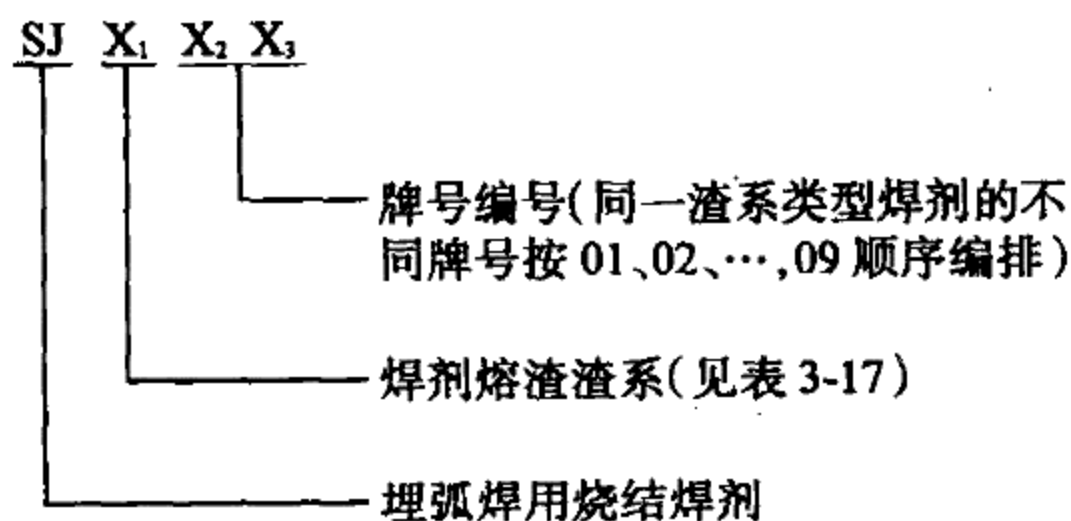
牌号	焊剂类型	二氧化硅及氟化钙含量(%)
HJ × 1 ×	低硅低氟	SiO ₂ < 10 CaF ₂ < 10
HJ × 2 ×	中硅低氟	SiO ₂ : 10 ~ 30 CaF ₂ < 10
HJ × 3 ×	高硅低氟	SiO ₂ > 30 CaF ₂ < 10
HJ × 4 ×	低硅中氟	SiO ₂ < 10 CaF ₂ : 10 ~ 30
HJ × 5 ×	中硅中氟	SiO ₂ : 10 ~ 30 CaF ₂ : 10 ~ 30
HJ × 6 ×	高硅中氟	SiO ₂ > 30 CaF ₂ : 10 ~ 30
HJ × 7 ×	低硅高氟	SiO ₂ < 10 CaF ₂ > 30
HJ × 8 ×	中硅高氟	SiO ₂ 10 ~ 30 CaF ₂ > 30
HJ × 9 ×	其他	

3) 第三位数字 表示同一类型焊剂的不同牌号,按 0、1、2、…9 顺序排列。

同一牌号焊剂生产两种颗粒度时,在细颗粒牌号后面加“X”字,如:



(2) 烧结焊剂。烧结焊剂由字母“SJ”和三位数字组成,其表示方法如下:



4. 常见焊剂的组成成分及用途
见表 3-23, 表 3-24。

表 3-23 常用熔炼焊剂的牌号、主要组成成分、使用和用途

牌号	配用焊丝	焊接电源	主要化学成分(质量分数,%)		
			SiO ₂	CaF ₂	CaO
HJ130	H10Mn2	交直流	35 ~ 40	4 ~ 7	10 ~ 18
HJ131	Ni 基焊丝		34 ~ 38	2 ~ 5	48 ~ 55
HJ150	H2Cr13 H3Cr2W8	直 流	21 ~ 23	25 ~ 33	3 ~ 7
HJ151	H0Cr21Ni10 H00Cr21Ni10 H0Cr16Mn16		24 ~ 30	18 ~ 24	≤6
HJ152	高 C 高 Cr 管状焊丝		Al ₂ O ₃ + CaF ₂ 30 ~ 60		
HJ172	相应钢种的 焊丝		3 ~ 6	45 ~ 55	2 ~ 5
HJ211	H10Mn2A EH14 US-36		SiO ₂ + TiO ₂ + Al ₂ O ₃ 51 ~ 58		
HJ230	H08MnA H10Mn2	交直流	40 ~ 46	7 ~ 11	8 ~ 14
HJ250	H08MnMoA H08Mn2MoVA	直 流	18 ~ 22	23 ~ 30	4 ~ 8
HJ251	CrMo 钢焊丝		18 ~ 22	23 ~ 30	3 ~ 6
HJ252	H06Mn2NiMoA H10Mn2 H08Mn2MoA		18 ~ 22	18 ~ 24	2 ~ 7

			主要用途
MgO	Al ₂ O ₃	其他	
14 ~ 19	12 ~ 16	TiO ₂ : 7 ~ 11 FeO ~ 2	焊接低碳钢、低合金结构钢
—	6 ~ 9	FeO ≤ 1 R ₂ O ≤ 3	焊接镍基合金薄板结构
9 ~ 13	28 ~ 32	FeO ≤ 1	堆焊轧辊
13 ~ 20	22 ~ 30	FeO ≤ 1	配合奥氏体不锈钢焊丝进行堆焊或焊接, 配合 HCr16Mn16 焊丝进行高锰钢焊补
CaO + SiO ₂ + K ₂ O 20 ~ 50		10	高铬铸铁磨辊堆焊
—	28 ~ 35	ZrO: 2 ~ 4 NaF: 2 ~ 3 MnO: 1 ~ 2	焊接含 Nb、Ti 不锈钢或高铬马氏体热强钢如 15Cr12MoWV
CaO + MgO + BaO 24 ~ 28		CaF ₂ ≤ 15	用于平台钢 E36、WFG36E 焊接, 船舶压力容器重要结构的焊接
10 ~ 14	10 ~ 17	MnO: 5 ~ 10 FeO ≤ 1.5	焊接低碳钢、低合金结构钢
12 ~ 16	18 ~ 23	MnO: 5 ~ 8	焊接低合金钢及 -70℃ 低温钢
14 ~ 17	18 ~ 23	MnO: 7 ~ 10 FeO ≤ 1.0	焊接珠光体耐热钢
17 ~ 23	22 ~ 28	MnO: 2 ~ 5 FeO ≤ 1.0	焊接低合金钢如 Q390、14MnMoV 18MnMoNb 等核容器和化工容器

牌号	配用焊丝	焊接电源	主要化学成分 (质量分数,%)		
			SiO ₂	CaF ₂	CaO
HJ260	H0Cr21Ni10 H0Cr21Ni10Ti	交、 直 流	29 ~ 34	20 ~ 25	4 ~ 7
HJ330	H10Mn2 H08MnA H08Mn2SiA		44 ~ 48	3 ~ 6	≤3
HJ331	H08A H10Mn2G		SiO ₂ + TiO ₂ 40 CaF ₂ + 其他 10		
HJ350	H10Mn2		30 ~ 35	14 ~ 20	10 ~ 18
HJ351	H10Mn2		30 ~ 35	14 ~ 20	10 ~ 18
HJ360	H10MnSi H10Mn2 H08Mn2MoVA		33 ~ 37	10 ~ 19	4 ~ 7
HJ380	H10MnNiA		SiO ₂ + Al ₂ O ₃ 40		
HJ430	H08A H08MnA		38 ~ 45	5 ~ 9	≤6
HJ431	H10MnSi		40 ~ 44	3 ~ 7	≤8
HJ433	H08A		42 ~ 45	2 ~ 4	≤4
HJ434	H08A H08MnA H10MnSi		40 ~ 50	4 ~ 8	3 ~ 9

续表

主要化学成分 (质量分数, %)			主要用途
MgO	Al ₂ O ₃	其他	
15 ~ 18	19 ~ 24	MnO: 2 ~ 4 FeO ≤ 1.0	焊接不锈钢结构、轧辊堆焊
16 ~ 20	≤ 4	MnO: 22 ~ 26	焊接低碳钢、低合金结构钢
CaO + MnO 25	MnO + Al ₂ O ₃ 23		焊接低碳钢、低合金结构钢及国产 STE355 钢结构
—	13 ~ 18	MnO: 14 ~ 19 FeO ≤ 1.0	焊接低合金钢如 Q345、Q390、Q420
—	13 ~ 18	MnO: 14 ~ 19 TiO ₂ : 22 ~ 4	配合适当焊丝可焊接 Mn-Mo、Mn-Si 及含 Ni 的低合金钢
5 ~ 9	11 ~ 15	MnO: 20 ~ 26	主要用于电渣焊、焊接低碳钢、低合金钢的大型结构
MnO + CaO + MgO 30		CaF ₂ 20 其他 10	施焊核 II 级容器用钢 15MnNi, 也可焊其他 Mn-Ni 钢
—	≤ 5	MnO: 38 ~ 47 FeO ≤ 1.8	焊接低碳钢和某些低合金结构钢如 Q345、Q390
5 ~ 8	≤ 6	MnO: 32 ~ 38 FeO ≤ 1.8	
—	≤ 3	MnO: 38 ~ 47 FeO ≤ 1.8	焊接低碳钢, 适合管道及容器的快速焊
5	6	MnO: 35 ~ 40 TiO ₂ : 1 ~ 8	焊接低碳钢及某些低合金钢结构如管道、锅炉、压力容器等



表 3-24 常用烧结焊剂的型号、牌号、主要化学成分、配用焊丝和用途

国际标号	统一 牌号	配用焊丝
	SJ101	H08MnA H10Mn2 H08MnMoA H08Mn2MoA
HJ402-H08MnA	SJ301	H08MnA H10Mn2 H08MnMoA
HJ401-H08A	SJ401	H08A
	SJ501	H08A H08MnA
HJ501-H08A	SJ502	H08A

三、埋弧焊焊剂与焊丝的选用

1. 焊剂与焊丝的选配原则

(1)埋弧焊焊丝选配原则。主要是根据被焊钢材的类别及对焊接接头的性能要求加以选择,并与适当的焊剂相配合。

1)对于低碳钢、低合金高强钢的焊接 应根据等强原则,选用母材强度匹配的焊丝;

2)对耐热钢、不锈钢的焊接 应选用与母材成分相匹配的焊丝;

主要化学成分 (质量分数, %)	主要用途
SiO ₂ + TiO ₂ 25 CaF ₂ 20 CaO + MgO30 Al ₂ O ₃ + MnO25	可焊接多种低合金结构钢重要结构,如锅炉压力容器、管道等。特别适合于大直径容器双面单道焊
SiO ₂ + TiO ₂ 40 CaF ₂ 10 CaO + MgO25 Al ₂ O ₃ + MnO25	焊接低合金结构钢、锅炉用钢,可多丝快速焊以及大、小直径的钢管焊接
SiO ₂ + TiO ₂ 45 CaO + MgO10 Al ₂ O ₃ + MnO40	焊接低碳钢及某些低合金结构钢,如机车车辆、矿山机械等金属结构
SiO ₂ + TiO ₂ 30 CaF ₂ 5 Al ₂ O ₃ + MnO55	焊接低碳钢及某些低合金结构Q390等,如锅炉、船舶、压力容器等特别适合于双面单道
Al ₂ O ₃ + MnO30 SiO ₂ + TiO ₂ 45 CaO + MgO10 CaF ₂ 5	焊接重要的低碳钢及某些低合金结构,如锅炉、压力容器等。焊接锅炉膜式水冷壁焊速可达70m/h

3) 对低温钢的焊接 主要根据低温韧性或脆性转变温度来选用。

(2) 焊剂的选配原则

1) 采用高硅高锰焊剂与低锰或含锰焊丝相配合 常用于低碳钢和低合金结构钢的焊接。

2) 采用低锰或无锰高硅焊剂和高锰焊丝相配合 也可用于低碳钢和低合金高强度钢的焊接。

3) 强度级别较高的低合金高强钢 要选用中锰中硅或低锰中硅型焊剂。

4) 低温钢、耐热钢、耐腐钢等 要选用中硅型或低硅型

焊剂。

5) 铁素体、半铁素体、奥氏体等高合金钢 一般选用碱度较高的熔炼焊剂及烧结、陶质型焊剂,以降低合金元素的烧损及添加较多的合金元素。

此外,焊剂与焊丝的选择和其他焊接材料一样,应注意坡口和接头形式的影响,主要是受熔合比的影响。在焊接生产中,应根据产品的具体技术要求和生产条件,选择合适的焊剂与焊丝的组合。

2. 低碳钢埋弧焊焊剂与焊丝的选用

低碳钢埋弧焊时,主要考虑焊缝金属中 Mn 和 Si 含量。应注意焊丝或焊剂向熔敷金属过渡 Mn 和 Si 对力学性能的影响。一般说来通过焊剂向焊缝金属过渡 Mn,有利于改善焊缝抗气孔能力和抗裂性能;通过焊丝过渡 Mn,有利于提高焊缝的低温韧性。组合特点及组合举例见表 3-25,表 3-26。

表 3-25 低碳钢埋弧焊时焊丝与焊剂的组合

序号	焊丝与焊剂组合类型		组合类型的特点与性能
	焊丝	焊剂	
I	H08A H08E	熔炼焊剂	是目前低碳钢埋弧焊应用最多的组合,H08A + HJ431 应用最广。焊剂中的 MnO 和 SiO ₂ 在高温下与 Fe 反应,Mn、Si 得以还原,并起脱氧剂和合金剂的作用,保证焊缝的力学性能 HJ430 具有较高的 CaF ₂ 和 MnO,有更好的抗锈能力和抗气孔能力,但电弧的稳定性差,熔渣流动性大,不利于小直径环缝的焊接 HJ433 含 SiO ₂ 较高,CaF ₂ 较低,熔化温度和粘度均较高,宜于快速焊接 HJ434 有更好的抗锈能力,脱渣性更好
		高 Mn 高 Si 低 F	

续表

序号	焊丝与焊剂组合类型		组合类型的特点与性能
	焊丝	焊剂	
II	H08MnA H08Mn2 H08MnSi H10Mn2	中 Mn、 低 Mn、 无 Mn 高 Si 低氟 HJ330 HJ230 HJ130	当选用中锰、低锰或无锰的高硅低氟焊剂时应选用含锰较高的焊丝,才能保证在焊接过程中有足够的锰、硅过渡,以保证焊缝良好的脱氧和合格的力学性能
III	H08A H08E	烧结焊剂 硅锰型 SJ401 SJ402	在低碳钢埋弧焊中 H08A 与烧结焊剂的配合也日趋广泛。具有良好的焊接工艺性能、较高的抗气孔能力,与 SJ401 相比, SJ402 更适于薄板和中等厚度板的焊接
IV	H08A H08E	硅铝型 SJ301 SJ302	具有良好的焊接工艺性能,具有“短渣”特性,更适于环缝的焊接。与 SJ301 相比, SJ302 具有更好的脱渣性、抗潮性和抗裂性。可用于单道焊、多道焊、多丝焊、双面单道焊,可用于锅炉、压力容器、管线等结构的焊接
V	H08A H08E H08MnE	铝钛型 SJ501 SJ502 SJ503	电弧稳定,脱渣性好,成形好,具有较好的抗气孔能力。SJ501 用于多丝快速焊、特别适于双面单道焊。SJ502 适于快速焊, SJ503 具有更好脱渣性和抗裂性,尤其适用于中板和厚板的焊接

表 3-26 几种低碳钢埋弧焊时焊剂与焊丝的选用举例

钢号	埋弧焊焊接材料的选用			
	熔炼焊剂与焊丝		烧结焊剂与焊丝	
	焊丝	焊剂	焊丝	焊剂
Q235 Q255	H08A H08E	HJ431 HJ430	H08A H08E	SJ401 SJ402 SJ403
Q275	H08MnA			
15、20	H08A H08MnA			
25、30	H08MnA、 H08Mn2	HJ431 HJ430	H08A H08E	SJ301 SJ302 SJ501 SJ502
20g、22g	H08MnA H08MnSi H10Mn2	HJ330	H08MnA	SJ503(中 等厚度板)
20R	H08MnA			

表 3-27 埋弧焊低合金高强钢(热轧正火钢)时焊剂与焊丝的选用

类别	钢号	强度级别 σ_s /MPa
热轧及正火钢	Q295(09Mn2、09Mn2Si、09Mn2V、09Mn2VCu)	295
	Q345(16Mn、14MnNb、16MnCu、16MnR)	345

3. 低合金高强钢埋弧焊焊剂与焊丝的选用

采用埋弧焊焊接低合金高强钢时,主要是用于热轧、正火钢,选用焊剂与焊丝时应保证焊缝金属的力学性能(如强度、韧性和塑性等)符合产品设计要求,但不宜高配,一般满足母材金属的下限即可。

焊剂的选用,焊接 690MPa 级以下的钢种时,可选用熔炼焊剂,也可选用烧结焊剂;

焊接 780MPa 级高强钢时,为得到高韧性,要选碱度高的烧结焊剂。

表 3-27 列出了常用热轧正火处理低合金高强钢埋弧焊时焊剂与焊丝的选用。

表 3-28 列出了调质状态低合金高强钢埋弧焊时焊丝与焊剂的选用情况。

焊剂与焊丝的组合		简要说明
焊剂	焊丝	
HJ430 HJ431 SJ301	H08E H08A H08MnA	HJ431 是我国应用最多的焊剂。HJ430 的 CaF_2 含量比 HJ431 略高,抗气孔能力强,但电弧的稳定性不如 HJ431
SJ501 SJ502	薄板: H08A H08MnA	SJ501 是一种高速焊剂。高温脱渣性好,但抗裂性不大,宜用于薄板高速焊接

类别	钢号	强度级别 σ_s /MPa
热轧及正火钢	Q345 (16Mn、14MnNb、16MnCu、16MnR)	345
	Q390 (15MnV、15MnVCu、16MnNb、15MnVRE)	390
	Q420 (15MnVN、15MnVTiRe、15MnVNCu、15MnVNR)	420
	14MnMoV 18MnMoVNb 14MnMoVCu 18MnmoNbg 18MnMoNbR	490

续表

焊剂与焊丝的组合		简要说明
焊剂	焊丝	
HJ430 HJ431 SJ301	不开坡口 H08A 中板开坡口 H08MnA H10Mn2	SJ301 载流能力强,可使用大电流高速焊接,“短渣”特性。适于各种直径环缝的焊接,常用在管线的焊接
HJ350	厚板深坡口 H10Mn2 H08MnMoA	HJ350 与 HJ431 比,氧化性低,焊缝韧性较高,坡口脱渣性好,适于深坡口的焊接。低合金钢焊接中常用的焊剂
HJ430 HJ431 SJ101	不开坡口对接 H08MnA 中板开坡口对接 H10Mn2 H10MnSi H08Mn2Si	对中等厚度的钢板,可选 HJ250、HJ252、HJ350 或 SJ101 焊剂与 H10Mn2 焊丝相配合,可获得良好效果
HJ250 HJ350 Sj101	厚板深坡口 H08MnMoA	窄间隙焊宜选用 HJ350、SJ101,均具有良好的坡口脱渣性。也可选用 HJ252
HJ431	H10Mn2	选碱度较高的焊剂配合较小的焊接热输入,可降低热影响区晶粒粗化和保证良好的焊缝性能
HJ350 HJ250 HJ252 SJ101	H08MnMoA H08Mn2MoA H04MnVTiA	
HJ250 HJ252 HJ350 SJ101	H08Mn2MoA H08Mn2MoVA H08Mn2NiMo	

类别	钢号	强度级别 σ_s /MPa
管线钢	X60	415
	X65	450

表 3-28 埋弧焊低合金高强钢(调质)时焊剂与焊丝的选用

类别	钢号	强度级别 σ_s /MPa
低碳调质钢	HQ60	490
	HQ70	590
	14MnMoVN	
	12MnNiCrMoA	
	12Ni3CrMoV	690
	HQ80 HQ80C	
14MnMoNbB		
中碳调质钢	30CrMnSiA	690
	30CrMnSiNi2A	
	35CrMoA	

续表

焊剂与焊丝的组合		简要说明
焊剂	焊丝	
HJ431	H08Mn2MoA	管线钢 X60、X65 多采用 SJ101 焊剂,一般效果良好,对环焊缝可选用 SJ301 焊剂
SJ101	H08MnMoA	
SJ102	H10Mn2	
SJ101	H08Mn2MoA	
SJ102	H08MnMoA	
SJ301		

焊剂与焊丝的配合

焊剂	焊丝
SJ104	H08MnMoTiA
HJ350	H08Mn2NiMoA
HJ350	H08Mn2MoA H08Mn2NiMoA
HJ250	H08Mn2NiMoA
HJ350	H08Mn2NiMoA H08MnNi2CrMoA
HJ350	H08Mn2NiMoA H10MnSiMoTiA H08Mn2NiCrMoA
HJ350	H08Mn2MoA
HJ350	H08Mn2MoA H08Mn2Ni2CrMoA
HJ431 HJ260	H20CrMoA H18CrMoA
HJ350-1 HJ260	H18CrMoA
HJ260	H20CrMoA

4. 低温钢、耐候钢埋弧焊焊剂与焊丝的选用

埋弧焊焊接低温钢时,可选用中性熔炼焊剂配合 Mn-Mo 焊丝或碱性熔炼焊剂配合含 Ni 焊丝。多数情况下:通常选用烧结焊剂配合 Mn-Mo 或含 Ni 焊丝,而采用 C-Mn 焊丝时需由焊剂向焊缝过渡合金元素,才能保证焊缝金属具有良好的低温韧性。

表 3-29 列出了几种低温钢埋弧焊时焊剂与焊丝的选用。

表 3-30 列出了几种耐候钢及耐海水腐蚀钢埋弧焊时焊

表 3-29 低温钢埋弧焊时焊剂与焊丝的选用

钢号	工作温度/℃	焊剂与焊丝的配合		说明
		焊剂	焊丝	
16MnDR	-40	SJ101 SJ603	H10MnNiMoA H06MnNiMoA	低温钢主要性能要求是保证在较低的使用温度下,具有足够的韧性及抗脆性破坏能力。为此,焊接材料应选用碱性焊剂,焊丝应严格控制其含碳量,有害杂质 S、P 含量应尽量降低
DG50 低温 高强度	-46	SJ603	H10Mn2Ni2MoA	
09MnTi- CuREDR	-60	SJ102 SJ603	H08MnA H08Mn2	
09Mn2VDR	-70	SJ603	H08Mn2Ni2A	
06MnNb	-90	HJ250	H05MnMoA	
3.5Ni 钢		SJ603	H05Ni3A	

表 3-30 耐候钢及耐海水腐蚀钢埋弧焊时焊剂与焊丝的选用

钢号	焊剂与焊丝的组合		说明
	焊剂	焊丝	
16CuCr 12MnCuCr 15MnCuCr 10MnPNbRE 09MnCuPTi 12MnPRE	HJ431	H08MnA H10Mn2	Cu、P 是提高钢材耐候性及耐海水腐蚀的有效元素,对焊接热循环不敏感,焊接性良好。因 Cu、P 的质量分数均在 0.25% 以下,所以冷裂倾向不大

剂与焊丝的选用。

5. 耐热钢埋弧焊焊剂与焊丝的选用

(1) 低合金耐热钢埋弧焊焊接材料的选用。选用低合金耐热钢焊接材料的基本原则,是焊缝金属的合金成分和力学性能与母材应基本一致或达到产品技术条件提出的最低性能指标。常见低合金耐热钢焊剂与焊丝的选用,见表 3-31。

(2) 中合金耐热钢埋弧焊焊接材料的选用。中合金耐热钢(如 5Cr-0.5Mo、9Cr1Mo、9Cr-2Mo)有比低合金耐热钢具有更大的淬硬倾向,对焊接冷裂纹更加敏感,同时又由于热输入过大发生晶粒粗化而导致力学性能劣化,所以埋弧焊时主要用于窄间隙的焊接。因此,选埋弧焊焊接材料时必须采用低氢的焊接材料。故常选高碱度的烧结焊剂。选择焊丝时,一种方案是选用高 Cr-Ni 奥氏体不锈钢焊丝,另一种方案是选用与母材成分基本相同的焊丝。其中方案一可以简化焊接工艺,但得到的是异种钢接头,可能会存在比较大的热应力。而方案二得到的是同质焊接接头,性能上均一,但预热、焊后热处理比较麻烦。例如 12Cr5Mo 钢可选用 HJ260 + H10Cr5Mo 或 HJ350 + H10Cr5Mo 的焊剂焊丝组合。

(3) 高合金耐热钢埋弧焊焊接材料的选用。高合金耐热钢由于组织的不同,焊接性差异较大。马氏体耐热钢淬硬倾向大;铁素体型耐热钢对热敏感,易发生晶粒长大,接头冲击韧性降低,且不能热处理细化;奥氏体型耐热钢热裂纹的敏感性大,弥散强化型耐热钢的问题与强化机制有关。埋弧焊时焊丝与焊剂的选配见表 3-32。

6. 不锈钢埋弧焊焊剂与焊丝的选用

奥氏体、马氏体和高铬铁素体不锈钢埋弧焊时焊剂与焊丝的选用,见表 3-33。

表 3-31 低合金耐热钢埋弧焊时焊剂与焊丝的选用

钢种	钢号	焊剂与焊丝的组合		说 明
		焊剂	焊丝	
0.5Mo	—	HJ350	H08MnMoA	实际生产中可根据具体生产条件,本着与母材成分和性能基本一致的原则或产品的技术要求,参照本章所列焊剂、焊丝的成分、性能来合理选择
0.5Cr-0.5Mo	12CrMo	HJ260 HJ350 SJ103	H08CrMoA H10CrMoA	
1Cr-0.5Mo 1.25Cr-0.5Mo	ZG20CrMo 15CrMo 20CrMo	HJ250 HJ350 SJ103	H10CrMoA H13CrMoA	
1Cr-0.5MoV	12Cr1MoV ZG20CrMoV	HJ250 HJ350 SJ103	H08CrMoV	
2.25Cr-1Mo	(Cr2Mo)	HJ250 HJ350 SJ103 SJ104	H08Cr3MoMnA H13Cr2Mo1A H08Cr2MoA	
2Cr-MoWVTiB	12Cr2Mo- WVTiB	HJ250	H08CrMo- WVNbB	
Mn-Mo	14MnMoV 18MnMoNb	HJ350 SJ603 SJ101	H08Mn2MoA	
Mn-Ni-Mo	13Mn- NiMoNb	HJ350 SJ603 SJ101	H08Mn2NiMo	

表 3-32 高合金耐热钢埋弧焊时焊剂与焊丝的选用

类型	钢号	焊剂与焊丝配合	
		焊剂	焊丝
奥氏体型 耐热钢	0Cr19Ni9	SJ601 SJ605 SJ608 或 HJ260	H0Cr19Ni9
	1Cr18Ni9Ti		H1Cr19Ni10Nb
	0Cr18Ni10Ti 0Cr18Ni11Nb		H0Cr19Ni10Nb
	0Cr18Ni13Si4		H0Cr19Ni11Mo3
	1Cr20Ni14Si2		H1Cr25Ni13
	0Cr23Ni13		H1Cr25Ni13
	0Cr25Ni20		H1Cr25Ni20
	0Cr17Ni12Mo2		H0Cr19Ni11Mo3
	0Cr19Ni13Mo3		H0Cr25Ni13Mo3
弥散硬化 型耐热钢 (马氏体型)	S17400 (17-4PH) S15500 (15-5PH)	SJ601 SJ605 SJ608 或 HJ260	H0Cr19Ni9
弥散硬化 型耐热钢 (半奥氏 体型)	1Cr17Ni7Al X17H5M3 S3500(AM350) S3500(AM355)	SJ601 SJ605 SJ608	H1Cr25Ni20 ERNiCrFe-3 AWS5774B
弥散硬化 型耐热钢 (奥氏体型)	0Cr15Ni25Ti2MoAlVB 1Cr22Ni20Co20M- o3W3NbN A-286	SJ601 SJ605 SJ608	H1Cr25Ni13Mo3 H1Cr25Ni20 ERNiCrFe-6
马氏体型 耐热钢	1Cr13 2Cr13	SJ601 SJ605 SJ608	H1Cr13 H0Cr14

表 3-33 不锈钢埋弧焊时焊剂与焊丝的选用

类别	钢号	焊剂与焊丝的组合	
		焊剂	焊丝
马氏体型	1Cr13 2Cr13	HJ151 HJ269 SJ601	H1Cr13 H0Cr14 H0Cr21Ni10 H1Cr24Ni13 H1Cr26Ni21
	1Cr17Ni2		H0Cr26Ni21 H1Cr26Ni21 H1Cr24Ni13
铁素体型	0Cr13	HJ150 Hj260 SJ601	H0Cr14 H1Cr24Ni13 H1Cr26Ni21
	1Cr17 1Cr17Ti 1Cr17Mo		H1Cr17 H0Cr21Ni10 H1Cr24Ni13 H0Cr26Ni21
	00Cr17Ti	SJ601 SJ608 SJ701	H00Cr24Ni13 H00Cr21Ni10
	1Cr13MoTi	HJ172	H0Cr19Ni12Mo2
	1Cr25Ti 1Cr28	HJ151	H0Cr26Ni21 H1Cr26Ni21 H1Cr24Ni13
	00Cr18MoTi		H00Cr19Ni12Mo2

续表

类别	钢号	焊剂与焊丝的组合	
		焊剂	焊丝
奥氏体型	00Cr18Ni10		H00Cr21Ni10
	00Cr18Ni12Mo2 00Cr17Ni14Mo3	SJ601 SJ608	H00Cr19Ni12Mo2 H00Cr19Ni14Mo3
	0Cr19Ni9 1Cr18Ni9 0Cr18Ni12Mo2Ti 1Cr18Ni12Mo2Ti	SJ701 HJ151 HJ172 HJ260	H0Cr21Ni10 H0Cr20Ni10Nb H00Cr21Ni10 H0Cr20Ni10Ti
	0Cr18Ni14Mo2Cu2		H0Cr18Ni12Mo2Ti
	0Cr18Ni12Mo3Ti		H00Cr19Ni2Mo2Cu2
	1Cr18Ni12Mo3Ti	GZ-1	H0Cr19Ni14Mo3 H0Cr19Ni11Mo3Ti

7. 铜及铜合金埋弧焊焊剂及焊丝的选用

埋弧焊主要用于纯铜、锡青铜、铝青铜、硅青铜的焊接，也可用于黄铜及铜-钢合金的焊接。铜及铜合金埋弧焊时，除了要满足一般工艺和冶金要求外，最重要的是控制其杂质含量并提高其脱氧能力，以避免热裂纹和气孔的出现。因此，对接头要求较高的焊件选用 HJ260、HJ150 或低温烧结焊剂（陶质焊剂）、氟化物焊剂（如表 3-34）。表 3-35 列举了几种常用铜及铜合金埋弧焊时焊剂及焊丝的选用。

四、电渣焊时焊剂与焊丝的选用

电渣焊是一种利用电流通过液态熔渣产生电阻热作为热源，将焊件和填充金属熔合成焊缝的垂直位置的一种焊接方法。对电渣焊所用的焊剂要求在焊接过程中形成液态的熔渣，有如下要求：具有适当的电导率；熔渣具有一定的粘度；不同的蒸发温度，此外，还需具有良好的脱渣性、抗热

表 3-34 铜及铜合金用陶质焊剂的组成部分

牌号	主要成分(质量分数,%)		其他化学成分(%)
	CaF ₂	大理石	
AH-M1	—	—	MgF ₂ 55, NaF40 BaF ₂ 5
HLM-1	8	28	长石 57.5、硼渣 3.5、 铝粉 0.8、木炭 2.2
K-13MBTY	20	白垩 15	石英 8 ~ 10, 无水硼 砂 15 ~ 19, 镁砂 15, Al ₂ O ₃ 20、Al 粉 3 ~ 5

表 3-35 铜及铜合金埋弧焊时焊剂与焊丝的选用

类别	牌号	焊剂与焊丝的选用	
		焊剂	焊丝
纯铜	T2、T3、T4	HJ439 HJ431	HSCu HSCuSi
黄铜	H68、H62、H59	HJ260	HSCuSi
青铜	QSn6.5-0.4 QAl9-2 QSi3-1	HJ150(AH-M1) SJ570 SJ671	HSCuSn HSCuAl HSCuSi
铜-钢	—	HJ431 HJ260 HJ150 SJ570 SJ671	HSCu HSCuSi

裂性和抗气孔能力。而电渣焊所用的焊丝,基本与埋弧焊相同。

电渣焊最常用的焊剂有 HJ170、HJ252 和 HJ360,其与

焊丝的配合在不同材料中的应用如表 3-36 所示。

五、气体保护焊焊接材料的选用

气体保护焊焊接材料包括焊丝(实芯焊丝和药芯焊丝)、保护焊用气体、及钨极。

气体保护焊所用气体的选用,主要取决于被焊金属的性质、焊接接头的质量要求、焊件的厚度、焊接位置及采用的焊接工艺等。非熔化极气体保护焊一般选用纯 Ar 或 Ar + He,熔化极气体保护焊气体的适用范围见表 3-37。

焊丝是气体保护焊的主要焊接材料,是影响焊缝金属成分和性能的主要条件。焊丝的选择是根据被焊母材种类、焊接接头质量要求、焊接施工条件及生产条件综合考虑的。

1. 碳钢和低合金结构钢气体保护焊焊接材料的选用

主要采用氧化性气体进行保护,应用最广的是 CO_2 气体保护焊。具体选择见表 3-38。

2. 耐热钢气体保护焊焊接材料的选用

Cr-Mo 耐热钢焊丝的选用,首先要保证焊缝的化学成分和力学性能尽量与母材一致,在使用温度下具有良好的抗氧化性、抗气体介质的腐蚀能力和一定的高温强度。其次要考虑材料的焊接性,避免选用杂质含量高或强度较高的焊接材料。对于焊接气体的选用,低合金耐热钢一般可选用 CO_2 或 Ar + CO_2 熔化极气体保护焊,而对于中、高合金钢主要采用惰性气体保护焊。具体选用见表 3-39,对于高合金耐热钢中有些焊接材料的选用,将在不锈钢中进行阐述。

3. 不锈钢气体保护焊焊接材料的选用

习惯上把耐酸不锈钢和耐热不锈钢的焊接材料统称为不锈钢焊接材料。不锈钢焊丝有实芯焊丝和药芯焊丝之分。实芯焊丝可用于惰性气体保护焊,也可用于埋弧焊,药芯焊丝则以用于 MAG 焊为主。不锈钢为保证焊缝金属的性能,应保证焊缝金属的化学成分和防止焊缝增碳,所以焊

表 3-36 常用材料电渣焊焊剂与焊丝的选用

母 材	
类别	钢号
碳钢及铸造碳钢	Q235 Q255 Q275
	15、20、25、30 20g、22g、20R ZG230-450、ZG270-500
低合金高强钢 (热轧及正火钢)	Q295(09Mn2) 09Mn2Si 09Mn2V 09MnVCu
	Q345(16Mn、14MnNb、16MnR) 16MnCu
	Q390(15MnV、16MnNb) 15MnVCu 15MnVRE
	Q420(15MnVN、15MnVNR) 15MnVTiRE 15MnVNCu
	Q490、14MnMoV 18MnMoNb、14MnMoVCu 18MnMoNbg、18MnMoNbR
	14MnMoVN
低碳调质钢	14MnMoNbB
	12CrMo
低合金耐热钢	15CrMo 20CrMo
	12Cr1MoV
	Cr2Mo

焊剂与焊丝的选用

焊剂	焊丝
HJ360 HJ252 HJ431	H08MnA
	H08Mn2SiA
	H10Mn2
	H10MnSi
HJ360 HJ250 HJ252 HJ170	H08Mn2SiA H10MnSi H10Mn2
HJ431 HJ360	H08MnMoA H10Mn2 H10MnSi
HJ431 HJ360 HJ170	H08Mn2MoVA H10MnMoVA
HJ360 HJ431 HJ252	H08Mn2MoVA H10Mn2NiMo H10Mn2Mo
HJ360、HJ431 HJ252、HJ170	H10Mn2MoA H10Mn2MoVA H10Mn2NiMoA
HJ360	H10Mn2NiMoA
HJ431	H10Mn2NiMoVA
HJ360、HJ431	H10Mn2MoA H08Mn2Ni2MoA H10Mn2NiMoVA
HJ360 HJ252	H08CrMoA
	H10CrMoA
	H08CrMoV
	H08Cr3MnMoA

母材	
类别	钢号
不锈钢	各类奥氏体型不锈钢
堆焊	—

表 3-37 熔化极气体保护焊接时保护气体的适用范围

被焊材料	保护气体	混合比	化学性质
铝及铝合金	Ar	—	惰性
	Ar + He	He 一般 10%	惰性
钛、锆及其合金	Ar	—	惰性
	Ar + He	75/25	惰性
铜及铜合金	Ar	—	惰性
	Ar + He	50/50 或 30/70	惰性
	N ₂	—	—
	Ar + N ₂	80/20	—

表 3-38 碳钢和低合金钢气体保护焊时焊接材料的选用

类别或屈服强度等级/MPa	钢号
低碳钢	Q235 Q255 Q275 15、20、20g、22g 20R
中碳钢	35 45

续表

焊剂与焊丝的选用	
焊剂	焊丝
HJ252、HJ360、SJ602	相应成分的焊丝
HJ252、HJ360、SJ602	相应成分的焊丝或焊带

被焊材料	保护气体	混合比	化学性质
不锈钢及 高强钢	Ar + O ₂	O ₂ 1% ~ 2%	氧化性
	Ar + O ₂ + CO ₂	93/2/5	氧化性
碳钢及 低合金钢	Ar + O ₂	O ₂ 2% 或 1% ~ 5%	氧化性
	Ar + CO ₂	70 ~ 80/30 ~ 20	氧化性
	Ar + O ₂ + CO ₂	80/15/5	氧化性
	CO ₂	—	氧化性
镍基合金	Ar	—	惰性
	Ar + He	85 ~ 80/15 ~ 20	惰性

焊接材料的选用

保护气体	焊丝
CO ₂	ER49-1 (H08Mn2SiA) ER50-1 ER50-4 ER50-6 YJ502-1 YJ502R-1 YJ507-1
自保护	YJ502R-2 YJ507-2 YJ507R-2
CO ₂	ER49-1, ER50-2, 3, 6, 7 YJ501-1, YJ501Ni-1, YJ507Ni-1
CO ₂ 或 Ar80% + CO ₂ 20%	GHS-60

类别或屈服强度等级/MPa	钢号	
热轧、正火钢	295	Q295(09Mn2,09MnV,09Mn2Si)
	345	Q345(16Mn 16MnR 14MnNb 16MnCu)
	390	Q390(15MnV 16MnNb) 15MnVCu
	440	Q420(15MnVN) 15MnVTiRE 15MnVNCu
	490	18MnMoNb 14MnMoV 14MnMoVCu
低碳调质钢	490	WCF-60 WCF-62
	590	15MnMoVN 15MnMoNRE QJ60 HQ70A HQ70B
低碳调质钢	685	12Ni3CrMoV 15MnMoVNRE QJ70 14MnMoNbB
		T-1 T-1A T-1B
		WEL-TEN80 HQ8C
	785	10Ni5CrMoV
	880	HQ100
中碳调质钢	D6AC	
	30Cr3SiNiMoVA	

续表

焊接材料的选用	
保护气体	焊丝
CO ₂	ER49-1 ER50-2
CO ₂	ER49-1、ER50-2、6、7 GHS-50 YJ502-1、YJ502R-1、YJ507-1 YJ507Ni-1、YJ507TiB-1
自保护	YJ502R-2、YJ507-2 YJ507R-2、YJ507G-2
CO ₂ 或 Ar80% + CO ₂ 20%	ER49-1 ER59-2 ER55-D2 GHS-60 YJ607-1 YJ607G-1
CO ₂ 或 Ar80% + CO ₂ 20%	ER55-D2 H08Mn2SiMoA GHS60 GHS60N GHS70 YJ607G-1 YJ707-1
CO ₂ 或 Ar80% + CO ₂ 20%	ER55-D2 ER55-D2Ti GHS-60 YJ602G-1 YJ607-1
	ER69-1 ER69-3 GHS-60N GHS-70 YJ707-1
Ar80% + CO ₂ 20% 或 Ar99% ~ 98% + O ₂ 1% ~ 2%	H08Mn2Ni2CrMoA H08MnNi2MoA ER70-1 ER83-1 GHS-80B、80C
	ER76-1 ER83-1 GHS-80B SQJ707CrNiMo
	H08Mn2Ni3CrMoA
	GHS100
Ar	H08CrMoVA H10CrMoVA
	H08MnNiMoA
	H10Cr3MnNiMoV

类别或屈服强度等级/MPa	钢号
中碳调质钢	34CrNi3MoA
	35CrMoA
	35CrMoVA
低温用钢	16MnDR 09MnTiCuREDR
	3.5Ni

表 3-39 耐热钢气体保护焊焊接材料的选用

类别	钢号
低合金耐热钢	16Mo(0.5Mo)
	12CrMo(0.5Cr-0.5Mo) 15CrMo(1Cr-0.5Mo) ZG20CrMo
	12CrMoV ZG20CrMoV
	Cr2MoV(2Cr-1Mo)
	12Cr2MoWVTiB
	14MnMoV 18MnMoNb
	13MnNiMoNb
	12Cr5Mo(5Cr-0.5Mo)
中合金耐热钢	12Cr9Mo1
	12Cr9Mo1V
	X20CrMoV121(12Cr-1MoWV)

续表

焊接材料的选用	
保护气体	焊丝
Ar	H20Cr3NiMoA
	H20CrMoA
	SQJ807CrNiMo
CO ₂ 或 Ar80% + CO ₂ 20%	ER55-C1 ER55-C2 MGS-1N YJ502Ni-1 YJ507Ni-1
Ar98% + 2% O ₂ Ar95% + 5% CO ₂	MGS-3N ER55-C3

焊接材料的选用	
保护气体	焊丝
CO ₂ 或 Ar + O ₂ 或 Ar99% ~ 95% + O ₂ 1% ~ 5%	TGR50MI H08MnSiMo YR102-1
	H08CrMnSiMo TGR55CM(ER55-B2) TGR55CML(ER55-B2L) TGR50MI YR032-1 YR307-1
	ER55-B2-MnV H08CrMnSiMoVA
	YR402-1 YR407-1 H08CrMnSiMoVA
	TGR59C2M(ER62-B3) TGR59C2ML(ER62-B3L) H08Cr2MoWVNbB
	ER55-B2Mn H08Mn2SiMo ER55-D2
	H08Mn2NiMoSi
	H0Cr5MoA TGS-5CM
Ar	ER90S-B8 E8XT5-B8 E8XT5-B8M E8XT5-B8L E8XT5-B8JM TGS-9CM
	ER90S-B9 TGS-9Cb
	OE-S2CrMoWV121(瑞士奥利康)

丝的选择应与母材金属基本相当或略微提高部分合金元素的含量,而在选择保护气时,实芯焊丝不选用增碳的 CO₂ 气体保护焊,而药芯焊丝气体保护焊采用 CO₂ 或 Ar + CO₂ 的混合气体。具体选择见表 3-40。

4. 铜及铜合金气体保护焊焊接材料的选用

焊接铜及铜合金需要大功率、能量密度高的熔焊方法。采用气体保护焊焊接时,薄板以 TIG 焊为好;中厚板宜采用 MIG 焊。焊接铜及铜合金的焊接材料除要满足工艺冶金要求外,最重要的是控制杂质含量和提高脱氧能力,以避免热裂纹及气孔的产生。

表 3-40 不锈钢气体保护焊时焊接材料的选用

类别	钢号
马氏体型不锈钢	1Cr13 2Cr13
	1Cr17Ni2
	0Cr13Ni5Mo
铁素体型不锈钢	0Cr13
	1Cr17 1Cr17Ti 1Cr17Mo
	00Cr17Ti
	1Cr13MoTi
	1Cr25Ti 1Cr28
	00Cr18MoTi

铜及铜合金气体保护焊时焊接材料的选用见表 3-41。

铜及铜合金异种接头 TIG 焊时焊接材料的选用见表 3-42。

铜及铜合金异种接头 MIG 焊时焊接材料的选用见表 3-43。

5. 铝及铝合金气体保护焊焊丝的选用

铝及铝合金气体保护焊时,焊缝的组织、成分决定着焊缝的性能。根据材料的不同要求选用焊丝见表 3-44。一般用途焊接时焊丝的选用见表 3-45。

焊接材料的选用	
保护气体	焊丝
CO ₂ 或 Ar	H1Cr13 H2Cr13 H1Cr24Ni13 H1Cr26Ni21 YA102 YA107 YG207-2 YA302-1
	H1Cr13 H1Cr24Ni13 E410T-x E309T-x
	ER410NiMo E410NiMoT-x
CO ₂ 或 Ar 或 Ar + O ₂ 或 Ar + CO ₂	H0Cr14 H0Cr21Ni10 H0Cr24Ni13 YA302-1 YA102-1
	H1Cr17 H1Cr24Ni13 H0Cr21Ni10 YA102-1 YA107-1
	H00Cr17Ti YA062-1
	H1Cr13MoTi YA202-1
	H0Cr26Ni21 H1Cr26Ni21 H1Cr24Ni13 YA302-1
	H00Cr18MoTi H00Cr19Ni12Mo2 YA022-1



类别	钢号	
奥氏体不锈钢	00Cr18Ni10	
	00Cr18Ni12Mo2 00Cr17Ni14Mo2 00Cr17Ni14Mo3	
	00Cr22Ni13Mo2	
	0Cr19Ni9 1Cr18Ni9	
	0Cr18Ni9Ti 1Cr18Ni9Ti	
	0Cr18Ni12Mo2Ti 1Cr18Ni12Mo2Ti	
	0Cr18Ni12Mo3Ti 1Cr18Ni12Mo3Ti	
	1Cr25Ni13	
	1Cr25Ni18 3Cr18Mn11Si2N 2Cr20Mn9Ni2Si2N	
	铁素体 - 奥氏体 双相型不锈钢	00Cr18Ni5Mo3Si2 00Cr18Ni5Mo3Si2Nb
		0Cr21Ni5Ti 0Cr21Ni6Mo2Ti 00Cr22Ni5Mo3N
00Cr25Ni5Ti 00Cr26Ni7Mo2Ti 00Cr25Ni5Mo3N		

续表

焊接材料的选用	
保护气体	焊丝
Ar 或 Ar + He(TIG) 或 Ar98% + O ₂ 2% 或 CO ₂ 或 Ar95% + CO ₂ 2%	H00Cr21Ni10 YA002-1
	H00Cr19Ni12Mo2 H00Cr19Ni14Mo3 YA022-1
	H00Cr24Ni13Mo2
	H0Cr21Ni10 YA102-1 YA107-1
	H0Cr20Ni10Nb H0Cr20Ni10Ti YA132-1 YA002-1、2
	H0Cr18Ni12Mo2Ti H0Cr18Ni12Mo2Nb YA202-1
	H0Cr19Ni14Mo3 E317LX-X
	H1Cr24Ni13 YA302-1
	H1Cr26Ni21 H1Cr21Ni10Mn6 E310T-X
	H00Cr19Ni12Mo2 H00Cr20Ni12Mo3Nb H00Cr25Ni13Mo3
Ar	H00Cr18Ni14Mo2
	同成分焊丝或镍基焊丝或 H0Cr21Ni21

表 3-41 铜及铜合金气体保护焊时焊接材料的选用

名称	牌号	焊接材料的选用
		保护气体
纯铜	T1 T2 T3 T4 磷脱氧铜 TUP	TIG 焊 Ar70% + He30% 或 Ar70% + N ₂ 30%
		MIG 焊 Ar 或 Ar + He
白铜	B10 B30	Ar 或 Ar + He
黄铜	H68 H62 H59	Ar 或 Ar + He
青铜	QSn6.5-0.4	Ar
	QA19-2	
	QSi3-1	

①②在美国焊丝牌号中,E——MIG 焊用;R——TIG 或焊条芯用。

表 3-42 铜及铜合金异种接头 TIG 焊时焊接材料的选用

异种金属的种类	铜
低锌黄铜	ECuSn-C ^① RCu (540℃) ^②
磷青铜	ECuSn-C RCu (540℃)
铝青铜	RCuAl-A2 (540℃)
硅青铜	ECuSn-C RCu (540℃)
铜镍合金	RCuAl-A2 RCuNi (540℃)

①美国焊丝牌号。 ②预热及层(道)间温度。

焊接材料的选用	
焊丝	
HSCu(HS201) HSCuSi HS211 锡磷青铜焊丝 QSn4-0.3	
HSCu HSCuSi	
HS201 RCuSi ^① S-1(非标准丝)	
HSCuSn(212)、ECuSnA(美) ^② HSCuSi HSCuAl	
HSCuSn(212) ECuSn-A(美)	
HSCuAl HSCuAlNi ECuAl-A2(美)	
HSCuSi ERCuSi(美)	

磷青铜

RCuAl-A2 ECuSn-C (205℃)	铝青铜	
ECuSi-A (最高 65℃)	RCuAl-A2 (最高 65℃)	硅青铜
ECuSn-C (最高 65℃)	RCuAl-A2 (最高 65℃)	RCuAl-A2 (最高 65℃)

表 3-43 铜及铜合金异种接头 MIG 焊时焊接材料的选用

异种金属的种类	铜	
低锌黄铜	ECuSn-C RCu (540℃)	低锌黄铜
高锌黄铜、锡黄铜和特殊黄铜	ECuSn-C ECuSi RCu (540℃)	ECuSn-C (315℃)
磷青铜	RCuSn-C ECu (540℃)	ECuSn-C (260℃)
铝青铜	ECuAl-A2 (540℃)	ECuAl-A2 (315℃)
硅青铜	RCuSn-C ECu (540℃)	ECuAl-A2 ECuSi (最高 65℃)
铜镍合金	ECuAl-A2 ECuNi ECu (540℃)	ECuAl-A2 (最高 65℃)

表 3-44 根据不同的材料和性能要求选择铝合金焊丝

材料	不同的性能要求下推荐焊丝	
	要求高强度	要求高塑性
1100	SAISi-1	SAI-1
2A16	SAICu	SAICu
3A21	SAlMn	SAI-1
5A02	SAlMg-5	SAlMg-5
5A05	LF14	LF14
5083	ER5183	ER5356
5086	ER5356	ER5356
6A02	SAlMg-5	SAlMg-5
6063	ER5356	ER5356
7005	ER5356	ER5356
7039	ER5356	ER5356

高锌黄铜、 锡黄铜和 特殊黄铜	ECuSn-C (315℃)	磷青铜		
ECuAl-A2 (315℃)	ECuAl-A2 ECuSn-C (250℃)	铝青铜		
ECuAl-A2 ECuSi (最大 65℃)	ECuSi (最高 65℃)	ECuAl-A2 (最高 65℃)	硅青铜	
ECuAl-A2 (最高 65℃)	ECuSn-C (最高 65℃)	ECuAl-A2 (最高 65℃)	ECuAl-A2 (最高 65℃)	

不同的性能要求下推荐焊丝

焊后阳极化后颜色匹配	抗海水腐蚀	焊接时裂纹倾向低
SAI-1	SAI-1	SAISi-1
SAICu	SAICu	SAICu
SAI-1	SAI-1	SAISi-1
SAIMg-5	SAIMg-5	SAIMg-5
SAIMg-5	SAIMg-5	LF14
ER5356	ER5356	ER5183
ER5356	ER5356	ER5356
SAIMg-5	SAISi-1	SAISi-1
ER5356	SAISi-1	SAISi-1
ER5356	ER5356	X5180
ER5356	ER5356	X5180



表 3-45 一般用途焊接时焊丝选用指南

母材 之一 母材 之二	7005	6A02 6061 6063	5083 5086	5A05 5A06
	与母材配用的焊丝			
1070 1060 1050	SAlMg-5	SAlSi-1	ER5356	SAlMg-5 LF14
2A12 2A14	—	—	—	—
2A16 2B16	—	—	—	—
3A21 3003	SAlMg-5	SAlSi-1	SAlMg-5	SAlMg-5
5A02	SAlMg-5	SAlMg-5	SAlMg-5	SAlMg-5 LF14
5A03	SAlMg-5	SAlMg-5	SAlMg-5	SAlMg-5 LF14
5A05 5A06	SAlMg-5 LF14	SAlMg-5	SAlMg-5 LF14	SAlMg-5 LF14
5083 5086	SAlMg-5	SAlMg-5	SAlMg-5	
6A02 6061 6063	SAlMg-5 SAlSi-1	SAlSi-1		
7005	X5180			

5A03	5A02	3A21 3003	2A16 2B16	2A12 2A14	1070 1060 1050
与母材配用的焊丝					
SAIMg-5	SAIMg-5	SAIMn	—	—	SAI-1 SAI-2 SAI-3
—	—	—	—	SAISi-1 BJ-380A	
—	—	—	SAICu		
SAIMg-5	SAISi-1	SAIMn SAIMg-3			
SAIMg-5	SAIMg-5				
SAIMg-5					

对铝及铝合金进行气体保护焊,保护气体只能采用惰性气体,即 Ar 或 He。具体见表 3-46。

表 3-46 铝及铝合金焊接保护气的选用

焊接方法	焊接条件	选用气体
TIG	交流 + 高频	Ar
	直流正接	He
MIG	板厚 < 25mm	Ar
	板厚: 25 ~ 59mm	Ar90% ~ 65% + He10% ~ 35%
	板厚: 50 ~ 70mm	Ar90% ~ 65% + He10% ~ 35% 或 Ar50% + He50%
	板厚 > 75mm	Ar50% ~ 25% + He50% ~ 75%
等离子弧焊	-	离子气为 Ar, 保护气体为 He

表 3-47 异种钢气体保护焊时焊接材料的选用

类别	母材组合	焊接方法
不同珠光体 型钢	I + II ^⓪ I + III	CO ₂ 气保护焊
		TIG 焊、MIG 焊
	I + IV	CO ₂ 气保护焊
		TIG 焊、MIG 焊
	I + V	CO ₂ 气保护焊
	I + VI	CO ₂ 气保护焊

6. 异种金属气体保护焊焊接材料的选用

异种金属焊接能否获得良好的焊接接头,主要取决于被焊金属的种类、物理、化学性能及所采用的焊接方法、焊接材料和焊接工艺等。

异种钢焊接时,焊接材料的选择是关键。对于金相组织相近的异种钢接头,焊接材料的选用原则是要求焊缝金属的力学性能指标及耐热性不低于母材中性能要求较低一侧的指标。

当然某些特殊情况下,为避免焊接缺陷的产生,反而按性能要求较高的母材选择焊接材料。而对金相组织相差较大的异种钢接头,则必须考虑填充金属稀释后,焊接接头性能仍能保证的焊接材料。具体选用见表 3-47。钢与有色金属和异种有色金属气体保护焊时焊接材料的选用见表 3-48。

焊接材料的选用		热处理 温度/℃
保护气体	焊丝	
CO ₂	ER49-1 YJ501-1、YJ507-1	预热 100 ~ 250 回火 600 ~ 650
Ar99% ~ 98% + O ₂ 1% ~ 2% Ar80% + CO ₂ 20%	H08A、H08MnA	
CO ₂	ER49-1 YJ501-1、YJ507-1	预热 200 ~ 250 回火 600 ~ 650
Ar99% ~ 98% + O ₂ 1% ~ 2% Ar80% + CO ₂ 20%	H08A H08MnA	
	H1Cr21Ni10Mn6	不预热、不回火
CO ₂ 或 CO ₂ + Ar	ER55-B2 GHS-CM H08CrMnSiMo	预热 200 ~ 250 回火 640 ~ 670
CO ₂ 或 CO ₂ + Ar	H08CrMnSiMo ER55-B2	

类别	母材组合	焊接方法
不同珠光体型钢	II + III	CO ₂ 气保护焊
	II + IV	CO ₂ 气保护焊
		TIG MIG
	II + V	CO ₂ 气保护焊
	II + VI	TIG MAG
		CO ₂ 气保护焊
	III + IV III + V III + VI	CO ₂ 气保护焊
	IV + V IV + VI	TIG MAG
		CO ₂ 气保护焊
	V + VI	TIG MAG
马氏体与铁素体型	VII + VIII	TIG MIG
	VII + IX	TIG MIG
	VII + IX	TIG MIG
	VIII + IX	TIG MIG

续表

焊接材料的选用		热处理 温度/℃
保护气体	焊丝	
CO ₂	ER49-1 ER50-2 ER50-3 GHS-50	预热 150 ~ 250 回火 640 ~ 660
CO ₂	YR102-1 YR107-1	预热 200 ~ 250 回火 600 ~ 650
Ar + CO ₂ 或 Ar + O ₂	H1Cr21Ni10Mn6	不预热、不回火
CO ₂	ER49-1 ER50-2 ER50-3 GHS-50 YR102-1 YR107-1	预热 200 ~ 250 回火 640 ~ 670
Ar + CO ₂ 或 Ar + O ₂	ER55-B2-MnV H08CrMoVA	预热 200 ~ 250 回火 640 ~ 670
CO ₂	YR307-1 YR302-1	
CO ₂	GHS-50 YR102-1 YR107-1 ER49-1 ER50-2、3	预热 200 ~ 250 回火 640 ~ 670
Ar80% + CO ₂ 20%	ER69-1 YR402-1 GHS-70 YR407-1	预热 200 ~ 250 回火 640 ~ 670
CO ₂	YJ707-1	
Ar + CO ₂ 或 Ar + O ₂	H08Cr2MoA ER62-B3 YR402-1 YR407-1	预热 200 ~ 250 回火 700 ~ 720
Ar	H1Cr13 YG207-1	预热 200 ~ 300 回火 700 ~ 740
	H0Cr24Ni13 H1Cr25Ni13 YA302-1	不预热 不回火
Ar	H0Cr24Ni13 H1Cr25Ni13 YA302-1	不预热 不回火
Ar	H1Cr13 YG207-1	预热 350 ~ 400 回火 700 ~ 740
Ar	H1Cr12Ni13Mo2 YA312-1	不预热 不回火

珠光体型钢与铁素体钢

类别	母材组合	焊接方法
珠光体型钢与铁素体钢	I + VII II + VII	TIG MIG
	I + VII	TIG MIG
	II + VII	TIG MIG
	III + VII	TIG MIG
	IV + VII	CO ₂ 气保护焊
	IV + VII V + VII	TIG MIG
	V + VII	CO ₂ 气保护焊
	VI + VII	CO ₂ 气保护焊
	VI + VII	TIG MIG

续表

焊接材料的选用		热处理 温度/°C
保护气体	焊丝	
Ar	H1Cr13 YA207-1 H0Cr14 YG207-1	预热 200 ~ 300 回火 650 ~ 680
	H0Cr24Ni13 H1Cr5Ni13 YA302-1	不预热 不回火
Ar	H1Cr17 YA317-1	预热 200 ~ 300 回火 650 ~ 680
	H0Cr24Ni13 H1Cr25Ni13 YA302-1	不预热 不回火
Ar	H0Cr24Ni13 H1Cr25Ni13 YA302-1	不预热 不回火
Ar	H0Cr19Ni12Mo2 H0Cr18Ni12Mo2 YA207-1	不预热 不回火
CO ₂	H08CrMnSiMo GHS-CM YR307-1	预热 200 ~ 300 回火 620 ~ 660
Ar	H0Cr24Ni13 H1Cr24Ni13 YA302-1	不预热 不回火
CO ₂	GHS-CM YR307-1	预热 200 ~ 300 回火 680 ~ 700
CO ₂	GHS-CM YR307-1 H08CrMnSiMoVA	预热 350 ~ 400 回火 720 ~ 750
Ar	H0Cr24Ni13 H1Cr25Ni13 YA302-1	不预热 不回火

类别	母材组合	焊接方法
不同奥氏体型		TIG MIG
		TIG MIG
珠光体型钢与奥氏体型钢	I + X	TIG MIG
	I + XI	
	II + X II + XI	
	III + X III + XI	

续表

焊接材料的选用		热处理 温度/℃
保护气体	焊丝	
Ar	H0Cr18Ni12Mo2 H00Cr18Ni12Mo2 H0Cr19Ni12Mo2 H00Cr19Ni12Mo2 YA022-1	不预热,不回火或 稳定化处理950 ~ 1 050
Ar	H0Cr24Ni13 H1Cr24Ni13 H00Cr24Ni13 YA302-1 YA062-1	在不含硫化物或 无侵蚀介质中,温 度为1 000 以下, 具有热稳定性
Ar	H0Cr26Ni21 H1Cr25Ni20 H0Cr19Ni12Mo2 H00Cr19Ni12Mo2 YA207-1 YA062-1 YA202-1 YA402-1	不预热 不回火
	H00Cr19Ni12Mo2 YA062-1 ERNiCrFe-5 ERNiCrMo-6	
	H0Cr26Ni21 H1Cr25Ni20 H0Cr19Ni12Mo2 H00Cr19Ni12Mo2 YA207-1 YA062-1	
	H0Cr19Ni12Mo2 H00Cr19Ni12Mo2 YA207-1 YA062-1	
	H0Cr19Ni12Mo2 H00Cr19Ni12Mo2 YA207-1 YA062-1	不预热,不回火

类别	母材组合	焊接方法
珠光体型钢与奥氏体型钢	IV + X IV + XI IV + XIII	TIG MIG
	V + X V + XI	
	VI + X VI + XI	
铁素体型钢与奥氏体型钢	VII + X	TIG MIG
	VII + XI	
	VII + XIII	
	VII + X	
	VII + XI	TIG MIG

续表

焊接材料的选用		热处理温度/℃
保护气体	焊丝	
Ar	ERNiCrFe-5 ERNiCrMo-6	不预热或预热 150 ~ 200 不回火或 回火 680 ~ 710
	H0Cr24Ni13 H1Cr25Ni13 H00Cr19Ni12Mo2 YA302-1 YA062-1 ERNiCrFe-5 ERNiCrMo-6	不预热或预热 150 ~ 200 不回火或 回火 730 ~ 770
Ar	H0Cr24Ni13 H1Cr25Ni13 YA302-1 YA062-1	不预热或预热 150 ~ 200 回火 720 ~ 760
	H0Cr19Ni12Mo2 H00Cr19Ni12Mo2 H0Cr20Ni10Nb H00Cr18Ni12Mo2 YA207-1 YA132-1 YA022-1	不预热或预热 150 ~ 200 不回火或 回火 720 ~ 760
	H0Cr12Ni10 YA102-1	预热 200 ~ 250 回火 750 ~ 800
	H0Cr21Ni10 YA102-1	不预热 回火 720 ~ 750
Ar	H0Cr19Ni12Mo2 H00Cr19Ni12Mo2 H0Cr24Ni13 H1Cr25Ni13 YA207-1 YA022-1 YA302-1 ERNiCrFe-5 ERNiCrFe-6	不预热 不回火

类别	母材组合	焊接方法
铁素体钢与奥氏体钢	VII + XI	TIG MIG
	VII + XIII	
	IX + X	
	IX + XI	
	IX + XIII	

①母材组合的代号,每一代号所代表的钢种及牌号见表 2-28。

续表

焊接材料的选用		热处理 温度/℃
保护气体	焊丝	
Ar	H0Cr20Ni10Nb YA132-1	不预热、不回火或 720 ~ 800 回火
	H0Cr21Ni10 YA102-1	不预热 720 ~ 760 回火
	H0Cr24Ni13 H1Cr25Ni13 YA302-1	预热 150 ~ 200 回火 750 ~ 800
	H0Cr19Ni12Mo2 H00Cr19Ni12Mo2 YA207-1	预热 150 ~ 200 不回 火或 720 ~ 760 回火
	H0Cr24Ni13 H1Cr25Ni13 YA302-1	预热 150 ~ 200 回火 720 ~ 760
	H0Cr20Ni10Nb YA132-1	预热 150 ~ 200 回火 750 ~ 800
	ERNiCrFe-5 ERNiCrMo-6	预热 150 ~ 200 不回火
	H0Cr21Ni20 YA102-1	预热 200 ~ 250 回火 750 ~ 800

表 3-48 钢与有色金属和异种有色金属气体保护焊时焊接材料的选用

类别	母材组合	焊接方法
钢与铝或铝合金	碳钢或低合金钢或不锈钢 + 1070A ~ 8A06(L1 ~ L6)	TIG
	碳钢或低合金钢或不锈钢 + LF 或 LY	
钢与铜或铜合金	碳钢或低合金钢 + 纯铜	TIG MIG
	不锈钢 + 铜或铜合金	
钢与钛或钛合金		间接熔焊法 TIG
铜与钛合金	TA2 + T2	TIG
	Ti3AL37Nb + T2	TIG
钛与铌	TC4 + Nb2-1	TIG
钢与高温金属	1Cr18Ni9Ti + GH3030	TIG
	1Cr18Ni9Ti + GH1035	
	Cr17Ni2 + GH3044	
	1Cr18Ni9Ti + GH3044	
	1Cr18NiTi + GH1140	
	SG-5 + GH2132	

焊接材料的选用	
保护气体	焊丝
Ar	SAl-1 -3
	SAlMn SAlSi SAlCu
Ar	中薄板: HSCu HSCuSi 厚板: HSCuAl HSCuAlNi
	ERNi-1 ERNiCrFe-5 ERNiCrFe-7 ERNiCr-3
Ar	与过渡段同材质
Ar	QCr0.8
Ar	T4 HSCu
Ar	TC3
Ar	HGH3030 或 H0Cr20Ni10Ti
	HGH1035 H0Cr20Ni10Ti
	HGH3033 或 HGH3030 GH22
	HGH-1140 H1Cr18Ni9Ti GH22
	HSG-1

第四章 焊接用气体

焊接用气体主要是指气体保护焊中使用的保护性气体(如 Ar、He、CO₂、N₂、Ar + He、Ar + H₂、Ar + CO₂、Ar + CO₂ + O₂等)和焊接用气体(如 O₂-C₂H₂、C₃H₈、C₃H₆、CH₄、H₂等)。

一、焊接用气体的基本性质及技术要求

1. 氩气(Ar)

氩气是一种无色无味的惰性气体,比空气约重 25%,在空气中的体积分数约为 0.935%(按容积计),是一种稀有气体。其沸点为 -186℃,介于 O₂(-183℃)和 N₂ 的沸点之间,是分馏液态空气制取氧气的副产品。

氩气的物理性能见表 4-1。

氩气是一种惰性气体,它既不与金属起化学作用,也不溶于金属中,因此可以避免焊缝金属中合金元素的烧损(但合金元素的烧损依然存在)及由此而带来的其他焊接缺陷,使焊接冶金过程变得简单和易于控制,为获得高质量的焊缝提供了有利条件。

氩气热导率小,且是单原子气体,高温时不分解吸热,电弧在氩气中燃烧时热量损失少,故在各类气体保护焊时氩气保护焊电弧较易引燃,电弧稳定而柔和,是电弧稳定性最好的一种气体保护焊。

氩气的密度大,在保护时不易漂浮散失,易形成良好的保护罩,保护效果良好。在同等条件下,所需要氩气的流量较小,熔化极氩弧焊焊丝金属易于呈稳定的轴向射流过渡,飞溅极小。

氩弧焊适于高强钢、不锈钢、铝、钛、锆、铜、镍等几乎所有材料的焊接。TIG 焊还常用于焊补、定位焊、反面成形打

表 4-1 熔化极气体保护焊常用保护气体物理性能

	Ar	He	CO ₂	CO	H ₂	H	N ₂
原子量	39.95	4.00	44.00	28	2.00	1	28.00
密度(kg/cm ³)	1.66	0.17	1.83		0.08		1.17
热导率 (W/m·k)	0.17	1.5	5 × 10 ⁻²	6.7 × 10 ⁻²	2.0	3.8	0.23
电离能/eV	15.76	24.59	13.77	14.1	15.43	13.6	14.58
解离能/eV			5.5	10.0	4.4	—	9.8
热容量/ (J/kg·k)	521	5 192	847	—	1 490	—	—

底焊等。

氩气作为焊接用保护气体,一般要求纯度(体积分数)99.9%~99.999%,视被焊金属的性质和对焊缝的质量要求而定。

2. 氦气(He)

氦气也是一种无色、无味的惰性气体,与氩一样也不和其他元素组成化合物,不溶于金属,是一种单原子气体,沸点为-269℃。与氩相比氦的热导率大,在相同焊接电流和弧长的条件下,氦弧的电弧电压明显比氩弧高,所以氦弧的温度高,发热大且集中,母材输入热量大,焊接速度快,且可获得熔深较大的窄焊道,热影响区也明显减小,这是氦弧焊的优点,但电弧稳定性不如氩弧焊。

基于氦弧焊的特点,它更适于焊接厚板、高热导率或高熔点金属,热敏感材料和高速自动焊。

3. 二氧化碳(CO₂)

CO₂是氧化性保护气体,有固、液、气三种状态。液态

CO₂ 是无色液体,其密度随温度不同而变化,当温度低于 -11℃ 时比水重,高于 -11℃ 时则比水轻。CO₂ 由液态变为气态的沸点很低(-78℃),所以工业用 CO₂ 都是液态,常温下可气化。在 0℃ 和 101.3KPa(1 标准大气压)下,1kg 液态 CO₂ 可气化为 509L 气态的 CO₂。使用液态 CO₂ 经济、方便,一个容积为 40L 的标准钢瓶即可装入 25kg 的液态 CO₂(按容积的 80% 计),剩余约 20% 的空间则充满气化了 CO₂。气瓶压力表所指示的压力值,就是部分气体的饱和压力,此压力的大小与环境温度有关,温度升高、压力增大,只有当气瓶内的液态 CO₂ 全部挥发成气体后,瓶内的气压才会随 CO₂ 气体的消耗而逐渐下降。

CO₂ 气体来源广(可以是专业生产的 CO₂ 气体,也可以是某些产品的副产品),价格低。CO₂ 气体的纯度应满足焊接技术的要求,即 $\varphi(\text{CO}_2) > 99\%$, $\varphi(\text{O}_2) < 0.1\%$, $\text{H}_2\text{O} < 1 \sim 2\text{g}/\text{m}^3$ 。焊接质量要求越高,对 CO₂ 气体的纯度要求也越高。

液态 CO₂ 中可溶解质量分数为 0.05% 的水,多余的水成自由状态沉于瓶底,这些水在焊接过程中随 CO₂ 一起挥发并混入 CO₂ 气体中,一起进入焊接区。因此,水分是 CO₂ 气体中最主要的有害杂质,随 CO₂ 气体中水分的增加即露点温度的提高,焊缝金属中含氢量增高,塑性下降,甚至产生气孔等缺陷。焊接重要件时 CO₂ 的纯度(体积分数)应大于 99.5%(相当 GB/T6052-1993 中的 II 类),国外有时还要求纯度大于 99.8%,露点低于 -40℃(水分的质量分数为 0.006%,相当 GB/T6052-1993 中的 I 类),在生产现场使用市售 CO₂ 气体如含水较高,可采取如下措施减少水分。

(1) 将新灌气瓶倒置 2h。开启阀门将沉积在下部的水排出(一般排 2~3 次,每次间隔约 30min),放水结束后仍将气瓶放正。

(2) 使用前先放气 2~3min。因为上部的气体一般含有较多的空气和水分。

(3) 在气路中设转置高压干燥器和低压干燥器。进一步减少 CO_2 中的水分。一般可用硅胶或脱水硫酸铜作干燥剂,可复烘去水分后多次重复使用。

(4) 当瓶中气压降低到 0.98MPa 以下时。不再使用。此时液态 CO_2 已挥发完,气体压力随气体消耗而降低,水分的分压相对增大,挥发量增加(约可增加3倍),如继续使用,焊缝金属可能会产生气孔。

有时也在 CO_2 气体中加入体积分数为 $20\% \sim 25\%$ 的 O_2 来焊接钢材,其目的是获得较大的熔深和提高焊接速度。

4. 氧气(O_2)

氧气在常态和大气压下,是无色无味的气体。在标准状态下(即 0°C 和 101.325KPa 压力下), 1m^3 的氧气质量为 1.43kg ,比空气重,氧气本身不能燃烧,是一种活泼的助燃气体。

氧气是气焊和气割中不可缺少的助燃气体。氧气的纯度对气焊、气割的效率和质量有很大的影响。对质量要求高的气焊、气割应采用纯度高的 I 类($\text{O}_2 > 99.7\%$)氧气和 II 类一级($\text{O}_2 > 99.5\%$)氧气。

氧气有时也用作惰性气体的附加气体如 $\text{Ar} + \text{O}_2$ 、或 CO_2 气体保护焊的附加气体如 $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ 等,其主要目的是增加保护气体的氧化性,细化熔滴,改变熔滴的过渡形态,克服电弧阴极斑点飘移,增加母材输入热量,提高焊接速度等。

5. 可燃气体(C_2H_2 、 C_3H_8 、 C_3H_6 、 CH_4 、 H_2)

可燃气体的种类很多,作为气焊、气割的可燃气体目前应用最多的是乙炔气,其次是液化石油气。也有根据本地区的条件或所焊(割)的材料而采用氢气、天然气或煤气等作为可燃气体,几种常用可燃气体的物理和化学性能见表 4-2。

(1) 乙炔(C_2H_2)。乙炔是目前在气焊、气割中应用最广泛的一种可燃气体。一般用电石制取、管道输送或瓶装。乙炔是碳氢化合物(C_2H_2),在常温和一个大气压下是无色气体,工业用乙炔因含有 H_2S 及 PH_3 等杂质故有一种特殊的臭味。乙炔易溶于丙酮,在温度 $15^\circ C$ 、 $0.1MPa$ 压力下,1L 丙酮能溶解 23L 乙炔;当压力增大到 $1.42MPa$ 时,1L 丙酮能溶解约 400L 的乙炔。

乙炔是易爆气体,乙炔温度超过 $300^\circ C$ 或压力超过 $0.15MPa$ 时,遇火就会爆炸;当温度达到 $580 \sim 600^\circ C$ 时,压力达 $0.15MPa$ 时,乙炔本身就可能发生爆炸,故乙炔发生器和管路中乙炔的压力不得大于 $0.13MPa$ 。当乙炔与空气或氧混合时,爆炸性会大大增加。如果乙炔量达到一定范围时(见表 4-2),混合气体中任何部分达到自然温度(乙炔

表 4-2 常见可燃气体的某些物理和化学性能

气体	乙炔 C_2H_2	
单位密度(标准状态下)/(kg/m^3)	1.17	
$15.6^\circ C$ 时相对于空气质量比(空气 = 1)	0.906	
着火点/ $^\circ C$	335	
热值/(KJ/m^3)	52 963	
理论需氧量(氧-燃气体积比)	2.5	
实际耗氧量(氧-燃气体积比)	1.1	
火焰温度/ $^\circ C$ (中性焰)	3 100	
氧中燃烧速度/(m/s)	5.8	
爆炸范围(可燃气体体积比)	空气中	2.5 ~ 80
	氧气中	2.8 ~ 93

空气混合气体自然温度为 305°C ，乙炔与氧气混合气体的自然温度为 300°C) 或遇火星时，在常压下也会爆炸。

乙炔如与铜、银等金属长期接触，能生成乙炔铜和乙炔银等爆炸物质。

乙炔受压易引起爆炸，故不能用加压直接装瓶来贮存。工业上是利用其在丙酮中溶解度大的特性，将乙炔灌装在盛有丙酮或多孔物质的容器中，通常称为溶解乙炔或瓶装乙炔。溶解乙炔的纯度(体积分数)要求大于 98%，规定灌装条件为：温度 15°C 时，充装压力不得大于 1.55MPa 。瓶装乙炔有安全、卫生、方便、经济等优点，是目前应用最广的一种乙炔供给方法。

(2) 液化石油气。液化石油气是裂化石油的副产品，主要成分是丙烷(C_3H_8)，其次还含丁烷(C_4H_{10})，丙烯(C_3H_6)，

丙烷 C_3H_8	丙烯 C_3H_6	天然气 (甲烷) CH_4	H_2 氢
1.85	1.82	0.71	0.08
1.52	1.48	0.55	0.07
510	455	645	510
85 746	81 182	37 681	10 048
5	4.5	2.0	0.5
3.5	2.6	1.5	0.25
2 520	2 870	2 540	2 660
3.9	—	5.5	11
2.5 ~ 10	2.4 ~ 10	5.3 ~ 14	4.1 ~ 74
2.3 ~ 55	2.1 ~ 53	5.5 ~ 62	4.0 ~ 96

丁烯(C_4H_8)和少量的乙烷(C_2H_6)、乙烯(C_2H_4)、戊烷(C_5H_{12})、等碳氢化合物的混合物。

液化石油气在常温、常压下以气态存在,但只要加上不大的压力(一般约为 $0.8 \sim 1.5 \text{ MPa}$)就可变为液态。便于瓶装贮存和运输。

工业上一般使用气态的石油气,是一种略带臭味的无色气体,在标准状态下密度为 $1.8 \sim 2.5 \text{ kg/m}^3$,比空气重。

丙烷在纯氧气中燃烧的火焰温度可达 2800°C 。液化石油气达到完全燃烧所需要的氧量比乙烷约大一倍,液化石油气在氧中燃烧速度约为乙烷的一半。液化石油气的几种主要成分均能与空气中的氧气混合构成具有爆炸性的气体,但爆炸混合比值范围较小,(参看表4-2),与使用乙烷相比要安全的多。

由于液化石油气完全燃烧所需氧气量大,燃烧速度慢,故对液化石油气的割炬也应作相应的改制;才能获得满意的效果,使用液化石油气的气焊在实际生产中尚不多见。

(3) 氢气(H_2)。氢是无色、无臭的可燃性气体,氢的相对原子质量最小,可溶于水、导热性能好,分解时吸收大量的分解热。氢气常被用于等离子弧的切割和焊接;有时也用于铝的氢焊;在熔化极气体保护焊时,在 Ar_2 中加入适量 H_2 ,可增大母材的输入热量,提高焊接速度和效率。

6. 氮气(N_2)

氮在空气中约占78%(体积),沸点 -196°C ,氮的电离势较低,相对原子质量较 Ar 小, N_2 分解时吸收热量较大。氮可用作焊接时的保护气体。由于氮气导热及携热性较好,常用作等离子弧切割的工作气体,有较长的弧柱,又有分子复合热能,故可切割较厚的金属,用作焊接或等离子弧切割的氮气,其纯度应符合GB3864-1996规定的一等品氮气的技术要求。

二、焊接用气体的选用

焊接用气体包括焊接、切割用气体和保护用气体。

焊接用气体的选择,主要取决于焊接方法与被焊材料的性质,其次与焊接接头的质量要求、焊件厚度和焊接位置等有关。

由于焊接方法不同,焊接、切割或保护用气体也各不相同。焊接方法与焊接用气体,如图 4-1 所示。

被焊材料与保护气体的选用 被焊材料的性质是选用气体的主要依据,不同性质的材料,所选用气体也各不相同。其总的原则是:对易于氧化的金属如铝、镁、钛、铜、锆等及它们的合金,应选用惰性气体(Ar、He 或 Ar + He 等)进行保护;对碳钢、低合金钢、不锈钢等不宜采用惰性气体,而应选用氧化性的保护气体(如 CO_2 、Ar、Ar + CO_2 、Ar + O_2 、Ar + CO_2 + O_2 等),这可以克服电弧阴极斑点飘移,有利于稳定电弧,细化熔滴,减少焊道咬边等。从生产效率考虑,在 Ar 中加入 N_2 、 H_2 、 CO_2 、 O_2 等,可增加母材的热输入量,提高焊接速度。如焊接大厚度铝及铝合金板时。推荐用 Ar + He;焊接铜及铜合金推荐用 Ar + He 或 Ar + N_2 ;焊接不锈钢可采用 Ar + CO_2 、Ar + O_2 等。

应该指出,保护气体的电离势(即电离电位)对弧柱电场强度及母材热输入等影响是较轻微的,起主要作用的是保护气体的热导率、比热容和热分解等性质。一般来说,熔化极反极性焊接时,保护气体对电弧的冷却作用越大,母材输入热量也越大。表 4-3 列举了被焊母材及保护气体的选用。

表 4-3 母材与保护气体的选用

被焊材料	保护气体	混合比及化学成分 (体积分数,%)	化学性质
铝及铝合金	Ar	—	惰性
	Ar + He	MIG 焊通常加 He10% TIG 焊多种比例直至 He 75% + Ar25%	惰性
钛、锆及其合金	Ar	—	惰性
	Ar + He	Ar/He 75/25	惰性
铜及铜合金	Ar	—	惰性
	Ar + He	Ar/He 50/50 或 30/70	惰性

焊接方法	简要说明
TIG MIG	<p>TIG 焊采用交流, MIG 焊采用直流反接, 有阴极破碎作用, 焊缝表面光洁, Ar₂ 的独特优点是电弧燃烧稳定, 熔化极焊接时焊丝金属很易呈稳定的轴向射流过渡, 飞溅极小。对 Al、Ti、Cu、Zr 及其合金, 镍基合金等易氧化的金属, 应采用惰性气体进行保护</p>
TIG MIG	<p>He 的传热系数大, 在相同电弧长度下, 电弧电压比用 Ar 气时高, 电弧温度较高, 母材热输入大, 熔化速度较高。Ar + He 可取其两者的优点。焊接 Al 及其合金厚板时, 可增加熔深, 减少气孔, 提高生产效率。He 的加入量视板厚而定, 板厚时加入的 He 多, 一般约为 $\varphi(\text{He}) = 10\%$, 如 He 加入比例过大, 则飞溅增多。焊厚铝板(如 20mm)时, $\varphi(\text{He})$ 有加到 50% 以上的情况</p>
TIG MIG	<p>电弧燃烧稳定, 保护效果好</p>
TIG MIG	<p>可增加热量输入, 适用于射流电弧、脉冲电弧及短路电弧(混合比均为 75/25), 可改善熔深及焊缝金属的润湿性</p>
TIG MIG	<p>熔化时产生稳定的射流电弧, 但板厚大于 5mm 时则需预热</p>
TIG MIG	<p>采用 Ar + He 混合气体的最大优点是可改善焊缝金属的润湿性, 提高焊接质量。由于 He 输入热量比 Ar 大, 故可降低预热温度</p>

被焊材料	保护气体	混合比及化学成分 (体积分数,%)	化学性质
铜及铜合金	N ₂	—	—
	Ar + N ₂	Ar/N ₂ 80/20	—
不锈钢及 高强钢	Ar	—	惰性
	Ar + N ₂	加 N ₂ 21% ~ 4%	惰性
	Ar + O ₂	加 O ₂ 1% ~ 2%	氧化性
	Ar + O ₂ + CO ₂	加 O ₂ 2% 加 CO ₂ 5%	氧化性
	Ar + CO ₂	加 CO ₂ 2.5%	氧化性
碳钢 及低 合金 钢	Ar + O ₂	Ar 加 O ₂ 1% ~ 5% 或 20%	氧化性

续表

焊接方法	简要说明
熔化极气保焊	输入热量增大,可降低或取消预热,但飞溅和烟雾较大,一般仅在脱氧铜焊接时使用氮弧焊。氮气来源方便,价格便宜
熔化极气保焊	电弧温度比纯 Ar 高。与 Ar + He 相比,Ar + N ₂ 价格便宜,来源方便,但飞溅和烟雾较大,成形较差
TIG	适用于薄板焊接
TIG	焊接奥氏体不锈钢时,可提高电弧刚度,改善焊缝成形
熔化极气保焊(MAG)	用纯 Ar 保护熔化极焊接不锈钢、低碳钢、低合金钢时主要存在电弧阴极斑点不稳定的缺点,会导致焊缝熔深和成形不规则;液体金属的粘度和表面张力较大,易产生气孔和咬边等缺陷,故熔化极不宜用纯 Ar 保护。若加入少量 O ₂ 即可得到改善和克服,可细化熔滴,降低射流过渡的临界电流。焊接不锈钢时加入 O ₂ 的体积分数不宜超过 2%,否则焊缝表面氧化严重,会降低接头质量。用于射流电弧和脉冲电弧
MAG	用于射流电弧、脉冲电弧及短路电弧
MAG	用于短路电弧。焊接不锈钢时加入 CO ₂ 的体积分数最大量应小于 5%,否则渗碳严重
MAG	加 $\varphi(O_2)1\% \sim 5\%$,主要用于焊接不锈钢、高强度钢、高合金钢和某些低合金钢;加 O ₂ 较多的如 20%,主要用来焊接低碳钢及低合金钢。Ar + $\varphi(O_2)20\%$ 有较高的生产率,抗气孔性能优于 Ar + CO ₂ 和纯 CO ₂ 保护焊,焊缝缺口韧性也有所提高,用 Ar + $\varphi(O_2)20\%$ 进行高强钢窄间隙垂直焊时,还可减少晶间裂纹倾向。主要用于射流电弧及对焊缝要求较高的场合 Ar + $\varphi(O_2)20\%$ 有较强的氧化性,应配用 Mn、Si 含量较高的焊丝

被焊材料	保护气体	混合比及化学成分 (体积分数,%)	化学 性质
碳钢及 低合金钢	Ar + CO ₂	Ar/CO ₂ 70 ~ 80/30 ~ 20	氧化性
	Ar + O ₂ + CO ₂	Ar/O ₂ /CO ₂ 80/5/15	氧化性
	CO ₂	—	氧化性
	CO ₂ + O ₂	CO ₂ /O ₂ 80 ~ 75/20 ~ 25	氧化性

续表

焊接方法	简要说明
MAG	<p>Ar + CO₂ 广泛用于焊接碳素钢及低合金钢。它既具有 Ar₂ 的优点,如电弧稳定、飞溅小,易获得轴向喷射过渡等,又因具有氧化性,可克服用单一 Ar₂ 焊接时产生阴极飘移现象及焊缝成形不良等问题,有良好的工艺效果,飞溅小,焊缝金属冲击韧性好。成本虽比 CO₂ 焊高,仍被广泛采用。通常 Ar/CO₂ 比为 70 ~ 80/30 ~ 20,可用于喷射、短路和脉冲过渡电弧。但用于短路过渡电弧进行垂直焊和仰焊时 Ar/CO₂ 最好为 50/50,有利于熔池的控制。随 CO₂ 增加,接头韧性下降</p>
MAG 熔化极	<p>$\varphi(\text{Ar})80\% + \varphi(\text{CO}_2)15\% + \varphi(\text{O}_2)5\%$ 对焊接低碳钢、低合金钢是最佳混合比,可获得满意的焊缝成形、接头质量和良好的工艺性能,熔深较佳。可用于射流脉冲及短路电弧</p>
熔化极	<p>适用于短路电弧。有一定的飞溅,焊缝金属的冲击韧度较 Ar + CO₂ 焊为低</p>
MAG 熔化极	<p>CO₂ 中加入一定数量的 O₂ 后,加剧了电弧区中的氧化反应,放出热量多,加速焊丝熔化,提高熔池温度,增大熔深,熔敷速度较大,是一种高效率的焊接方法 O₂ 的加入降低了弧柱中的游离氢和溶入液体金属中的氢浓度,故焊缝中含氢量较低,有较强的抗氢气孔能力。但应控制 O₂ 中含 H₂ 在一定数值以下,并采用脱氧能力较强的焊丝(较高的 Si、Mn 或 Al、Ti 等),以控制焊缝金属的含氧量</p>

被焊材料	保护气体	混合比及化学成分 (体积分数,%)	化学性质
碳钢及 低合金钢	$\text{CO}_2 + \text{O}_2$	CO_2/O_2 80 ~ 75/20 ~ 25	氧化性
镍基合金	Ar	—	惰性
	Ar + He	Ar 加 He15% ~ 20%	惰性
	Ar + H_2	$\text{H}_2 < 6\%$	还原性

续表

焊接方法	简要说明
熔化极	<p>能采用强规范焊接,电弧稳定,飞溅很小,焊缝成形良好。主要用于射流及短路电弧</p> <p>$\text{CO}_2 + \text{O}_2$,其中 O_2 的体积分数为 4% - 30%,常用 20% - 25%,最多不超过 40%,否则焊缝金属中含 O_2 量显著增大</p> <p>对 O_2 要求纯度较高,应符合 GB3863 一等品氧气的规范</p>
TIG MIG	<p>对于射流、脉冲及短路电弧均适用,是焊接镍基合金的主要气体</p>
TIG MIG	<p>焊接镍基合金时,常采用 $\text{Ar} + \text{He}$ 混合气体。焊缝金属润湿性及熔深比纯 Ar 好,加入体积分数约 15% - 20% 的 He,可增加热输入</p>
不熔 化极	<p>$\text{Ar} + \text{H}_2$ 混合气体为还原性,可用来焊接镍及其合金,可以抑制和消除焊缝中的 CO 气孔,但 H_2 的体积分数的加入量必须小于 6%,否则易产生 H_2 气孔,加入 H_2 可提高电弧温度,增加母材热输入</p>

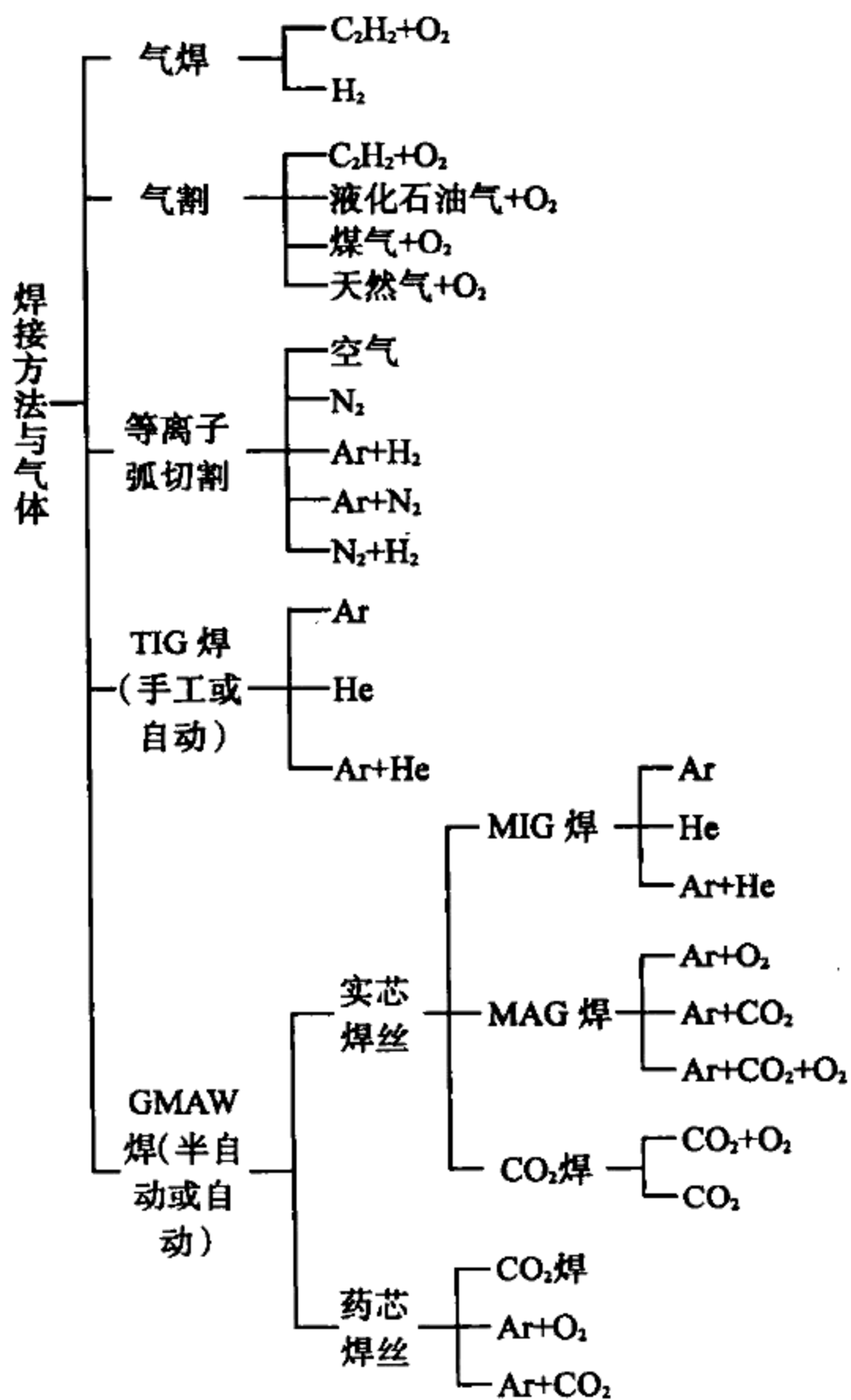


图 4-1 焊接方法与焊接用气体

第五章 焊接设备

焊接设备是焊接时所用的焊机及装夹、移动工件等辅助装置的总称。其中,焊机是供完成各种工艺操作的设备,包括焊接电源、控制箱、焊接机头或焊枪、焊炬、割炬等;手工焊条电弧焊由焊接电源和焊钳组成电弧焊机;气体保护焊需要由焊接电源、控制箱、焊接小车或送丝机构、焊枪、气路和水路系统组成电弧焊机等等。

本章主要介绍典型的手工焊条电弧焊电源、埋弧焊设备、气保护焊设备及气焊、气割设备。

一、手工焊条电弧焊电源

焊接电源或弧焊电源是电弧焊机中的核心部分,是用来对焊接电弧提供电能的一种专用设备。从经济观点出发,要求结构简单轻巧、制造容易、消耗材料少、节约电能、成本低;从使用角度出发,要求方便、可靠、安全、性能良好和容易维修。但是从满足弧焊工艺方面出发,还需要有以下电气性能:

1. 对弧焊电源的基本要求

(1)具有一定的空载电压。接通弧焊电源后,尚未焊接时输出的电压称为空载电压。空载电压太低电弧难以引燃,而太高虽有利于引弧,但对操作者不太安全。因此,对弧焊电源的空载电压的要求是:对直流弧焊电源空载电压 $\geq 40\text{V}$,交流弧焊电源空载电压 $\geq 55\text{V}$,但均不得超过 100V 。

(2)具有下降的外特性。外特性是指电源向负载供电时,在稳定状态下,电源的输出电流与电压之间的对应关系。只有当输出电压随输出电流的增大而下降时才能满足电弧稳定燃烧的要求。

(3) 具有适当的短路电流。这是由电弧焊的特点决定的,焊条电弧焊过程中,会经常使弧焊电源处于短路状态。短路电流过大会烧坏焊机,飞溅加大,而过小则引弧困难。

(4) 弧焊电源的电流必须可调。主要是为了适应各种不同直径的焊条和各种不同的焊接位置。电流调节范围一般为电源额定电流的 0.25 ~ 1.2 倍。

(5) 具有良好的动态品质。焊接时弧长经常变化,必然会引起电弧电压和电流的变化,要求弧焊电源提供的电源电压和电流迅速跟上电弧的需要,保证电弧稳定燃烧。

2. 焊条电弧焊电源的分类和型号

(1) 分类。焊条电弧焊电源分为弧焊变压器、弧焊发电机和弧焊整流器三种。

(2) 焊条电弧焊电源的型号

1) 产品型号的组成 由汉语拼音及阿拉伯数字组成。

2) 产品型号的编排顺序 见下图。

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

1—大类名称,用汉语拼音字母表示;

2—小类名称,用汉语拼音字母表示;

3—附注特征,用汉语拼音字母表示;

4—系列序号,用阿拉伯数字表示;

5—基本规格,即额定焊接电流,用阿拉伯数字表示;

6—派生代号,用汉语拼音字母表示;

7—改进序号,生产中改进程序用阿拉伯数字表示。

3) 焊机型号代表字母及其含义 见表 5-1。

4) 型号示例 下面举例说明几种焊机型号含义:

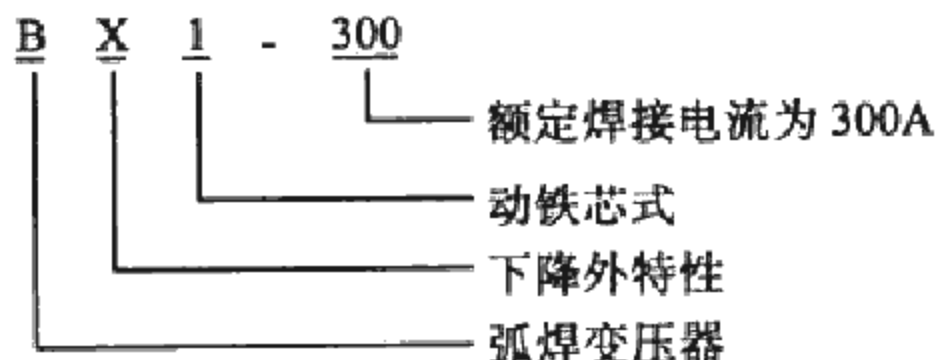
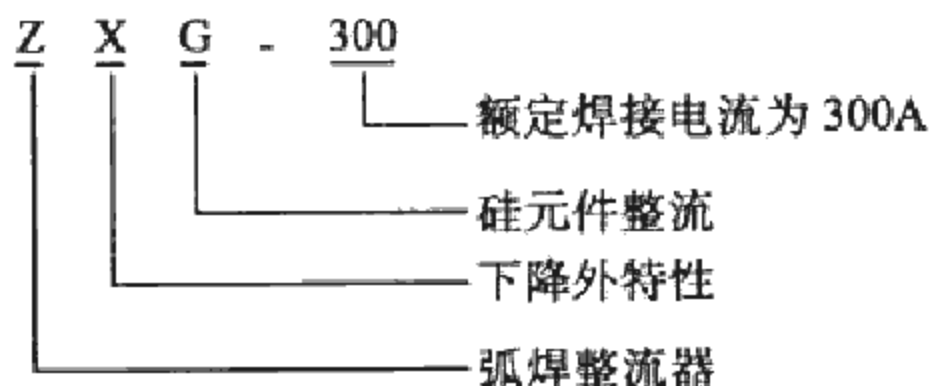


表 5-1 焊机电源型号代表字母及其含义

大类名称	代表含义	小类名称	代表含义	系列序号	代表含义
A	弧焊发电机	X	下降特性	1	动铁心式
				2	串联电抗器式
B	弧焊变压器	P	平特性	3	动圈式
				4	晶体管式
Z	弧焊整流器	D	多用特性	5	晶闸管式
				6	变换抽头式
				7	变频式



5) 手弧焊机铭牌的识别 每台焊机在其显眼的位置, 都有一块金属牌(常用铝), 这就是焊机的铭牌。在铭牌上, 标出了焊机的主要参数, 如额定电压、电流、功率、相数、空载电压和工作电流、电流调节范围、负载持续率等。下面特别说明负载持续率。负载持续率是指电焊机在断续工作方式及断续周期工作方式中, 负载工作时间与整个周期之比值的百分率, 用公式表示为:

$$\text{负载持续率} = \frac{\text{焊机负载工作时间}}{\text{整个周期}} \times 100\%$$

国标规定弧焊电源的工作周期有 5min、10min、20min 和持续。

额定负载持续率国标规定有 35%、60%、100% 三种。额定焊接电流就是在额定负载持续率下允许使用的最大电流。

3. 弧焊变压器

弧焊变压器可划分为串联电抗器式和增强漏磁类两大类。串联电抗器类分为分体式 and 同体式两种，增强漏磁类可分为动铁心式和动圈式。

下面，我们分别来介绍这几种弧焊变压器。

(1) 分体式弧焊机。分体式弧焊机由一台降压变压器和一台独立的电抗器组成。结构原理见图 5-1。工作时，变压器将电网电压降到空载电压，当电流流过交流电抗器时，电抗器上产生感抗压降，从而获得下降外特性。

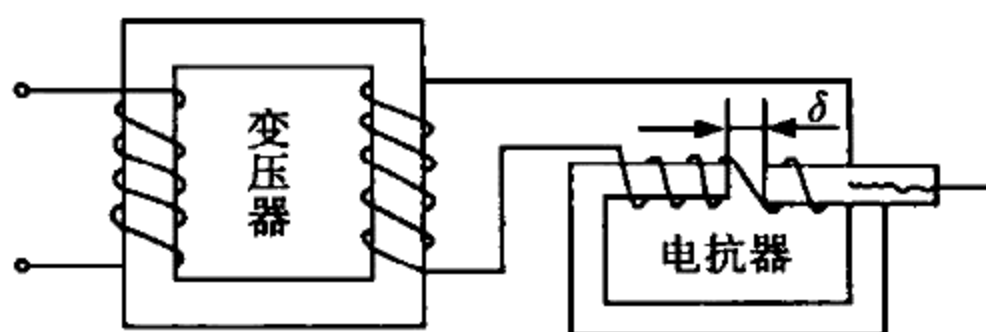


图 5-1 分体式弧焊机结构原理图

串联电抗器上有一活动铁芯，改变铁芯间隙大小，可调节焊接电流。

(2) 同体式弧焊机。由一台具平特性的降压变压器和一台电抗器组成，如图 5-2，其特点是变压器和电抗器做成一体，变压器初级绕组分别绕在变压器侧柱上，次级绕组与电抗器线圈串联。电抗器上有一活动铁芯，调节其与固定铁芯之间的距离，可调节焊接电流。

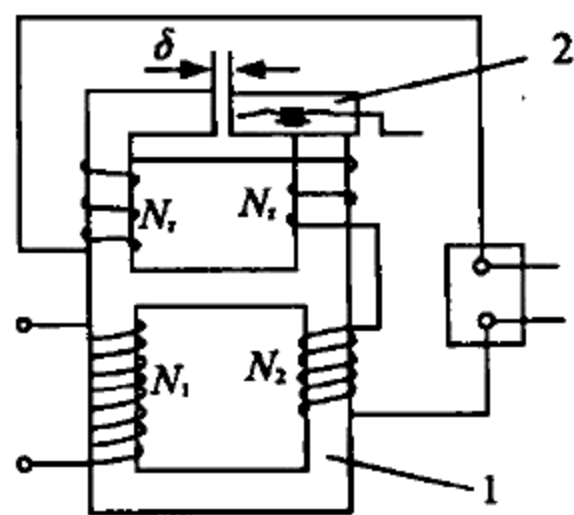


图 5-2 同体式弧焊机结构示意图

(3) 动铁芯式弧焊变压器。见图 5-3, 动铁芯式弧焊变压器的初、次级绕组固定在变压器的心柱上, 中间放有一活动铁芯 II 作为初、次级绕组间的漏磁分路。活动铁芯为一梯形。

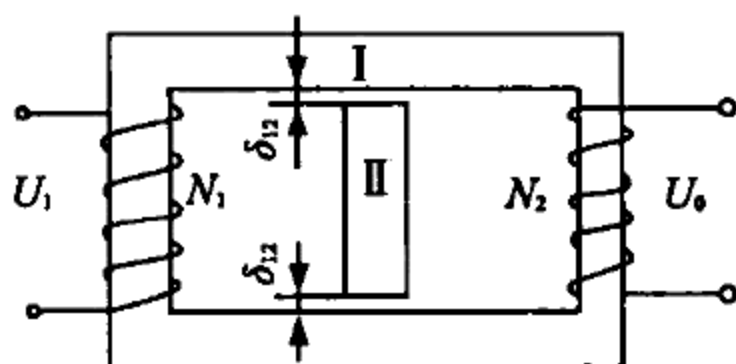


图 5-3 动铁芯式弧焊机结构示意图

调节焊接电流时, 只需移动活动铁芯 II 的位置, 即改变了活动铁芯与静铁芯之间的距离及动铁芯在静铁芯中的截面积, 从而改变了通过动铁芯的漏磁大小, 且电流变化与动铁芯移动距离呈线性关系, 故电流调节均匀。

动铁心式弧焊变压器结构简单, 使用和维护方便, 故目前应用最为广泛。

(4) 动圈式弧焊变压器。见图 5-4, 该焊机型号上属于 BX₃ 系列, 其结构特点是: 初级绕组和次级绕组各分成匝数相等的两部分分别绕在口字形铁芯的两侧立柱上。初级绕组固定在铁芯底部, 次级绕组可在丝杆的带动下上下移动, 调节漏磁。当顺时针转动丝杆使初、次级绕组间的距离增大时, 漏磁增加, 漏抗压降变大, 输出电流减小。反之, 电流增大。

另外, 此类焊机常配有大小电流转换开关。

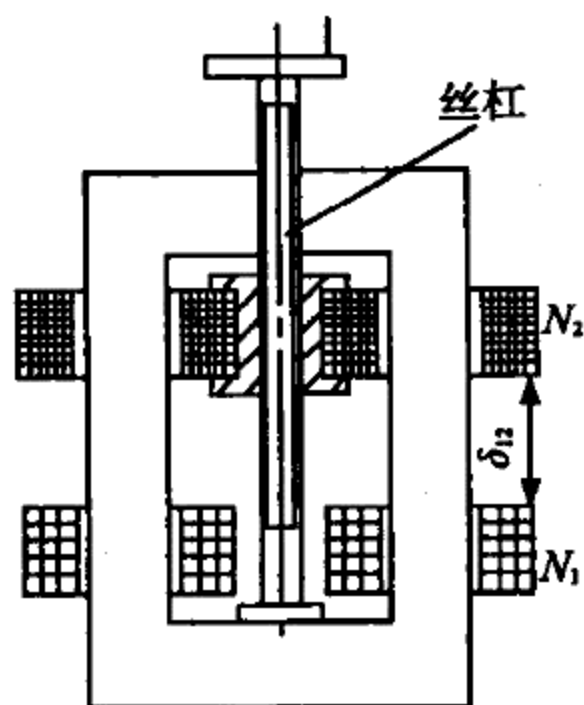


图 5-4 动圈式弧焊变压器结构图

(5) 抽头式弧焊变压器。该类焊机型号上属于 BX₀ 系列,其结构如图 5-5。初级绕组分别绕在两个心柱上,而次级绕组仅绕在一个心柱上。初级绕组常做出较多的抽头,利用转换开关调节初级绕组在两个心柱上的匝数比,用以调节焊接电流。抽头式弧焊变压器结构紧凑,无活动部分,故无振动。但其电流调节是有级调节,不能达到某个任意的电流值。

各类弧焊变压器具体型号如下:

表 5-2 弧焊变压器型号及技术数据

型号	电源电压(V)	额定初级电流(A)	额定空载电压(V)	电流调节范围(A)	相数
BX ₁ 型(动铁心式)					
BX ₁ -120	220	-	50	50 ~ 120	1
BX ₁ -125	220/380	35/21	58	50 ~ 125	1
BX ₁ -160	220/380	-	52	50 ~ 160	1
BX ₁ -160	380	35.4	80	32 ~ 160	1
BX ₁ -200	380	40	75	40 ~ 240	1
BX ₁ -250	380	54	78	50 ~ 250	1
BX ₁ -300	380	63	76	55 ~ 300	1
BX ₁ -315	380	86.7	80	63 ~ 380	1
BX ₁ -400	380	83	77	80 ~ 400	1
BX ₁ -500	380	110	80	80 ~ 690	1
BX ₁ -630	380	147.5	80	110 ~ 760	1
BX ₁ -1000	380	224	85	200 ~ 1 000	1

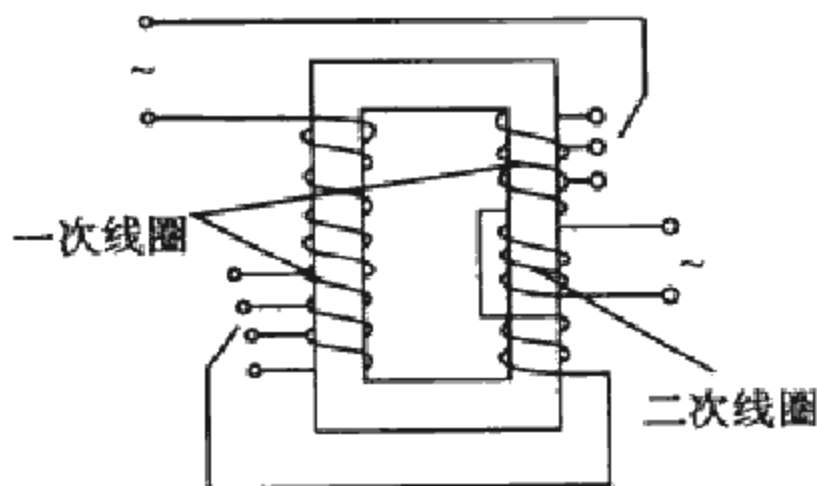


图 5-5 抽头式弧焊变压器结构图

额定负载持续率(%)	额定工作电压	额定输入容量(kVA)	质量(kg)	外形尺寸:长×宽×高(mm)
BX ₁ 型(动铁芯式)				
20	25	6	≤28.8	365×257×263
20	25	7.8	≤30	300×260×270
20	26	8.3	31	390×265×365
60	21.6~27.8	13.5	93	587×325×680
35	28	15	92	490×355×615
60	22.5~32	20.5	116	600×380×750
35	32	24	110	550×410×680
60	32.6	33	150	550×465×645
60	24~39.2	31.4	144	640×390×780
60	40	42	300	740×520×860
60	2644	56	270	760×460×890
60	44	85	500	620×870×1 250

型号	电源电压(V)	额定初级电流(A)	额定空载电压(V)	电流调节范围(A)	相数
BX ₂ 型(同体式)					
BX ₂ -125	380	11.5	75	25 ~ 150	三 相 四 线
BX ₂ -160	380	14.7	55	32 ~ 200	
BX ₂ -200	380	18.3	55	40 ~ 250	
BX ₂ -315	380	29	55	63 ~ 394	
BX ₂ -400	380	27	55	80 ~ 500	
BX ₂ -630	380	58	55	126 ~ 675	
BX ₂ -800	380	73.3	55	160 ~ 960	
BX ₃ 型(动圈式)					
BX ₃ -125	380			25 ~ 160	1
BX ₃ -160	380	31	70 ~ 78	25 ~ 250	1
BX ₃ -200	380	39		30 ~ 300	1
BX ₃ -250	380	48.5		36 ~ 360	1
BX ₃ -300	220/380	72		60 ~ 75	40 ~ 400
BX ₃ -315	380	60.5	70 ~ 78	45 ~ 430	1
BX ₃ -400	380	78	70 ~ 75	50 ~ 500	1
BX ₃ -500	380	101.4	66 ~ 73	60 ~ 612	1
BX ₃ -630	380	116	< 80	50 ~ 630	1
BX ₆ 型(抽头式)					
BX ₆ -120	220/380	28	52	50 ~ 160	1
BX ₆ -125	220/380	31	55	50 ~ 140	1
BX ₆ -160	380	32	65	55 ~ 195	1
BX ₆ -200	380	40	48 ~ 70	65 ~ 200	1
BX ₆ -250	220/380	-	50 ~ 70	50 ~ 250	1
BX ₆ -300	220/380	60.5	50 ~ 60	40 ~ 380	1
BX ₆ -315	380	31.5	66 ~ 72	63 ~ 315	1
BX ₆ -400	380	40	69 ~ 72	80 ~ 410	1

续表

额定负载持续率(%)	额定工作电压	额定输入容量(kVA)	质量(kg)	外形尺寸:长×宽×高(mm)
BX ₂ 型(同体式)				
60	25	6.69	110	460×400×700
60	26	8.8	162	545×415×700
60	28	11	185	558×400×750
60	32	17.3	280	785×580×660
60	36	22	285	685×580×800
60	44	35	290	650×570×850
60	44	44	380	770×550×850
BX ₃ 型(动圈式)				
60	25	9	93	485×480×631
60	26.4	11.8	100	580×430×710
60	28	14.7	150	680×520×830
60	30	18.4	150	630×480×810
60	22~36	27.4	190	580×600×800
60	32.6	23	185	690×527×915
60	36	29.1	200	695×530×905
60	40	38.6	225	610×666×970
60	44	44	280	550×555×890
BX ₆ 型(抽头式)				
20	22~26	6.24	22	345×246×188
20	25	6.9	≤30	345×260×460
60	22~28	12	55	420×290×570
20	22~28	15	≤40	-
35	22~30	15	80	495×345×416
60	25~35	30	140	645×450×805
35	32.6	13.2	85	530×410×600
35	36	16	110	530×420×600

4. 弧焊发电机

直流弧焊发电机由原动机和一台弧焊发电机组成。其原动机可以是内燃机、电动机,其中,电动机驱动的弧焊发电机已经淘汰,内燃机驱动的弧焊发电机适用于野外无电环境的作业。直流弧焊发电机具有电弧燃烧稳定、可靠性

表 5-3 直流弧焊发电机型号及技术数据

型号	电流调节范围(A)	空载电压范围(V)	工作电压(V)	额定输出功率(kW)
AXC 型柴油机驱动直流弧焊机				
AXC-160	32 ~ 200	42 ~ 65	22 ~ 28	5
AXC-200	40 ~ 200	40 ~ 70	21.4 ~ 28	5.6
AXC-315	40 ~ 320	50 ~ 80	28	9.6
AXC-400	40 ~ 480	65 ~ 90	23 ~ 39	14.1
AXC-400-1	65 ~ 480	65 ~ 90	22.6 ~ 39.2	14.1
AXD 型单纯直流弧焊发电机				
AXD-160	32 ~ 200	45 ~ 70	22 ~ 28	5
AXD-200	40 ~ 200	40 ~ 70	21.4 ~ 28	5.6
AXD-250	45 ~ 310	55 ~ 85	22 ~ 32	7.5
AXD-300-1	50 ~ 375	55 ~ 70	22 ~ 35	13.12
AXD-315	45 ~ 320	50 ~ 80	28	9.6
AXD-400	40 ~ 480	65 ~ 90	23 ~ 39	14.1
AXH 型汽车驱载直流弧焊机组				
AXH-200	40 ~ 200	40 ~ 70	21.4 ~ 28	5.6
AXH-400	65 ~ 480	65 ~ 90	23 ~ 39	14.1

好,经久耐用的优点。但其制造耗材、体积大、笨重、噪声大、效率低的缺点,决定了其终将被淘汰的命运。

电动机驱动的直流弧焊发电机由三相交流电动机、发电机电枢、发电机励磁绕组、换向片、电刷、控制盘等组成。

具体型号见表 5-3。

额定负载持续率(%)	原动机型号或名称	机组质量(kg)	机组外形尺寸(mm) 长×宽×高
AXC 型柴油机驱动直流弧焊机			
60	S195L	315	
35	S195L	320	1 350 × 735 × 840
60	295G	1 400	3 600 × 1 500 × 1 510
60	495J	1 200	2 470 × 1 680 × 1 790
60	495A	1 300	2 140 × 1 700 × 840
AXD 型单纯直流弧焊发电机			
60	-	130	-
35	-	-	-
60	-	170	660 × 330 × 630
60	-	-	600 × 340 × 464
60	-	365	940 × 475 × 665
60	-	-	-
AXH 型汽车驱载直流弧焊机组			
35	S195L	-	-
60	S495J	-	-

型号	电流调节范围(A)	空载电压范围(V)	工作电压(V)	额定输出功率(kW)
AXH 型越野车汽车焊接工程车(汽车驱动)				
AXH-250	50 ~ 315	50 ~ 90	30	7.5
AXH-315	45 ~ 315	55 ~ 80	25 ~ 35	7.5
	45 ~ 320	50 ~ 80	32.6	9.6
AXT2 × 250 型履带式拖拉机驱动双站直流弧焊发电机组				
AXT-2 × 250	50 ~ 250	50 ~ 80	30	7.5
AXQ 型汽油机驱动直流弧焊发电机组				
AXQ-160	40 ~ 190	40 ~ 65	22 ~ 27	7.35

5. 弧焊整流器

弧焊整流器分为硅整流式弧焊整流器、晶闸管整流式弧焊整流器、晶体管整流式弧焊整流器、逆变式弧焊整流器等四类。

硅弧焊整流器是一种将交流电经变压、整流转化成直流电的焊接电源。一般由降压变压器、硅整流器、输出电抗器和外特性调节机构等部分组成。硅弧焊整流器常通过磁放大器(饱和电抗器式)或通过增大降压变压器的漏磁(动铁式、动圈式)来获得下降外特性及调节空载电压和电流。其基本原理方框图见图 5-6 所示。

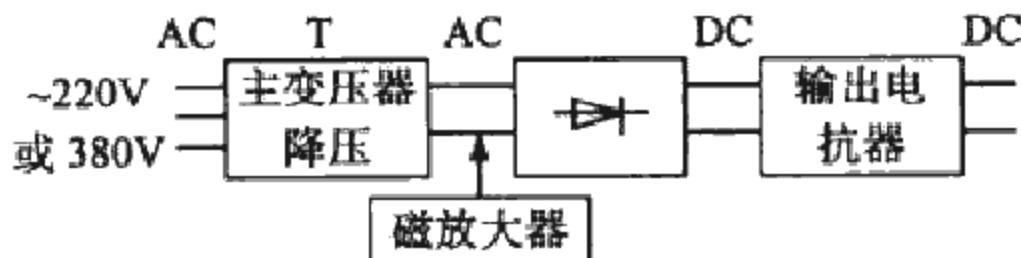


图 5-6 硅弧焊整流器电源基本原理图

续表

额定负载持续率(%)	原动机型号或名称	机组质量(kg)	机组外形尺寸(mm) 长×宽×高
AXH 型越野车汽车焊接工程车(汽车驱动)			
60	发动机	3 240	5 060 × 7 950 × 2 115
60	发动机	-	-
60	发动机	3 000	4 000 × 2 000 × 3 000
AXT2 × 250 型履带式拖拉机驱动双站直流弧焊发电机组			
60	发动机	7 290	4 498 × 1 970 × 2 250
AXQ 型汽油机驱动直流弧焊发电机组			
60	汽油机	100	1 000 × 700 × 700

当采用晶闸管或晶体管来代替二极管作整流元件时,焊机就为晶闸管式弧焊整流器和晶体管式弧焊整流器。它们可以采用电子控制电路来获得所需可调外特性,电流、电压控制范围很大。

逆变式弧焊电源是一种新型电源,也是现阶段应用最为广泛、最具发展前景的直流电源。

逆变式弧焊电源的基本原理方框图如图 5-7 所示。

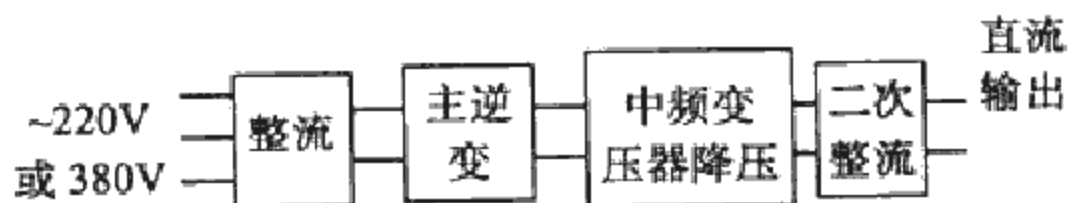


图 5-7 逆变电源的基本原理框图

表 5-4 常见的弧焊整流器的各种型号及技术数据

型号	电流调节范围(A)	工作电压(V)	电源电压(V)	相数(N)	输入电流(A)
ZX 型硅整流、三相磁放大式弧焊整流器					
ZX-160	25~200	25~30	380	3	15.5
ZX-200	20~200	28	380	3	26
ZX-250	30~300	21~32	380	3	28
ZX-300	25~300	25~32	380	3	32
ZX-400	48~480	21.6~40	380	3	53
ZX-500	25~500	25~40	380	3	32
ZX ₃ 型硅整流、三相动圈式弧焊整流器					
ZX ₃ -160	32~192	22~28	380	3	16.8
ZX ₃ -250	50~300	22~32	380	3	26.3
ZX ₃ -300	60~360	22~34	380	3	33
ZX ₃ -315	60~315	22.4~32	380	3	33.6
ZX ₃ -400	80~480	23~39	380	3	42
ZX ₃ -500	100~600	24~44	380	3	54
ZX ₅ 型晶闸管式弧焊整流器					
ZX ₅ -250	50~250	30	380	3	23
ZX ₅ -315	35~315	33	380	3	27.3
ZX ₅ -400	40~400	36	380	3	37
ZX ₅ -630	80~630	44	380	3	75
ZX ₅ -800	100~800	-	380	3	-
ZX ₇ 型逆变弧焊整流器 ^①					
ZX ₇ -125	20~125	-	220	1	15
ZX ₇ -160	16~160	-	380	3	7.5
ZX ₇ -200	8~200	-	380	3	11
ZX ₇ -250	40~250	-	380	3	13

输入容量(kVA)	质量(kg)	空载电压(V)	外形尺寸(mm) 长×宽×高
ZX 型硅整流、三相磁放大式弧焊整流器			
10.5	75	80	600 × 325 × 530
15	200	72	680 × 480 × 800
19	200	70	600 × 410 × 800
21	235	72	590 × 450 × 890
34.9	330	70	690 × 490 × 952
21	325	70	650 × 500 × 1 020
ZX ₃ 型硅整流、三相动圈式弧焊整流器			
11	138	72	595 × 480 × 970
17.3	182	72	630 × 530 × 1 030
21.8	182	72	635 × 530 × 1 075
21.4	185	60 - 70	640 × 530 × 990
27.8	270	71.5	710 × 576 × 1 075
35.5	238	72	685 × 570 × 1 075
ZX ₅ 型晶闸管式弧焊整流器			
15	160	55	560 × 500 × 960
18	175	56	590 × 510 × 960
24	200	60	600 × 505 × 1 000
46	280	76	660 × 590 × 1 050
-	300	73	-
ZX ₇ 型逆变弧焊整流器 ^①			
3.5	10	50	350 × 150 × 200
4.9	25	75	500 × 290 × 390
6.6	23	80	413 × 193 × 318
8.3	15	60	500 × 290 × 390

型号	电流调节范围(A)	工作电压(V)	电源电压(V)	相数(N)	输入电流(A)
ZX ₇ -315	50~315	-	380	3	17
ZX ₇ -400	60~400	-	380	3	22
ZX ₇ -500	50~500	-	380	3	35.5
ZX ₇ -630	60~630	-	380	3	49.2

①ZX₇系列中,除160、500、630系列为晶闸管式参数外,其余各系列焊机为场效应管式参数。

6. 焊条电弧焊电源的选择

不同类型的弧焊电源,其结构、电气性能和主要技术参数是不同的,不同场合下所表现出来的工艺特点和经济性是有区别的。下面把交直流弧焊电源的特点列出,方便大家比较。

表 5-5 交、直流弧焊电源特点比较

项目	交流	直流	项目	交流	直流
电弧的稳定性	低	高	构造与维修	较简	较复杂
磁偏吹	很小	较大	噪声	不大	较小
极性可换性	无	有	成本	低	较高
空载电压	较高	较低	供电	一般单相	一般三相
触电危险	较大	较小	重量	较轻	较重

续表

输入容量(kVA)	质量(kg)	空载电压(V)	外形尺寸(mm) 长×宽×高
11.1	25	65	400×160×250
16	30	65	450×200×300
23.4	40	75	560×240×355
32.4	45	75	550×320×390

选择焊条电弧焊弧焊电源时主要考虑以下几个方面:

(1) 根据焊接产品质量要求选择。焊接产品质量要求较高,选用的焊条为低氢型,则必须选择直流弧焊电源;焊接产品要求不高时,选择交流弧焊电源。

(2) 根据工件厚度和使用焊条的直径选择。焊接工件较厚、使用焊条直径较粗,应选择输入容量较大的弧焊电源,反之,应选择输入容量较小,电流调节范围下限较低的弧焊电源。

(3) 根据弧焊电源的价格选择。在满足使用条件的前提下,尽量选择价廉的交流弧焊电源。

7. 弧焊电源的使用

(1) 弧焊电源的外部连接。弧焊电源通过电源线、开关与供电网络连接,同时通过焊接电缆与焊接手把、工件连接时称为外部接线。

1) 弧焊电源有两排接线柱 一排较细,它与供电网络连接,接线时注意电压数值和相数应与弧焊电源铭牌上标注的要求相一致,否则有可能烧损焊机。另一排接线柱较粗,只有两个接线柱,与焊接电缆连接,直流电源的接线柱有正负标志,供使用时选择。

2) 正确选用电源线和开关等 电源线选耐压为 500V

重型橡胶套电缆,导线截面为额定输入电流值除以 5 ~ 10A/mm²,如果是铝芯线导线截面积应增大 1.6 倍。

电源开关有闸刀开关、铁壳开关和自动空气开关,额定电压为 500V,额定电流大于或等于弧焊电源额定初级输入电流。熔丝的额定电流应与开关一致。

焊接电缆应选用细铜丝绞成的软单芯橡胶套电缆,截面按焊接电流额定值选择,如表 5-6。

表 5-6 额定电流与铜芯电缆最大截面积的关系

额定电流(A)	100	125	160	200	250	315	400	500	630
电缆截面积(mm ²)	16	16	25	35	50	70	95	120	150

3) 弧焊电源外壳必须牢靠接地 不能用接零来代替接地,接地线的截面积应大于 6mm²。

(2) 弧焊电源的使用

1) 使用程序 有开机和关机两种。

开机:接通电源开关→合上弧焊电源的开关→调节电流或变换极性→试焊→焊接

关机:停止焊接→断开弧焊电源的开关→断开电源开关。

2) 注意事项 弧焊电源不能长时间处于短路状态,不得超载使用,不宜在焊接时调节电流,调节电流时不能超过机构的上限和下限。

3) 弧焊电源的串联和并联 有时为了满足焊接工作的需要,将同一家制造厂生产的相同型号的弧焊电源串联使用可得到 2 倍的空载电压,并联使用可得到 2 倍的额定焊接电流,但要注意每台焊机的焊接电流应大致相等。直流电源有正、负极之分,串联时应一台机的正极与另一台机的负极相连,而并联时应两台焊机的正极与正极相接,负极与

负极相连。

8. 常用工具及其他辅具

(1) 工具。有以下一些：

1) 焊钳 是用来夹持焊条、传导电流进行焊接的工具，应安全、轻便、耐用。常用焊钳有 300A 和 500A 两种，其型号有 G352 和 G582，其技术参数如下：

表 5-7 焊钳技术参数

型号	额定电流(A)	焊接电缆孔径(mm)	适用焊条直径(mm)	重量(kg)	外形尺寸(mm)
G352	300	14	2~5	0.5	250×80×40
G582	500	18	4~8	0.7	290×100×45

2) 面罩 面罩是为了防止焊接时的飞溅、弧光及其他辐射对焊工面部及颈部损伤的一种遮蔽工具，有手持式和头盔式两种。面罩装有用以遮蔽紫外线的护目遮光镜片（黑玻璃），其可按表 5-8 选择。在护目镜的外面常加上两片无色透明的防护白玻璃，防止护目镜片被焊接时的飞溅物损坏。白玻璃价廉，可及时更换。

表 5-8 焊工护目镜片选用参考表

色号	适用电流(A)	尺寸:A×B×C(mm)
7~8	≤100	2×50×107
8~10	100~300	2×50×107
10~12	≥300	2×50×107

3) 清渣工具和焊缝修整工具 有以下三种。

手动: 鑿子、钢丝刷、锉刀、锯条、手锤等。锅炉压力容器焊工还需有焊工代号钢字码。

气动: 气动刮铲、长柄气动打渣机、气动针束打渣机、轻便气动钢丝刷、气动角向砂轮。

电动: 高速电动角向砂轮机、手动砂轮机。

4) 焊条保温筒 是制造焊接产品车间或现场供焊工领用和存放焊条的一种容器, 它与弧焊电源的输出相连。焊

表 5-9 常用焊条保温筒的型号及技术数据

型号	电压 (V)	功率 (W)	温度 (°C)	焊条长度 (mm)	焊条质量 (kg)	尺寸 (mm)	自重 (kg)
PR-1	25 ~ 90	400	300	≤450	5	φ145 × 550	3.5
PR-2					2.5	φ110 × 570	2.8
PR-3		100	200		5	φ155 × 690	3
PR-4						φ195 × 700	3.5

表 5-10 电缆快速接头、快速连接器

快速接头		
型号	额定电流 (A)	备注
DKJ-16	≤160	该产品由插头、插座两部分组成, 能快速将电缆连接在弧焊电源的两端
DKJ-35	≤250	
DKJ-50	≤315	
DKJ-70	≤400	
DKJ-95	≤630	
DKJ-120	≤800	

接时可随时从保温筒中取出焊条使用,常用保温筒的型号及技术数据见表 5-9。

5) 焊缝检验尺 是焊工及焊接检验人员用来测量坡口和焊缝尺寸的工具,它能测量坡口的角度、装配间隙、错边量、余高、焊缝宽度、T形接头角焊缝厚度、焊脚高度等。

(2) 其他辅助用具

1) 电缆快速接头 用于电缆与电缆的连接,及电缆与弧焊电源的连接,电缆快速接头、快速连接器的型号及有关数据如表5-10。

2) 焊接常用装配夹具 目的是保证工件获得规定的要求。装配夹具包括夹紧工具(如弓状楔形夹、螺旋弓形夹、带拉板楔条夹等)、压紧夹具(杠杆压紧工具、固定螺旋栓压板、楔条压紧工具)、拉紧工具(螺旋拉紧工具、杠杆螺旋拉紧器)和撑具(螺旋变撑具、千斤顶等)。

3) 焊接变位器 可使工件处于焊工最佳施焊位置。型号及主要技术数据见表 5-11。

快速连接器		
型号	额定电流(A)	备注
DKL-16	≤160	能快速将 2 根电缆线连接在一起
DKL-25	≤250	
DKL-50	≤315	
DKL-70	≤400	
DKL-95	≤630	
DKL-120	≤800	

二、埋弧焊设备

1. 埋弧焊设备的分类及其结构特点

埋弧焊机按用途可分为通用和专用焊机。通用焊机广泛地用于各种结构的对接、角接、环缝和纵缝等的焊接；专用焊机用于焊接某些特定的焊接结构，如埋弧焊角焊机、T形梁焊机、埋弧焊堆焊机等。

按电弧调节方式可分为等速送丝和均匀调节式。

按行走机构形式分为小车式、门架式、伸缩臂式等。

按焊丝数分为单丝、双丝和多丝焊机，目前常用的是单丝焊机。

埋弧焊机大致由以下部分组成：具有下降特性的弧焊整流器或弧焊变压器，行走机架、支架、送丝机构、焊丝矫直机构、导电部分、控制盒、焊丝盘和焊剂斗等。

2. 埋弧焊电源

(1) 交流、直流或交直流两用电源。对于单丝、小电流(300~500A)，可用直流电源弧焊整流器、弧焊发电机、晶闸管弧焊整流器(ZD5-500)，也可以采用矩形波交流弧焊电源；单丝、中电流(600~1 000A)，可以采用交流或直流电源，如弧焊变压器(BX₂-700、BX₂-1 000)、硅弧焊整流器(ZP-1 000)、晶体管弧焊整流器等；单丝、大电流(>1 000A)，可用交流电源(BX₁-1 600、BX₁-2 000)。对于双丝和三丝埋弧焊，可采用直流或交流，如ZX-1 600、BX-1 600等；还可选用弧焊逆变器。

(2) 埋弧焊电源的外特性。埋弧焊时，电弧静特性工作段为水平或上升段，要求其外特性采用缓降特性或平特性曲线。对于等速送丝式埋弧焊机，应采用平特性的焊接电源，适合于细丝时的情况($\phi 1.6 \sim 3\text{mm}$)；而粗丝埋弧焊时，应采用缓降特性的焊接电源。

3. 埋弧焊控制系统

电弧焊的操作过程一般包括引弧、焊接、收尾三个阶

段。埋弧焊的这三个过程都由控制系统完成。此外,在焊接过程中的弧长的波动,都由控制系统来完成。在埋弧焊过程中,弧长的控制方法适用于等速送丝调节系统的电弧自身调节作用和变速送丝时的电弧电压反馈自动调节系统。电弧的自身调节作用是指在焊接过程中,焊丝等速送进,利用焊接电源固有的电特性来调节焊丝熔化速度,而焊丝的熔化速度与焊接电流成正比,而与电弧的长度成反比,从而达到电弧长度保持不变。电弧电压反馈自动调节系统,主要用于变速送丝并匹配缓降特性的电源。用于粗丝埋弧焊。焊丝粗时,电弧自身的调节作用已经无法保证焊接过程的稳定性,必须采用电弧电压反馈的变速送丝式埋弧焊,这种调节电弧长度的方法又称为均匀调节。当弧长波动时,系统通过一个专门的自动调节装置强迫送丝速度发生变化,从而使弧长恢复到原来的长度,保证焊接参数的稳定。

4. 埋弧焊机的型号及技术数据

埋弧焊机的型号及技术数据见表 5-12。

5. 埋弧焊用辅助设备

(1) 焊接操作架。焊接操作架的用途是将焊接机头准确的送到待焊部位,焊接是按照一定的焊接速度沿规定的轨迹移动焊接机头进行的。其基本形式有平台式、悬臂式,龙门式和伸缩式等几种。

(2) 工件变位器。常用的工件变位器有滚轮架、翻转机。常见变位器见表 5-11,典型的滚轮架技术数据见表 5-13。

表 5-11 焊接变位器的型号及技术数据

型号	承载质量(kg)	工作台尺寸(mm)
HBZ 型全位置焊接变位器		
HBZ-3	300	φ400
HBZ-6	600	φ600
HBZ-12	1 200	φ1 500
HBZ-12 II	1 200	φ1 200
HBZ-30	3 000	1 200 × 1 200
HBZ-50	5 000	φ2 000
HBZ-90 II	6 000	φ2 000
HBZ-150	15 000	2 000 × 2 000
ZHB 型自动焊接变位器		
ZHB-3	300	600
ZHB-6	600	1 000
ZHB-12	1 200	1 200
ZHB-30	3 000	1 400
ZHB-50	5 000	1 500
ZHB-100	10 000	2 000

表 5-12 埋弧焊机的型号及技术数据

技术规格 型号	送丝 方式	焊丝直 径(mm)	焊接电 流(A)	送丝速 度(m/h)
MZ-400	等速	162	80 ~ 480	100 ~ 450
MZ-500-1	等速	162	180 ~ 600	100 ~ 450
MZ-1 000	变速	3 ~ 6	400 ~ 1 000	30 ~ 120
MZ-1 250	等速 变速	3 ~ 6	250 ~ 1 250	27.5 ~ 225
MZI-630	等速	2, 2.5, 3	150 ~ 630	80 ~ 200
MZI-1 000	等速	1.65	200 ~ 1 000	87 ~ 672

转速(r/min)	工作台翻转角度(°)
HBZ 型全位置焊接变位器	
0~4	90
0~2	90
0~2	90
0~1.5	135
0~1.5	135
0~1.5	90
0~1.5	90
0~0.4	90
ZHB 型自动焊接变位器	
0.25~6	0~90
0.05~2	0~90
0.04~0.7	0~90
0.05~0.5	0~120
0.05~0.5	0~120
0.01~0.1	0~120

焊接速度(m/h)	电源种类	焊机组成	用途
15~75	直流	焊车、控制箱、焊接电源	对接、搭接、角焊缝、环缝、直缝
	直流	焊车、控制箱、硅整流电源	对接、搭接、角焊缝、环焊缝、直缝
15~75	直流	弧焊整流器	对接、角焊缝、环缝、直缝
15~90	直流	弧焊整流器	对接、角焊缝、搭接的环缝、直缝
15~72	直流	焊车、控制箱、弧焊整流器	气瓶及其他容器的内外纵缝
22.5~187	交、直流	焊车、控制箱、BX ₂ -1 000、ZX-1 000	对接、搭接、角焊缝

技术规格 型号	送丝 方式	焊丝直 径(mm)	焊接电 流(A)	送丝速 度(m/h)
MZ2-1 250	等速 变速	3~5	250~1 250	24~240
MZ2-1 500	等速	3~6	400~1 500	47.5~375
MZ3-1 250A	等速 变速	3~6	250~1250	27~225
MZ3-1 250B	等速 变速	3~6	250~1 250	27~225
MZE-2 × 630	变速	2~4	100~750(交) 200~1 000(直)	25~240
MZE-1 500	变速	2~4	400~1 500	42~300
MZE-2 × 1 500	变速	3~6	400~1 500	42~300
MZE2-1 250	变速	3~6	250~1 250	30~240
MU-2 × 300	变速	16,2	160~300	160~540
MU1-1 000-1	变速	厚:0.4~0.8 宽:30~80	400~1 000	25~100

续表

焊接速度 (m/h)	电源 种类	焊机组成	用途
22.5 ~ 187	交、直流	横臂、控制箱、平陡两用弧焊电源	环缝、直缝
22.5 ~ 187	交、直流	悬挂机头、交直流电源	环缝、直缝
15 ~ 90	直流	机头、滚动拖板、焊缝跳跃装置、控制器,横梁,弧焊整流器	纵缝、环缝、自动跟踪焊接、辊筒类焊接
15 ~ 90	直流	机头,导动十字滑板,滚动拖板,控制器,横梁,弧焊整流器	矩形梁的机械化埋弧焊
15 ~ 90	交、直流	焊车,控制箱,交流电源,直流电源	用于H形钢双丝焊接,对接焊接
18 ~ 90	交、直流	悬挂式机头,控制箱,交流电源、直流电源	螺旋管带钢对焊
18 ~ 90	交、直流	焊车,控制箱,交流电源,直流电源	双丝,焊接大型螺旋管带钢的对接,前丝直流,后丝交流
15 ~ 90	直流	窄间隙机头,焊缝自动跟踪系统,直流电源	可焊厚度30 ~ 300mm, V形坡口,可焊长度4 000mm
32.5 ~ 58.3	直流	焊车,控制箱,直流电源	双丝堆焊
12.5 ~ 58	直流	焊车,控制箱,直流电源	带极堆焊

表 5-13

型号	GJ-5	GJ-10	GJ-20	GJ-50	GJ-100
最大承载能力(kg)	5 000	10 000	20 000	50 000	100 000
工作直径范围(mm)	600 ~ 2 500	800 ~ 3 900	800 ~ 4 000	800 ~ 3 500	800 ~ 4 000
滚轮表面线速度(m/h)	10 ~ 100	9.6 ~ 96	6 ~ 60	9.6 ~ 96	8 ~ 80

三、氩弧焊设备

氩弧焊是以氩气作为保护气体的一种气体保护焊方法。按所使用的电极不同可分为非熔化极氩弧焊(TIG 焊)和熔化极氩弧焊。

1. 钨极氩弧焊设备

钨极氩弧焊设备主要有焊接电源、焊炬、供气系统、供水系统及焊接控制装置等。

(1) 电源。钨极氩弧焊所使用的焊接电源有交流、直流和脉冲电源。一般根据被焊材料来选择,采用直流电源时还有正接和反接的问题。见表 5-14。

(2) 钨极氩弧焊机。按焊接电源的性质分有直流氩弧焊机、交流氩弧焊机、脉冲氩弧焊机,焊接电源必须具有下降的外特性,交流氩弧焊机必须配有消除直流分量的装置和采用高频振荡器或高频脉冲稳弧器引弧装置。其主要焊机型号及主要技术数据见表 5-15 至表 5-22。

表 5-14 被焊材料(焊件)与电源类别和极性的选择

被焊材料	直流正接	直流反接	交流
铝及铝合金	最差	良好	最佳
铝青铜、铍青铜			
铸铝			
黄铜、铜基合金	最佳	最差	良好
无氧铜	最佳		最差
铸铁			最佳
异种金属			良好
合金钢堆焊	最佳		
高碳钢、低合金钢、低碳钢	良好		
镁及其合金、镁铸件	最差		良好
高合金、镍及其合金、不锈钢	最佳	最差	良好
钛及钛合金			
银			

表 5-15 手工钨极直流氩弧焊机型号及技术参数

型号	WS-250
输入电源(V/Hz)	380/50
额定输入容量(kV·A)	18
电流调节范围(A)	25 ~ 250
负载持续率(%)	60
工作电压(V)	11 ~ 22
电流衰减时间(s)	3 ~ 10
滞后停气时间(s)	4 ~ 8
冷却水流量(L/min)	>1
外形尺寸(l×b×h)(mm)	690 × 500 × 1 140
质量(kg)	260

用途

表 5-16 交直流手工钨极氩弧焊机型号及技术参数

型号	WSE-150	
电源电压(V)	380	
相数(N)	1	
频率(Hz)	50	
空载电压(V)	82	
工作电压(V)	16	
额定初级电流(A)	40	
电流调节范围(A)	15 ~ 180	
连续焊接电流(A)	96	
额定负载持续率(%)	35	
质量(kg)	焊接电源	150
	控制箱	42
	焊枪	0.3 ~ 0.4

WS-300	WS-400
380/50	380/50
22.6	30
30~340	60~450
60	60
11~23	13~28
3~10	3~10
4~8	4~8
>1	>1
690×500×1140	740×540×1180
270	350
碳钢、不锈钢、铜、银、钛等金属的焊接	

WSE-250	WSE-400
380	380
1	1
50	50
70(直流)/85(交流)	70
11~20	12~28
额定容量 22kVA	-
25~250	50~450
-	-
60	60
230	250
-	-
-	-

型号		WSE-150
钨极直径(mm)		0.8 ~ 3
外形尺寸 (l × b × h) (mm)	焊接电源	654 × 466 × 722
	控制箱	580 × 422 × 430
	焊枪	235 × 30 × 150
用途		0.5 ~ 3mm 厚的不锈钢、铝等焊接

表 5-17 手工交流钨极氩弧焊机型号及技术参数

型号	WSJ-150	WSJ-300
额定焊接电流(A)	150	300
电流调节范围(A)	30 ~ 150	50 ~ 300
额定负载持续率(%)	35	60
空载电压(V)	80	80
电源电压(V)	380/220	380
电源频率(Hz)	50	50
相数(N)	1	1
额定容量(kV · A)	8	
额定工作电压(V)		22
用途	电冰箱铝蒸发器板、铝管接头和薄铝板及其合金的焊接	焊接各种铝及其合金,控制箱可配置直流电源则为直流氩弧焊机

续表

WSE-250	WSE-400
-	1-8
810 × 620 × 1 020	560 × 500 × 1 000
-	-
-	-
1 ~ 6mm 厚铝及铝合金, 1 ~ 12mm 厚的不锈钢等氩弧焊 及 $\phi 2 \sim 5$ mm 焊条电弧焊	铝、镁及其合金、不锈钢、 铜、钛等耐高温金属的焊接
WSJ-400-1	WSJ-500
400	500
50 ~ 400	50 ~ 500
60	60
80 ~ 88	80 ~ 88
380	220/380
50	50
1	1
26	30
铝及其合金的焊接,其焊接 电源为:BX3-400-3	铝及其合金的焊接,焊 接电源为:BX3-500-2

表 5-18 半导体管脉冲直流钨极氩弧焊机型号及技术数据

型号	WSM-40	WSM-63
空载电压(V)	28	50
额定工作电压(V)	11.6	-
负载持续率(%)	60	60
额定输入容量(kVA)	1.1	-
初级电压(V)	380	220
电流衰减时间(s)	0~3	1.5~10
脉冲频率(Hz)	0.5~15	0.5, 1.2, 4, 10, 20
脉冲幅值(A)	4~40	4~63
脉冲占空比(%)	20~80	30~70
用途	超薄件的焊接, 不锈钢等的焊接	厚度为 1.5mm 以下 薄件的焊接

表 5-19 脉冲钨极氩弧焊机的型号及技术数据

型号	WSM-160	WSM-200
额定负载持续率(%)	60	60
电流调节范围(A)	10~160	10~200
空载电压(V)	90	78
电源电压(V)	380	380
相数(N)	三相4线	3
额定输入电流(A)	13	-
额定输入容量(kV·A)	8.6	8.4
钨极直径(mm)	1~2.5	1.0~3.0
电流衰减时间(s)	0.1~15	0.5~20
用途	不锈钢、 铜、银等的焊 接	合金钢、不锈钢、铝 等的焊接

WSM-120	WSM5-10
28	50
14.8	-
60	60
3	-
380	220
0~3	-
0.5~10	2~20
12~120	4~40
20~80	-
超薄件的焊接(如不锈钢等)	1mm 以下不锈钢的焊接

WSM-250	WSM-400	WSM-500
60	60	60
25~250	25~400	25~500
55	60	78
380	380	380
3	3	3
-	-	-
14	24	21.5
1.6~4	-	1.0~5
0~15	1~15	0.5~50
不锈钢、铜等的焊接	高强度合金钢、铜、铝等的焊接	合金钢、不锈钢、铝等的焊接

表 5-20 交直流脉冲钨极氩弧焊机型号及技术数据

型号		WSEM-300	WSEM-315
工作电压 (V)	钨极氩弧焊	10 ~ 22	10 ~ 22.6
	焊条电弧焊	20 ~ 32	20 ~ 32.6
电流调节 范围(A)	直流	5 ~ 300	5 ~ 315
	交流	20 ~ 300	20 ~ 315
电源电压及相数(V/N)		380/1	380/1
脉冲频率(Hz)		0.5 ~ 10	0.5 ~ 10
电弧点焊时间(s)		0.5 ~ 5	0.5 ~ 5
脉冲占空比(%)		15 ~ 85	15 ~ 85
输入容量(kV · A)		26	-
额定负载持续率(%)		60	60
用途		用于交直流钨极氩弧焊、氩弧点焊、脉冲焊、焊条电弧焊	

表 5-21 直流自动钨极氩弧焊机型号及技术数据

型号	WZ-500	WZ2-300-1	WZE-300
电流调节范围(A)	25 ~ 500	35 ~ 300	
额定负载持续率 (%)	60	-	60
空载电压(V)	70	-	60 ~ 80
电源电压(V)	380 (三相4线)	380(3N)	380
电流预热时间(s)	0 ~ 30	-	-
电流衰减时间(s)	0 ~ 20	-	-
焊接速度(m/min)	0 ~ 1.7	0.1 ~ 1	0.1 ~ 12
送丝速度(m/min)	0 ~ 17.4	0.1 ~ 1	0.2 ~ 24

续表

型号	WZ-500	WZ2-300-1	WZE-300
焊丝直径(mm)	0.8~1.2	1~2	0.8~2
钨极直径(mm)	3~5	1~6	2~6
可焊焊件直径(mm)	-	2 000	-
悬臂伸出长度(mm)	-	3 500	-
悬臂垂直行程(mm)	-	1 000	-
焊接厚度(mm)	0.8~3	0.3~1.0	6~12
最大焊接电流(A)	140	160	400
用途	自动手工点焊	悬臂式	交、直流两用
说明	黑色金属薄板结构氩弧点焊	薄板对接高频脉冲氩弧焊,可焊工件宽度为1m	φ38~76mm管道对接,采用热丝,用PC控制

表 5-22 脉冲自动钨极氩弧焊机全位置焊管机的型号及技术数据

型号	WZM1-250	WZM3-250	WZM1-250-1
电流调节范围(A)	20~250	20~300	20~300
负载持续率(%)	60	60	60
空载电压(V)	90	90	90
电源电压(V)	380 三相4线	380 三相4线	380 三相4线
预热时间调节范围(s)	>12	>12	-
电流衰减时间(s)	>19	>19	1~19
脉冲频率(Hz)	0.4~5	0.4~5	0.4~5

续表

型号	WZM1-250	WZM3-250	WZM1-250-1
焊丝直径(mm)	0.8	-	-
送丝速度(m/min)	0.4~1.5	-	0.25~1.5
最小管壁间距	40	-	54
用途	φ30 ~ 45mm, 壁厚 1~5mm 管道对接, 也可作手工 TIG 焊机	各种不锈钢圆管或圆罐的焊接	φ32~80mm 不锈钢等管道的焊接

(3) 焊枪。钨极氩弧焊焊枪结构见图 5-8。

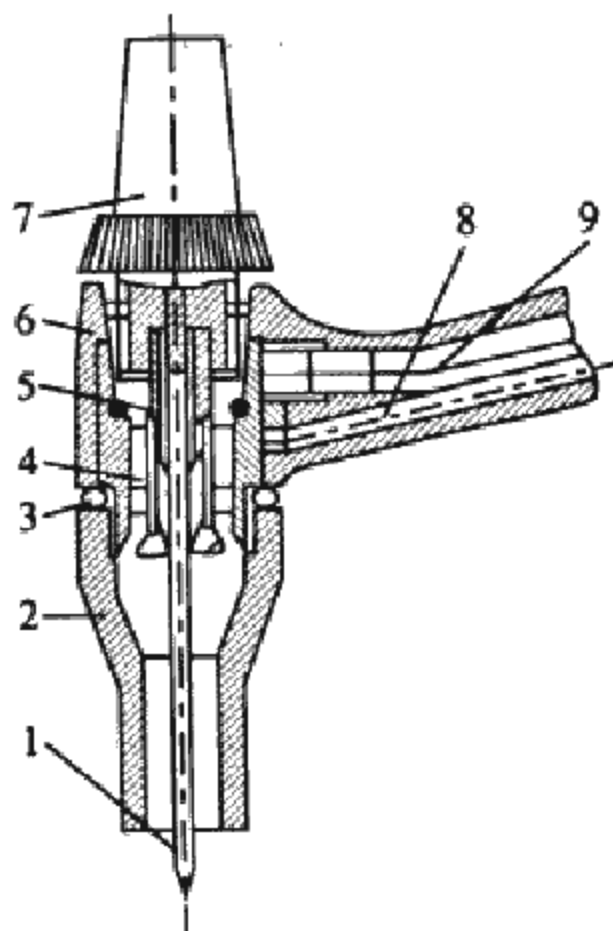


图 5-8 PQI-150 型焊枪结构

- 1-钨极 2-喷嘴 3-密封 4-轧头套管
 5-钨极轧头 6-枪体 7-绝缘帽
 8-进气管 9-冷却水管

1) 常用钨极氩弧焊焊枪型号及主要技术数据 见表 5-23。

2) 喷嘴 喷嘴的结构形状与尺寸对喷出气体的流态及保护效果有很大的影响,圆柱形喷嘴保护效果最好,收敛形喷嘴次之,但收敛形喷嘴的电弧可见度高,便于操作,应用较为普遍。喷嘴的规格有 $\phi 6.3\text{mm}$, $\phi 8\text{mm}$, $\phi 9.6\text{mm}$, $\phi 11\text{mm}$, $\phi 12.6\text{mm}$, 焊接时根据被焊材料及保护范围来选择。

(4) 供气系统。供气系统由氩气瓶、减压器及流量计、气管、电磁气阀及焊枪进气管等组成。如图 5-9 所示。

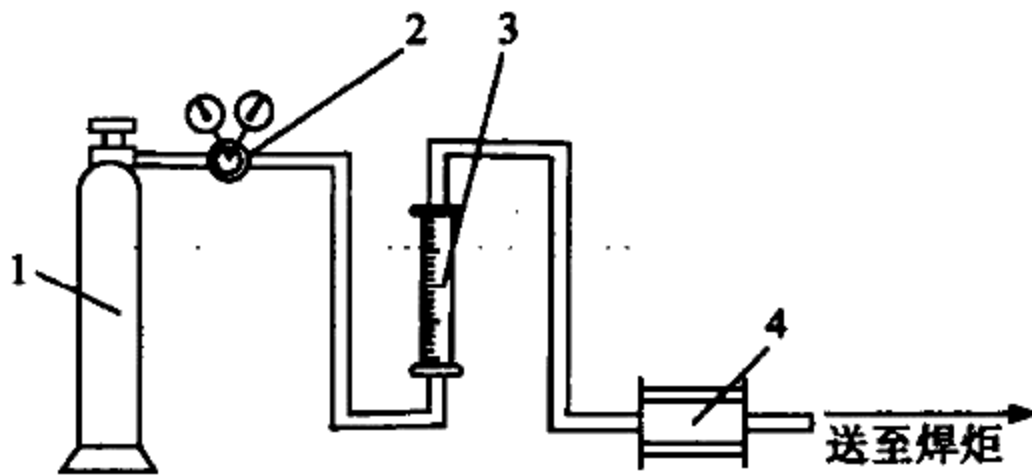


图 5-9 氩弧焊供气系统

1-氩气瓶 2-减压器 3-流量计 4-电磁气阀

(5) 供水系统。有些钨极氩弧焊机内部的电子元件需要用水冷却,循环水冷却式焊枪也需要用水冷却。供水系统包括水源、闸阀、输水管、水流开关、焊枪进水管及出水管等。

(6) 焊接控制系统。用来控制焊件转动、压紧、行走等的装置,一般用于机械化钨极氩弧焊。

2. 熔化极氩弧焊设备

熔化极氩弧焊设备主要包括焊机和送丝系统。

(1) 熔化极氩弧焊焊机型号及技术数据。见表 5-24 和表 5-25。

表 5-23 常用钨极氩弧焊焊枪型号及技术数据

型号	出气角度	开关形式
自冷式		
QQ-0/10	0	微动
QQ-65/75	65	微动
QQ-0~90/75	0~90	按钮
QQ-85/100	85	船形
QQ-0~90/150	0~90	按钮
QQ-85/200	85	船形
水冷式		
PQ1-150	65	推键
PQ1-350	75	推键
PQ1-500	75	推键
QS-0/150	0	按钮
QS-65/200	65	按钮
QS-85/250	85	船形
QS-65/300	65	按钮
QS-75/400	75	推键

额定焊接电流 (A)	钨极尺寸(mm)		质量(kg)
	长度	直径	
自冷式			
10	100	11.6	0.08
75	40	11.6	0.09
75	70	1.22	0.15
100	160	1.62	0.2
150	110	1.63	0.15
200	150	1.63	0.26
水冷式			
150	110	1.63	0.13
350	150	35	0.3
500	180	46	0.45
150	90	1.6-2.5	0.14
200	90	1.6-2.5	0.11
250	160	24	0.26
300	160	35	0.26
400	150	35	0.40

表 5-24 半机械化熔化极氩弧焊机型号及技术数据

型号	NB-250
电源电压(V)	380
相数(N)	3
输入容量((kV·A)	13.2
空载电压调节范围(V)	18~42
额定负载持续率(%)	60
焊接电流范围(A)	35~250
工作电压(V)	16~25
冷却方式	强迫风冷
适用焊丝直径(mm)	0.8~1.2
配用控制箱型号	E5
基值电流(A)	-
脉冲电流(A)	-

表 5-25 自动熔化极氩弧焊机型号及技术数据

型号	NZ3-350	NZ2-500
电源电压(V)	380±38	380
电流调节范围(A)	50~350	-
相数(N)	3	3
空载电压(V)	57	-
工作电压(V)	15~36	20~40
送丝速度(m/min)	1.5~15	-
焊接速度(m/min)	0~4	0.5~1.5
输入容量(kV·A)	18.6	34
额定负载持续率(%)	50	-
脉冲频率(Hz)	-	-
脉冲工作电压(V)	-	-
用途	适用于 $\phi 0.8$ ~1.6mm 的焊丝	车辆合成专用机 械化焊机

NB-400	NB-630	NBA2-200
380	380	380
3	3	3
24	36	15
17 ~ 48	24 ~ 70	75
60	60	60
50 ~ 400	100 ~ 630	10 ~ 200
16.5 ~ 34	19 ~ 44	30
强迫风冷		
0.8 ~ 1.6	1.0 ~ 2.0	1.4 ~ 2.0
E6/1	E6/1	-
-	-	10 ~ 80
-	-	10 ~ 200
NZA20-200	NZA24-200	
380	-	
-	-	
-	-	
75	70	
30	-	
1 ~ 14	1.6 ~ 16	
0.1 ~ 1.0	0.1 ~ 1.4	
-	-	
60	100	
50, 100	25, 50, 100	
20 ~ 40	15 ~ 40	
脉冲 MIG 焊机, 焊接 铝及其合金、不锈钢等	焊接耐高温合金化学性质活泼 金属、不锈钢等	

对熔化极氩弧焊机的要求 电源应具有平外特性、缓降外特性的恒流外特性。熔化极氩弧焊一般采用直流电源。

(2) 半自动 MIG 焊机的送丝系统。这种系统在使用中要注意以下问题:

1) 送丝方式

①推丝式:是最广泛的一种送丝方式,焊枪结构简单轻便,操作及维修也方便。但焊丝的送丝软管不能太长,否则阻力较大,一般为 2 ~ 5m。

②拉丝式:此方法又可分为两种形式。一种是焊丝盘和焊枪分开,两者用送丝软管相联系,在焊枪上装有拉丝电机;另一种是将焊丝盘直接装在焊枪上,省去送丝软管,适于细焊丝,具有良好的送丝稳定性。但焊枪重量增加,操作者劳动强度增大。

③推拉丝式:送丝软管可加长到 15m,在焊枪上装有微

表 5-26 常用自动 CO₂ 焊机型号及技术数据

型号	NZC-400	NZC-630
相数(N)	3	3
电源电压(V)	380	380
空载电压(V)	20 ~ 64	80
工作电压(V)	18 ~ 38	20.5 ~ 44
电流调节范围(A)	80 ~ 400	125 ~ 630
小车行走速度(m/h)	1.8 ~ 16.8	24 ~ 102
焊丝直径(mm)	0.2 ~ 2.8	1.2 ~ 2
额定负载持续率(%)	60	60
额定容量(kV·A)	-	51
用途	适用于高炉转炉、热风炉、油罐、大口径管道等圆柱形容器及中小型板标材的焊接	适用于低碳钢、低合金钢中厚板材的对接、角接 CO ₂ 自动焊

型电动机作为拉丝动力,在焊丝盘上装有推丝电动机作为送丝主要动力,两电机应配合和同步。

2)影响送丝稳定性的因素 软管内径过大或过小都会使送丝阻力增大。软管材料的摩擦系数应越小越好。软管平直,送丝阻力小,在操作中应尽可能减少软管的弯曲。焊丝如有局部弯曲,阻力会增大。

四、CO₂ 气体保护焊设备

1. 概述

CO₂ 气体保护焊设备可分为自动 CO₂ 气体保护焊和半自动 CO₂ 气体保护焊,自动焊时焊接由焊车操作,半自动焊时焊接由手工操作,送丝由机械系统完成。常见自动及半自动 CO₂ 气体保护焊机型号和技术数据见表 5-26 和表 5-27。

NZC-1000	NZC-500-1	NZC3-250
3	3	3
380	380	380
70 ~ 90	70 ~ 90	-
30 ~ 50	-	26.7
200 ~ 1 000	500	250
10 ~ 180	18 ~ 120	0 ~ 126
3 ~ 5	1 ~ 2	0.8 ~ 1.2
60	60	60
100	34	-
适用于低碳钢、低合金钢的对接、角接 CO ₂ 自动焊	适用于低碳钢、低合金钢的对接、角接	适用于低碳钢、低合金钢等 1mm 以下薄板筒形容器 CO ₂ 自动焊

表 5-27 常用半自动 CO₂ 气保护焊机型号及技术数据

项目 型号	电源电 压(V)	空载电 压(V)	工作电 压(V)	电流调节 范围(A)	焊丝直 径(mm)
NBC-160	三相 380V	18 ~ 39	16 ~ 22	32 ~ 160	0.6, 0.8, 1.0
NBC-200	三相 380V	19.5 ~ 30	17 ~ 24	40 ~ 200	0.5, 0.8, 1.0
NBC-250	三相 380V	-	17 ~ 27	50 ~ 250	0.8, 1.0, 1.2
NBC-300	三相 380V	-	17 ~ 30	60 ~ 300	1.0, 1.2, 1.4
NBC-315	三相 380V	55 ~ 60	17 ~ 37	63 ~ 350	1.0, 1.2
NBC-400	三相 380V	21 ~ 49	18 ~ 34	80 ~ 400	1.0, 1.2, 1.6
NBC-500	三相 380V	60 ~ 70	18 ~ 45	100 ~ 500	1.2, 1.6
NBC-500-1	三相 380V	75	20 ~ 40	100 ~ 500	1.2, 2
NBC-630	三相 380V	24 ~ 85	19 ~ 44	110 ~ 630	1.2, 2

2. CO₂ 气体保护焊接设备组成

CO₂ 气体保护焊接设备由焊接电源、供气系统、送丝系统、焊枪和控制系统组成。

(1) 焊接电源。采用直流电源,且一般采用反接。电源的外特性大多采用平硬外特性,原因是 CO₂ 气体保护焊的

送丝速度 (m/h)	额定负载持 续率(%)	可焊厚度 (mm)	用途
120 ~ 540	60	>1	用于 1mm 低碳钢低合金钢的焊接
90 ~ 540	60	0.6 ~ 4	用于低碳钢、低合金钢进行全位置焊接
120 ~ 720	60	-	用于低碳钢、低合金钢等结构进行全位置焊接
102 ~ 1 020	60	0.8 ~ 8	用于机械、兵器、铁道、汽车、水利、煤炭等行业设备的焊接
60 ~ 960	60	2 ~ 25	用于低碳钢低合金钢的焊接
80 ~ 400	60	>1	一元化调节,用于低碳钢低合金钢的焊接
100 ~ 500	60	>3	低碳钢、低合金钢
100 ~ 500	60	>3	焊接低碳钢、低合金钢等
110 ~ 630	60	-	用于中厚板的低碳钢和低合金钢焊接

电弧静特性是上升的,采用平硬外特性具有电弧自身调节作用强,引弧容易,调节参数方便,电弧电压不受焊丝伸出长度的影响等优点。有时也可以用电弧电压调节式焊机配下降外特性电源。

(2) 供气系统。 CO_2 气体保护焊的供气系统和氩弧焊

的不同之处是气路中一般要接入预热器和干燥器。供气系统的作用是将保存在钢瓶中呈液态的 CO_2 在需用时变成有一定流量的气态 CO_2 。其系统示意图见图 5-10。不过在现在的系统里,流量计、干燥器和预热器都做成一体了。

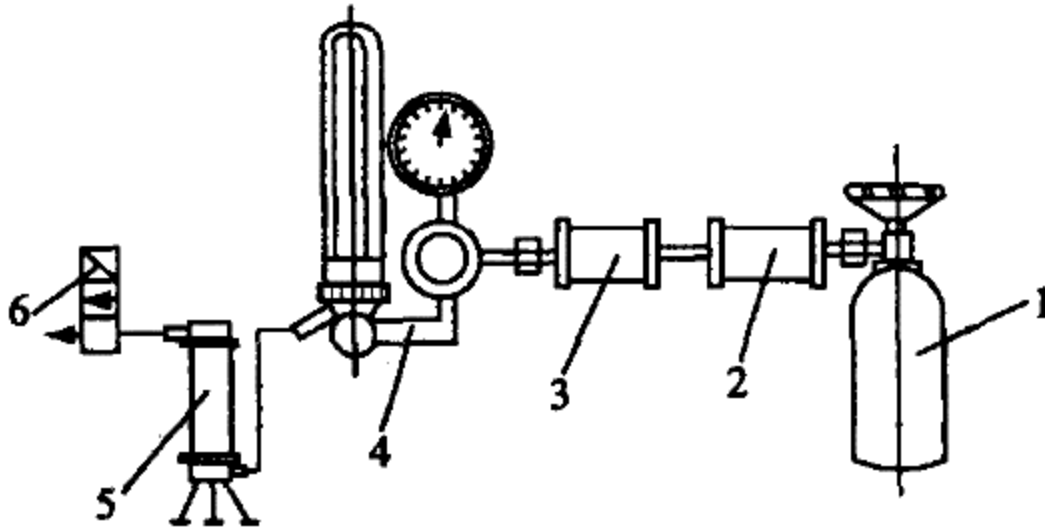


图 5-10 供气系统示意图

1- CO_2 气瓶 2-干燥器 3-预热器
4-减压器和流量计 5-电磁气阀

1) 预热器 焊接过程中 CO_2 气瓶内液态 CO_2 不断地气化成 CO_2 气体,要吸收大量的热量。气瓶内的 CO_2 气体是高压的,经减压阀减压后 CO_2 气体体积膨胀也会吸收热量。为防止 CO_2 气体中的水分在气瓶出口处及减压表中结冰,堵塞气路,在减压之前要将 CO_2 气体通过预热器进行预热。预热器的结构较简单,一般采用电阻丝加热,套有绝缘瓷管的电阻丝绕在蛇形紫铜管的外围,电阻丝两端接上 36V 交流电,功率为 100 ~ 150W。

2) 干燥器 由于气体中含有一定量的水分,为了防止气孔和减少焊缝金属中的 H_2 含量,可在气路中装高压干燥器(在减压阀之前)和低压干燥器(在减压阀之后)。一般情况下气路中只接高压干燥器。

(3) 送丝系统。是焊机的重要组成部分,要维持并保证送丝均匀和平稳。常用的方式有三种:推拉式、拉丝式、推丝式。

送丝机构包括电动机、减速器、送丝滚轮及压紧机构等。通常把送丝机构的焊丝盘组装成一体,形成小车式、手提式或悬挂式送丝机构。

电动机常采用 30 ~ 80W 的微型电动机,进行无级调速。

送丝滚轮直径一般为 30 ~ 40mm,表面硬度一般为 50 ~ 65HRC,在滚轮表面上开有 2 条不同规格的沟槽,以便调换使用 2 种不同直径的焊丝。

送丝软管一般采用 65Mn 弹簧钢或不锈钢绕制而成的螺旋式弹簧管,其外面用多股细弹簧丝加固,对于不同直径的焊丝,应选择合适的软管内径,软管内径一般为焊丝直径的 1.5 ~ 2 倍。另外,也能用尼龙或聚四氟乙烯作送丝软管。

(4) 焊枪。按送丝方式分为推丝式和拉丝式两种,按焊丝直径可分为细丝和粗丝两种,按冷却方式可分为水冷式和气冷式。喷嘴孔径在 12 ~ 25mm 之间,为圆柱形,紫铜材料。

导电嘴的孔径及长度与焊接质量密切相关。孔径太小,焊丝送不出来。较小,送丝阻力增大;而孔径过大,焊丝在孔内位置不固定,一般根据焊丝直径选择导电嘴孔径:当焊丝直径小于 1.6mm 时,导电嘴孔径为焊丝直径 + 0.1 ~ 0.3mm;当焊丝直径大于 1.6mm 时,导电嘴的孔径为焊丝直径 + 0.4 ~ 0.6mm。导电嘴的长度:粗丝为 35mm,细丝为 25mm 左右。

(5) 控制系统。主要完成对送丝系统、供气系统和焊接电源的控制,以及对焊件运转或焊接机头行走的控制。可完成提前送气,接通后的先送电后送丝,焊接过程中的均匀送丝送气及收弧时的先停丝后停电,滞后停气等动作。

3. 典型半自动 CO₂ 气保护焊机的安装及使用

典型半自动 CO₂ 气保护焊机的工作接线图如图 5-11 所示:

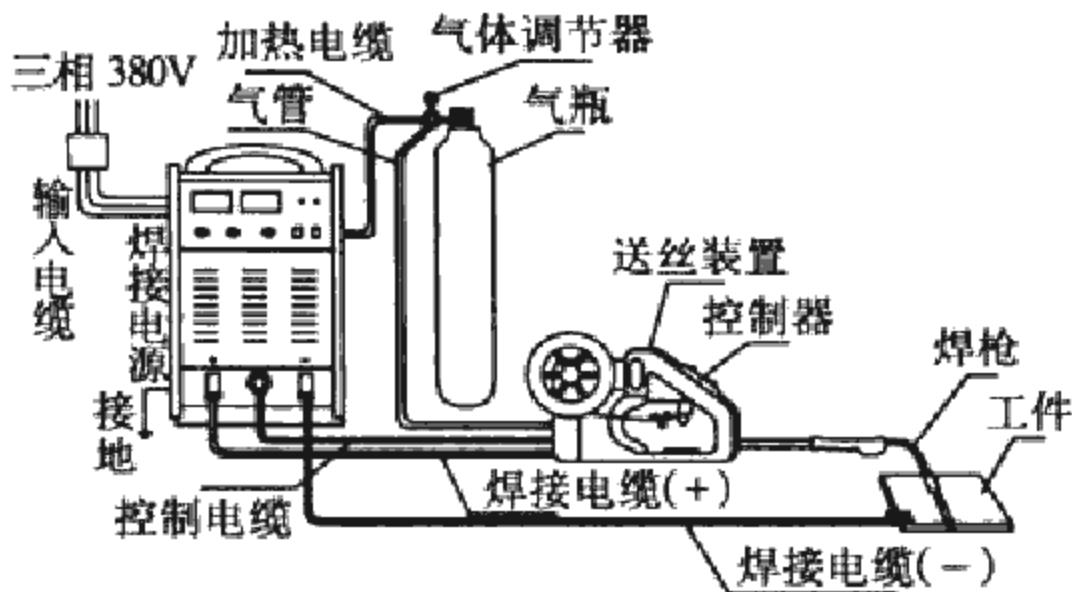


图 5-11 典型半自动 CO₂气保护焊机的工作接线图

(1) 接线操作程序

- 1) 步骤一 用焊接电缆连接焊机接线端子(-)与被焊工件。
- 2) 步骤二 送丝机焊接电缆连接焊机接线端子(+)
- 3) 步骤三 送丝机控制电缆连接焊机的控制插座。
- 4) 步骤四 送丝机气管连接 CO₂ 气体调节器。

表 5-28 半自动 CO₂ 气保护焊机常见故障现象、原因及排除方法

序号	现象
1	开机后,指示灯不亮
2	接通焊机电源后,焊机后面板上的空开立即自动断电
3	焊接过程中,焊机后面板上的空开自动断电

5) 步骤五 气体调节器的加热电缆接至焊机后面板加热电源输出插座。

6) 步骤六 将输入三相电缆接在配电板上,地线可靠接地。

7) 步骤七 合上焊机后面板上的自动空气开关。

(2) 设备使用。合上配电板上的自动空气开关,焊机工件指示灯亮,风机按规定转向转动。按下手动送丝按钮,焊丝快速送出。根据使用要求设置控制器及前面板上的旋钮和开关位置。按下焊枪开关时送丝机转动送丝,有 CO₂ 气体从焊枪嘴处流出,可进行正常焊接。

(3) 焊机的定期检查及保养。每 3 至 6 个月由专业维修人员用压缩空气为焊接电源除尘一次,同时检查机内有无紧固件松动现象。

经常检查电缆是否破损,调节旋钮是否松动,面板上元件是否损坏。

导电嘴和送丝轮应及时更换,经常清理送丝软管。

(4) 常见故障现象、原因及排除方法。半自动 CO₂ 气保护焊机常见故障现象、原因及排除方法,见表 5-28。

原因	措 施
①电源缺相 ②后面板上的自动空气开关损坏 ③保险丝断	①检查电源 ②更换空气开关 ③更换保险丝
①自动空气开关失效 ②IGBT 模块损坏 ③三相整流桥损坏 ④压敏电阻损坏 ⑤焊机控制板损坏	①更换空气开关 ②更换 IGBT 模块,同时更换驱动电路板 ③更换三相整流桥 ④更换压敏电阻 ⑤更换焊机控制板
①长期过载运行 ②空气开关损坏	①按焊机负载持续率使用 ②更换空气开关

序号	现象
4	焊接电流大小不能调节
5	电弧不稳定,飞溅大
6	CO ₂ 气体调节器不加热
7	按住焊枪开关,送丝正常,但气路不通
8	按住焊枪开关,送丝机不工作,也无空载电压显示

五、等离子弧焊设备

等离子弧是一种依靠水冷喷嘴的外部拘束条件,使弧柱受到强烈的压缩作用,而产生的一种高能量密度的压缩电弧。等离子弧的产生,要受到特定的三大压缩作用,即机械压缩、热收缩和电磁收缩作用。因此,其弧柱的截面积很小,一般小于 3mm^2 ,弧柱中心温度可达 $18\ 000 \sim 24\ 000\text{K}$ 。此外还具有电弧挺度高,冲刷力强的特点。

等离子弧可用于焊接和切割,其设备可从两种不同的角度进行分类:等离子弧焊按操作方式可分为手工和自动

续表

原因	措 施
①送丝机控制电缆断或控制器坏 ②焊机控制电路板坏 ③焊机内分流器两端的导线断	①更换送丝机控制电缆断或控制器 ②更换控制板 ③将断线接好
①焊接规范不对 ②导电嘴磨损严重	①细调焊接规范 ②更换导电嘴
①CO ₂ 气体调节器损坏 ②加热电缆断或短路 ③加热电源热敏电阻坏	①更换 CO ₂ 气体调节器 ②修复加热电缆 ③更换热敏电阻
①控制电路板损坏 ②电磁阀损坏	①更换控制电路板 ②更换电磁气阀
①焊枪开关损坏 ②送丝机控制电缆断 ③控制电路板坏	①更换焊枪 ②修复送丝机控制电缆 ③更换控制电路板

焊;按焊接电流的大小可分为大电流等离子弧焊焊接设备和微束等离子弧焊。而切割常用的自动切割。

等离子弧焊手工焊设备包括焊接电源、焊枪、控制电路、等离子弧引燃装置、气路及水路等;自动焊设备还包括有焊接小车及转动夹具。

1. 焊接电源

具有下降或垂降外特性的电源均可作为等离子弧焊接电源。国产等离子弧焊机的型号及技术参数见表 5-29、及表 5-30。

表 5-29 大电流等离子弧焊机的型号及技术数据

焊机型号	LH3-63	LH3-100	LHJ8-160
焊机名称	自动等离子弧焊机	自动等离子弧焊机	手工交流等离子弧焊机
电流调节范围(A)	10 ~ 63	10 ~ 110	15 ~ 200
脉冲电流(A)	-	-	-
维弧电流(A)	3	3	-
空载电压(V)	135	140, 100	150, 80, 110
脉冲频率(Hz)	-	-	-
负载持续率(%)	-	-	60
钨钨电极直径(mm)	-	-	-
一次焊接厚度(mm)	0.2 ~ 2.4	0.3 ~ 2.5	-
自动小车速(m/h)	-	-	-
填充丝直径(mm)	-	-	-
填充丝输送速度(m/h)	-	-	-
离子气耗量(L/h)	72 ~ 120	16 ~ 160	100 ~ 800
保护气耗量(L/h)	900 ~ 1 500	100 ~ 1 000	100 ~ 800
提前送气时间(s)	-	3 ~ 5	0.2 ~ 10
滞后停气时间(s)	-	5	2 ~ 15
冷却水耗量(L/h)	60	60	180
焊接预热时间(s)	-	-	-
离子气衰减时间(s)	-	-	-
配置焊接电源	型号	-	BX1-160
	电压(V)	380	380
	相数(N)	3	3
	控制箱电压(V)	-	-

LH-300	LH-315	LHMZ-315
自动等离子弧焊机	自动等离子弧焊接、切割机	脉冲等离子弧焊机
60 ~ 300	40 ~ 360	50 ~ 600
-	-	30 ~ 550
-	-	30 ~ 330
70	70	-
-	-	0.5 ~ 15
60	60	-
2 ~ 4.5	2 ~ 5	-
1 ~ 8	2.5 ~ 8	1 ~ 8
7.8 ~ 100	6 ~ 120	-
0.8 ~ 1.2	0.8 ~ 1.2	-
20 ~ 180	25 ~ 200	-
7 400	-	-
1 600	-	-
2 ~ 4	-	-
8 ~ 16	-	-
300	240	-
0.25 ~ 5	-	-
1 ~ 15	-	-
ZXG-300	ZX-315	-
380	380	380
3	1	-
220	220	-

焊机型号	LH3-63	LH3-100	LHJ8-160
说明	用于放射源包壳的不锈钢环缝的焊接,其他难熔材料的焊接	可焊不锈钢、高强度钢、耐热合金钢、钛合金及钨、钼难熔金属	可焊接各种高强铝合金及各种铝材,单面焊双面成型

表 5-30 微束等离子弧焊机的型号及技术参数

型号		LH-6
电流调节范围(A)	焊接	0.5 ~ 6
	维弧	1.8
空载电压(V)	焊接	176
空载电压(V)	维弧	176
焊接厚度(mm)		0.08 ~ 0.3
电源电压(V)		380
相数(N)		3
负载持续率(%)		-
电源功率(kV · A)		1.1
离子气耗量(L/h)		-
保护气耗量(L/h)		-
提前送气时间(s)		-
滞后停气时间(s)		-
电流衰减时间(s)		-
冷却水耗量(L/h)		15

续表

LH-300	LH-315	LHMZ-315
可焊接不锈钢、高强度钢、耐热合金钢、钛合金及难熔金属	用来点固焊接及切割不锈钢、耐热钢、钛合金、硅钢、铜合金	不开坡口一次焊透 1 ~ 8mm, 单面焊双面成型

WLH-10	LH-16A	LH-20	LH-30
0.5 ~ 10	0.6 ~ 16	0.1 ~ 20	1 ~ 30
1.5 ~ 2	1.5	3	2
DC 90	60	120	75
AC 100 DC 90	95	100	135
0.05 ~ 1.1	0.1 ~ 1	0.1 ~ 1	0.1 ~ 1
220	220	220	380
1	1	1	3
60	60	-	60
1.5	-	-	2.82
6 ~ 30	-	60	60
30 ~ 240	-	600	600
-	-	-	1
5	-	-	5
-	-	-	36
-	60	30	30

当采用纯氩或含氢量小于的 $\text{Ar} + \text{H}_2$ 混合气体作等离子气时,电源空载电压为 $65 \sim 80\text{V}$,采用纯氩或含氢量大于的 $\text{Ar} + \text{H}_2$ 混合气体时,为保证引弧,应选用较高的空载电压。

2. 焊枪

是等离子弧焊时,产生等离子弧并用来进行焊接的重要装置,也叫等离子弧发生器。

(1)对焊枪的基本要求。能固定喷嘴与钨极的相对位置,并能进行调节,对钨电极和喷嘴应能进行有效地冷却;喷嘴与钨极之间要绝缘,以便在钨极和喷嘴之间产生非转移弧;便于加工和装配,特别是喷嘴宜更换;能导入离子气和保护气;尽可能轻巧。

(2)焊枪结构。由上枪体、下枪体和喷嘴三部分组成。上枪体的作用是固定电极、冷却电极、导电和调节钨极内缩长度等。下枪体的作用是固喷嘴和保护罩,对下枪体和喷嘴进行冷却,输送离子气和保护气,并与焊接电源的正极接通。上下枪体之间要绝缘可靠,气密性好,同轴度高。

(3)喷嘴。喷嘴是焊枪中的关键零件,它的作用是导电产生非转移弧和对电弧起压缩作用。喷嘴的主要参数有喷嘴孔径 d (决定等离子弧直径的大小,由电流和等离子气流量决定)、喷嘴孔长度 l 、锥角 α 。表 5-31 和表 5-32 给出了孔径与焊接电流之间的对应关系和喷嘴的主要结构参数。

表 5-31 喷嘴孔径与焊接电流之间的关系

孔径 (mm)	0.6	0.8	1.2	1.4	2.0	2.5	2.8	3.0	3.5
电流 (A)	~5	1 ~ 25	20 ~ 60	30 ~ 70	40 ~ 100	~140	~180	~210	~300

表 5-32 喷嘴的主要结构参数

孔径 d (mm)	孔道比(l/d)	锥角 α (°)	等离子弧类型
0.6 ~ 1.2	2.0 ~ 6.0	25 ~ 45	混合型弧
1.6 ~ 3.5	1.0 ~ 1.2	60 ~ 90	转移型弧

喷嘴采用导热良好的紫铜制成。大功率喷嘴必须采用直接水冷,并保证有足够的压力和水流量。为提高冷却效果,喷嘴壁厚不超过 2mm,一般大功率的紫铜喷嘴正常寿命只有几小时。

3. 电极

大多采用铈钨极作为电极,现在也有些采用含铈 0.15% ~ 0.40% 的铈电极。

(1) 电极的端部形状。为便于引弧和增加电弧的稳定性,一般磨成 60° 的尖锐角。电流小或钨棒直径大时锥角可以磨得小些。此外,电流大、钨棒直径大的可磨成圆台形、圆台尖锥形、球形等,以减小烧损。

(2) 电极直径与电流之间的关系。如表 5-33 所示。

表 5-33 电极直径与许用电流

电极直径(mm)	0.25	0.50	1.0	1.6	2.4	3.2	4.0	5.0 ~ 9.0
电流范围(A)	≤ 15	5 ~ 20	15 ~ 80	70 ~ 150	150 ~ 250	250 ~ 400	400 ~ 500	500 ~ 1 000

(3) 电极的内缩长度。内缩长度增大时对电弧的压缩程度提高,但过大会引起双弧。一般为 $l \pm 0.2$ mm (l 为喷嘴孔道长度)

4. 控制电路

应保证焊接过程中的程序的实施,其中包括离子气的

预调及预通时间、保护气的调节和预通时间、工件的预热时间、电流衰减时间、保护气的滞后时间、焊接电流的调节、引弧、焊接、收弧等。

5. 引弧装置

大电流的等离子弧焊接系统,在焊接回中各叠加高频振荡器或小功率高压脉冲器。依靠产生的高频火花或高压脉部引燃非转移弧。

微束等离子弧焊接系统引弧方法是利用焊枪上的电极移动机构向前推进电极,接触引弧后回抽电极。

6. 气路系统和冷却水路系统

气路系统包括离子气和保护气。如果两种气体不同,相当于氩弧焊的2套气路系统;如2种气体相同,可由1只气瓶分两路供给离子气和保护气,也可直接使用混合气体。

冷却水系统与氩弧焊类似。

7. 等离子弧焊设备使用方法

(1)手工等离子弧焊机的使用方法。接通电源后,合上焊机上的电源开关,按气路系统和水系统接好,不应漏气和漏水。预调各种焊接参数,如离子气流量、保护气流量、装夹上合适的钨棒、调节钨极内缩长度、焊接电流等。观测高频火花分布状态并达到正常要求。然后将开关放在焊接位置即可焊接。

(2)自动等离子弧焊机的使用。除了掌握手工等离子弧焊机的使用方法外还应调试焊接小车的速度及方向或工件移动速度及方向。

第六章 材料的焊接

一、碳钢的焊接

碳钢是以 Fe 为基础,以 C 为合金元素,同时掺杂有少量的 Mn、Si、S、P、Ni、Cr、Cu 等合金或杂质。根据钢材品种等级的不同,也都有严格限制。可见,碳钢的焊接性主要取决于碳含量,随着碳含量的增加,碳钢的焊接性逐渐变差。一般来说,低碳钢的焊接性优良,中碳钢适中,高碳钢的焊接性很差,必须采取预热,低氢焊接和后热等方法来保证其焊接性。

1. 低碳钢的焊接

(1) 低碳钢的焊接性。低碳钢中,C、Mn、Si 等的含量较少,所以通常情况下不会因焊接而引起严重硬化组织或淬火组织。这种钢材的塑性和冲击韧性优良,接头的塑性和冲击韧度很好,焊接时,一般不需预热、控制层间温度和后热,焊后也不必采用热处理改善组织,可以说,整个焊接过程中不需要特殊的工艺措施,其焊接性优良。

低碳钢是最容易实现焊接的钢种,但有时也会出现某种问题。例如,焊接熔池易受空气中氧和氮的侵袭,使焊缝金属氧化和氮化;在焊接沸腾钢时,含氧量高,同时 S、P 等杂质分布不均时,造成局部区域大大超过平均含量,所以焊接时裂纹倾向较大;厚板焊接时还会有层状撕裂等问题。

(2) 低碳钢的焊接方法。低碳钢几乎可用所有的焊接方法来进行焊接。并都能保证焊接接头良好的质量。用得最多的有焊条电弧焊、埋弧焊、电渣焊、CO₂ 焊等。

1) 焊条电弧焊 低碳钢的焊条选择主要是依据母材的强度等级以及焊接结构的工作条件。见表 6-1。

表 6-1 焊接低碳钢用的材料

焊接方法	焊接材料	应用情况
焊条电弧焊	E4303 (J422)、 E4315 (J427)	焊接强度等级低的低碳钢或一般的低碳钢结构
	E5016 (J506)、 E5016 (J507)	焊接强度等级较高的低碳钢、重要的低碳钢结构或低温下工作的结构
埋弧焊	H08、H08A、 HJ430、HJ431	焊接一般的结构件
	H08MnA、HJ431	焊接重要的低碳钢结构件
电渣焊	H10Mn2、H08Mn2Si、 HJ431、HJ360	
CO ₂ 气体保护焊	H08Mn2Si、H08Mn2SiA	

焊接参数的选定,主要考虑焊接过程的稳定,焊缝成形良好及无焊接缺陷产生来考虑。当母材厚度较大,气温较低时,焊缝及热影响区的冷却速度快,有可能出现裂纹,可考虑适当预热 100 ~ 150℃ 或采用低氢型焊接材料,同时尽量一次焊完,避免中断来保证焊接质量。

2) 埋弧焊 埋弧焊跟焊条电弧焊相比,可采用较大的热输入,生产效率高,熔池也较大。在埋弧焊厚件时,可采用一道或多道焊完成。稍要注意的是,第一道埋弧容易形成不利的焊缝断面形状(如所谓的 O 形截面),故要求在坡口根部焊第一道焊缝时采用的焊接热输入小些,或采用焊条电弧焊打底。

3) 电渣焊 大厚度焊件的焊接可采用电渣焊。电渣焊

时,熔池体积大,金属冷却慢,焊缝组织往往比较粗大,热影响区过热,显著降低了焊缝及热影响区的强度和韧性。为使焊接接头的性能满足产品使用要求,一般焊后需进行正火加回火的热处理。

4) CO_2 焊 CO_2 焊时,除选用相应力学性能和良好抗气孔能力的焊丝外,为保证电弧稳定燃烧,还要求采用较高的电流密度,但电弧电压不能过高,否则焊缝金属的力学性能降低,焊接时会出现飞溅和电弧燃烧不稳等情况。

2. 中碳钢的焊接

(1) 中碳钢的焊接性。中碳钢 $\omega(\text{C}) = 0.25\% \sim 0.60\%$, 当 $\omega(\text{C})$ 接近 0.30% 而 $\omega(\text{Mn})$ 不高时,其焊接性良好。随着 $\omega(\text{C})$ 的增加,焊接性逐渐变差。当 $\omega(\text{C})$ 超过 0.50% 时,则由于易生成硬脆的马氏体组织而开裂。同时,随着 $\omega(\text{C})$ 的增高,容易产生焊缝热裂纹,特别是 S 控制不严时,更容易产生热裂纹。此外,随着 $\omega(\text{C})$ 增加,气孔敏感性也增大。

(2) 中碳钢焊接工艺

1) 选材 为了保证中碳钢焊后不产生裂纹和得到满意的力学性能,往往选用低氢型焊接材料,它们有一定的脱硫能力,熔敷金属塑性和韧性良好,扩散氢少,可减少热裂纹,冷裂纹的产生。

当焊接接头的强度不要求与母材相等时,应选用强度低的碱性低氢型焊条,如 E4316, E4315 代替 E5016、E5015 焊条。

特殊情况下,可用铬镍奥氏体不锈钢焊接。其特点是焊前不需要预热,不易产生冷裂纹。但焊接电流要小,焊接层数要多,熔深要浅。

2) 预热 各种含碳量的中碳钢预热温度不仅由含碳量决定,还受焊件大小、厚度、焊条类型、焊接参数、结构刚度影响。

一般情况下,35 号和 45 号钢预热温度可为 $150 \sim$

250℃, $\omega(\text{C})$ 再高,厚度、刚度增大,则预热温度相应提升到250~400℃。局部预热的加热范围为焊口两侧150~200mm左右。

3) 焊接坡口 最好开成带钝边的U形坡口。

4) 工艺要点 注意以下几点:

①要点一:焊前焊条严格烘干。

②要点二:焊接第一道焊缝时,应尽量采用小的焊接电流,慢速焊。

③要点三:焊接中,可采用轻敲焊缝金属表面的方法,以减少焊接残余应力,细化晶粒。

④要点四:每层焊缝仔细清理。

⑤要点五:焊件几何状复杂或焊缝过长时,可分成若干小段、分段跳焊。

⑥要点六:收尾时,电弧慢慢拉长,将弧坑处填满防止收尾处裂纹。

⑦要点七:焊后缓冷,并根据需要及时消氢处理或消除应力热处理。

3. 高碳钢的焊接

(1) 焊接性分析。高碳钢 $\omega(\text{C}) > 0.6\%$, 它们的含碳量比中碳钢更高,更容易产生脆硬的高碳马氏体,所以淬硬倾向和裂纹敏感性更大,焊接性更差。这类钢实际上不用于制造焊接结构,它们的焊接大多数为焊接修复。为了获得高硬度和耐磨性,高碳零件一般经过热处理,常为淬火+回火,因此,焊前应经过退火,以减少裂纹倾向,焊后再经过热处理,以达到高硬度和耐磨性要求。

(2) 焊接工艺

1) 选材 焊材通常不用高碳钢,一般视设计要求而定。要求强度高时,用E7015-D2或E6015-D1,强度要求不高时可用E6015、E5015;所有焊材均应为低氢型的。

必要时可用铬镍奥氏体不锈钢焊条焊接,这时可不预热,刚度较大时适当预热。

2) 工艺要点 注意以下几点:

①要点一:焊前先退火,方能预热。

②要点二:焊条严格烘干。

③要点三:预热,一般为 250 ~ 350℃ 预热。

④要点四:焊接时保持与预热一样的层间温度。

⑤要点五:工件刚度、厚度大时,采用合理安排焊道,分段退焊,锤击焊道等方法消除内应力。

4. 碳钢焊接实例

适用于碳钢焊接的方法很多,现实几乎所有的焊接方法都可用来焊接碳钢。在生产实践中,不仅传统的焊接方法大量采用,一些新工艺、新方法在生产中也应运而生。例如,锅炉和压力容器厂的“窄间隙埋弧焊”、造船厂拼甲板采用的“焊丝—烧结焊剂—铁粉—背面衬垫”联合使用的单面焊双面成形法,压力容器制造或电站安装中常用的“氩弧焊打底—手弧焊焊接”或“氩弧焊打底—埋弧焊焊接”及套筒接头焊接等高效方法,在国内逐渐普及推广。

碳钢的焊接举例:

(1) 船体焊接。船体焊接方法及技术较多,主要为焊条电弧焊、埋弧焊和气体保护焊,这三类方法又派生出许多新工艺、新技术、现简介如下:

1) 立向下焊接 采用专用的立向下焊条焊接,适用于薄板竖直焊缝,也适用于船体结构中不重要部位垂直焊缝的打底焊。

2) 重力焊 采用专用的铁粉长焊条,由滑轨架配合代替手工焊,利用重力的作用自动成形,适用于平焊位操作,生产效率高。

3) 单面焊双面成形 在接头背面加衬垫,并在接头间隙和坡口中填加铁粉和合金粉末,用埋弧焊焊接,单面焊双面成形。由于加入了铁粉,生产效率大大提高。

4) CO₂ 焊 目前船厂中应用最广泛的焊接方法之一。用 CO₂ 或 Ar + CO₂ 混合气体作保护气体,用 1 ~ 3 根细焊丝

来焊接,焊丝直径为 0.8 ~ 1.2mm,焊接时不仅可作横向摆动,也可做单层或多层焊接。这种工艺应用于中等厚度船体外板全位置焊接。焊缝美观、质量良好。

(2)45 钢的焊接。像 40、45、50 这类钢,往往制成机器零件,并非大型结构,大多采用焊条电弧焊。例如:一根 45 号钢,φ75mm 的机轴,采用焊接方法加长。焊前接头开成坡口,预热到 200℃,用 E5015 焊条焊接。第一层焊接电流 $I = 170 \sim 180\text{A}$ (φ4.0mm),务必焊透;以后各层 $I = 180 \sim 190\text{A}$ (φ4.0mm),焊接时保持层间温度 200℃,焊后立即消除应力,高温回火 650℃,保温 2.5h,缓冷,24h 以后取出。

(3)斜拉索桥钢索的焊接。许多地方修建的斜拉索桥,其斜拉钢索即为高碳材料。例如某钢索斜拉桥的钢索直径为 146mm,是由许多根直径为 7mm 的 80 号优质碳钢丝拧绕而成,每根斜拉钢索很长,安装时必须大力将钢索拉紧,才能保证桥的安全,这就要事先在钢索端头,以对接方式焊上一个高碳钢拉紧接头。

焊接时必须在较高温度下预热,采用强度级别比钢索低一个等级的低氢型焊条焊接,焊时保持与预热温度相同的层间温度,焊后缓冷。

二、合金钢的焊接

低合金钢是在碳素钢的基础上添加不超过 5% 质量分数的合金元素冶炼而成,焊接结构中,低合金结构主要用于制造船舶、容器、桥梁及大型金属构架。

习惯上,把屈服强度在 300MPa 以上,抗拉强度在 450MPa 以上的钢。称为高强度钢。高强度钢分为三类:①在热轧、正火或控冷控轧状态焊接并使用的,屈服强度为 390 ~ 500MPa 的热轧、正火及控冷控轧钢。②在调质状态下焊接和使用的,屈服强度为 500 ~ 1 000MPa 的低碳低合金调质钢。③ $\omega(\text{C}) = 0.25\% \sim 0.5\%$,屈服强度在 900 ~ 1 200MPa 的中碳调质钢。

1. 热轧,正火钢(低合金高强度)的焊接

这类钢是我国从实际情况出发,充分利用资源,利用普通的炼钢设备和炼钢方法炼成的钢种。它的主要特点是强度高,塑性、韧性良好,焊接及其他加工性能好,由于化学成分不同,性能上的差异也很大,焊接性差别也较显著。强度级别低的低合金结构钢(如 Q295 等)具有良好的焊接接头。低合金高强钢可采用所有的熔焊及压焊方法焊接,具体选用何种焊接方法取决于所焊产品的结构,板厚、对性能的要求及生产条件等,其中焊条电弧焊、埋弧焊、实心焊丝及药芯焊丝气体保护焊是常用的方法。对于氢致裂纹敏感性强的低合金高强钢的焊接,无论采取哪种焊接工艺,都应采取低氢的工艺措施。

(1) 焊接特点

1) 热影响区的淬硬倾向 低合金结构钢焊接的重要特点,是热影响区有较大的淬硬倾向。对于强度等级较低且含碳量低的低合金高强钢,其淬硬倾向小,随着强度等级的提高,热影响区的淬硬倾向也随着变大。

为了避免淬硬,应选用较大的热输入进行焊接,并在焊前预热,以降低焊接接头的冷却速度,减少淬硬组织,提高热影响区的塑性。预热还有利于加速氢的扩散和减小焊接应力的作用。

2) 焊接接头的冷裂纹 随着钢材强度等级的提高,这种裂纹的倾向也加剧。冷裂倾向主要发生在高强度钢厚板中。产生冷裂纹的主要原因有:焊缝及热影响区的含氢量;热影响区的淬硬程度;接头的刚度所决定的焊接残余应力。

为了避免冷裂纹,必须综合考虑各种因素的影响。例如:对于强度较低的 Q345 钢,一般酸性焊条已能成功地焊接壁厚不大的受压容器;但对于 Q345 钢重要的厚板结构就要采用碱性低氢型焊条,有时焊前还需预热。对于强度级别高,淬硬倾向较大的钢种(如 18MnMoNb 等)有时即使选用了低氢型焊条,并进行了预热,在刚度很大的焊接结构,焊

后必须及时进行消氢或消除应力处理。

(2) 低合金高强钢的焊接工艺。焊材的选择首先应保证焊缝金属的强度、韧性达到产品的技术要求,同时还应该考虑抗裂性及焊接生产效率等。由于低合金高强钢的氢致裂纹敏感性较强,因此,选择焊材应首选低氢型焊条和碱度适中的埋弧焊剂。焊条、焊剂使用前应按生产厂家或工艺规程规定进行烘干,另外,为了保证焊接接头具有与母材相当的冲击韧度,低合金高强度钢焊材优先选用高韧度焊材,配以正确的焊接工艺以保证焊缝金属热影响区具有优良的冲击韧度。

各种低合金高强钢焊接时,可参照表 6-2 选用焊条电弧焊、埋弧焊、气体保护焊用焊接材料。

(3) 14 MnNbq 正火钢箱形梁的焊接。14MnNbq 是我国研制生产的 345MPa 级及 Nb 微合金化低合金桥梁用钢,板厚 16 ~ 50mm。

正火状态下,该钢材具有优良的低温冲击韧度,横向 -40℃ 冲击吸收功在 100J 以上。 $\delta = 50\text{mm}$ 厚板抗层状撕裂性能良好。为了全面满足各种焊接接头力学性能,分别采用不同的焊接材料与焊接工艺如下图:

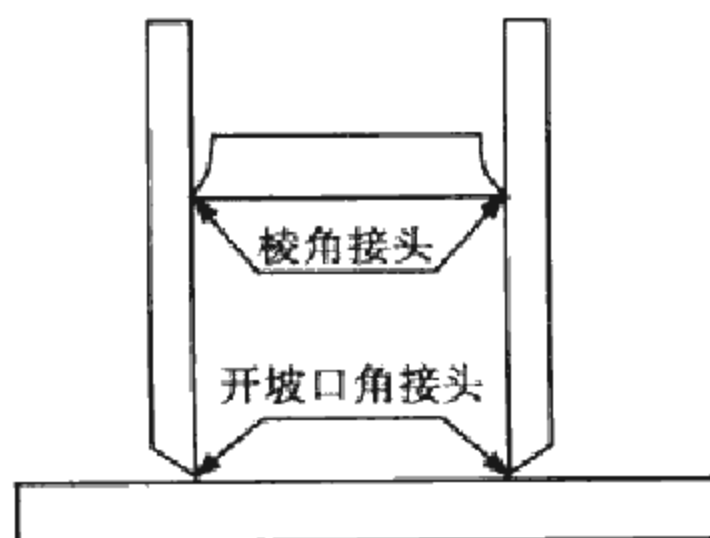


图 6-1 箱形梁结构示意图

1) 手工电弧焊焊接工艺

① 焊接材料: E5015, $\phi 4.0\text{mm}$ 。

②烘干:350~400℃,保温1h。

③预热:16~24mm,不预热。

④焊丝伸出长度 L :32~50mm,预热60~90℃。

⑤工艺参数: $I = 160 \sim 200\text{A}$,电弧电压23~26V。

2) 对接接头埋弧焊焊接工艺

①坡口形式: $\delta \leq 24\text{mm}$,X形坡口。

②另一坡口形式: $\alpha = 76^\circ$; $\delta > 32\text{mm}$,采用双U形坡口,根部 R_g 。

③焊材:焊丝 H08Mn2E,焊剂 SJ101,使用前进行350℃烘干,保温2h。

④预热及道间温度:不预热,道间温度不超过200℃。

⑤工艺参数: $D = \phi 1.6$ 焊丝, $I = 320 \sim 360\text{A}$;

$U = 32 \sim 36\text{V}$ $v = 21.5 \sim 25\text{m/h}$;

$D = \phi 5.0$ 焊丝, $I = 660 \sim 700\text{A}$;

$U = 32\text{V}$ $v = 21.5\text{m/h}$ 。

⑥焊丝伸出长度 L : $\phi 1.6$ 焊丝为20~25mm; $\phi 5.0$ 焊丝为35~40mm。

注意:焊第一道时,背面用焊剂衬垫;翻面焊时,背面清根,焊接方向与第一道相反。

2. 低碳低合金调质钢的焊接

低碳低合金调质钢属于热处理强化钢。通过淬火获得低碳马氏体,再经过高温或低温回火后得到低碳奥氏体或回火马氏体。为了获得良好的综合性能,要求 $\omega(\text{C})$ 在0.25%以下,一般不超过0.22%,加入合金元素主要为了保证淬透性,提高钢的抗回火性,还应使M转变温度降低得最少,以减少淬火裂纹和焊接冷裂纹。为此,这类钢加入了多种合金元素,如Cr、Ni、Mn、Mo、V、Nb、Ti、B等。

跟中碳低合金调质钢相比,低碳低合金调质钢的焊接性较好。但要成功地焊接这类钢,必须掌握这类钢的焊接特点,拟定正确的焊接工艺,严格实施才能达到较好的焊接效果。

表 6-2 低合金结构钢焊接材料的选用

钢材牌号 (GB/T1951-1994)		焊条电弧焊选用焊条
Q295	09Mn2 09MnV 12Mn 09MnNb	E4303 (J422) E4301 (J423) E4316 (J426) E4315 (J427)
Q345	12MnV 14MnNb 16Mn 16MnRE	E5003 (J502) E5001 (J503) E5016 (J506) E5015 (J507)
Q390	15MnV 15MnTi 16MnNi	E5016 (J506) E5015 (J507) E5501-G (J553) E5516-G (J556) E5515-G (J557)
Q420	15MnVN 14MnVTiRE	E5516-G (J556) E5515-G (J557) E6016-D1 (J606) E6015-D1 (J607)
Q460	18MnMoNb 14MnMoV 14MnMoVCu	E6015-D1 (J607) E7015-D2 (J707)

埋弧焊		气体保护焊	
焊丝	焊剂	焊丝	保护气体
H08A H08MnA	HJ431	MG49-1 MG49-Ni MG49-G	CO ₂
I形坡口 H08A 中板开坡口 H08MnA H10Mn2 厚板开坡口 H10Mn2	HJ431 HJ431 HJ330 HJ350	MG49-1 MG49-Ni YJ501-1 YJ501-Ni1 YJ502-1 YJ507-Ni1 HS-50T MG50-G	CO ₂
I形坡口 H08MnA 中板开坡口 H10Mn2 H10MnMoA 厚板深坡口 H10MnMoA	HJ431 HJ330 HJ350 HJ250	MG50-3 YJ501-1, YJ501Ni-1 YJ507Ni-1 MG50-4 HS-50T	CO ₂
H08MnMoA	HJ431 HJ350	MG50-3 YJ507-1, YJ507Ni-1 HS-50T	CO ₂
H08Mn2MoA H08MnMoVA	HJ350 HJ250	HS-60, MG59-G YJ707-1	CO ₂

(1) 低碳低合金调质钢的焊接特点

1) 冷裂纹 冷裂纹是低碳低合金调质钢焊接时最常见,最为严重的焊接缺陷,随着母材强度级别的提高,冷裂纹的敏感性增加。低碳低合金调质钢为了提高热处理强化效果,加入了较多的提高淬硬性的元素,淬透性较大,对氢很敏感,在对氢控制不严时,冷裂纹倾向就很大了。

2) 热影响区性能的变化 有以下两种变化:

①热影响区的脆化:热影响区脆化是造成接头或结构破坏的主要原因之一。在整个焊接接头中,过热区的脆化是较为普遍而突出的问题。低碳低合金调质钢奥氏体冷却转变时,如果冷却速度较低,首先析出铁素体,使周围剩余奥氏体富碳,这一部分高碳奥氏体在继续冷却时将转变为高碳马氏体或高碳贝氏体。这种由铁素体、高碳马氏体或高碳贝氏体组成的混合物组织,使过热区严重脆化。冷却速度越低,脆化越严重。若提高冷却速度,则铁素体的析出受到抑制,韧性有所改善,但进一步提高冷却速度对改善韧性无明显效果,相反使塑性下降或产生冷裂纹。因此,对于低碳低合金调质钢,要求存在一个既能得到良好塑性,又能防止冷裂纹的最佳冷却速度范围。为了达到这个冷却速度,在焊接采用较小的热输入。

②热影响区的软化:热影响区的软化现象,出现在调质状态下焊接时,软化部位在回火温度 $\sim AC_1$ 之间区域。钢经淬火得到的马氏体和残余奥氏体处于亚稳定状态,回火时随着回火温度,必然出现强度、硬度的下降。而且回火温度越低,软化区的范围越宽,强度降低的幅度也越大。例如15MnMoVNRE钢为双相调质钢,其焊接热影响区受热时未完全奥氏体化的区域在加热时最高温度低于 AC_1 ,而高于回火温度的那个区域,组织软化的问题尤为严重,软化区的维氏硬度值较母材约低40个单位,提高焊接热输入和预热温度,其软化程度加重。

(2) 低碳低合金调质钢的焊接工艺

1) 焊接方法 低碳低合金调质钢最常用的方法有焊条电弧焊、熔化极气体保护焊、埋弧焊及钨极氩弧焊。对于强度级别高的材料,最好采用钨极或熔化极气体保护焊。

2) 焊接材料 焊接材料的选用,应按母材的热处理状态不同而异,母材在调质状态下焊接时,选用的焊接材料应保证焊态的焊缝金属与调质状态的母材具有相同的力学性能;当接头拘束度很大时,为防止冷裂纹,应选用强度略低的填充金属,表 6-3 列举了几种低碳低合金调质钢的焊接材料选择示例。

3) 焊接特点 有以下几个方面:

①焊条:低碳调质钢焊接时,氢的危害更加突出,必须严加控制,焊条按规定进行烘焙。

②开坡口:焊缝的突变及接头的应力集中程度对焊接质量有明显的影响,焊缝应尽量避免布置在断面尖锐变化的部位。坡口形式以双 V 形或双 U 形为佳,焊缝与母材交界应平滑过渡。

③预热:预热的目的是为了防止冷裂纹,为防止高温阶段冷却速度过低而产生脆性组织,预热必须采用,且预热温度一般不超过 200°C ,层间温度要求与预热温度相同。

④热输入:为了获得综合的强韧性,应避免采用过大的热输入,不宜采用大直径的焊条或焊丝。只要可能,应采用多层小焊道焊缝,最好采用窄焊道,不作横向摆动。

⑤热处理:低碳低合金调质钢一般没必要进行消除应力处理。除非是在下述条件下才进行热处理:

- a. 焊后或冷加工后钢的韧性过低;
- b. 焊后需高精度加工,要求保证结构尺寸的稳定性;
- c. 焊接结构承受应力腐蚀。

(3) 14MnMoNbB 钢的焊接。14MnMoNbB 钢的 $\sigma_s \geq 686\text{MPa}$,主要用于机械,石油化工设备中的中温高压容器的制造。

表 6-3 低碳低合金调质钢焊接材料选择示例

钢号	焊条	埋弧焊
14MnMoVN	E7015-D ₂ (J707) E8515-G(J857)	H08Mn2MoA H08Mn2NiMoVA HJ350 H08Mn2NiMoVA HJ250
14MnMoNbB	E8515-G (J857)	H08Mn2MoA H08Mn2Ni2CrMoA HJ350
T-1	E11018 E7515-G (J757) E12018	Mn-Ni-Cr-Mo 焊丝 中性焊剂
HY-80	E11018 E7515-G(J757) E9018 E6015-D ₁ (J607)	专用焊丝 中性焊丝
HY-130	E14018(J107-Fe)	

焊接时,可采用钨极氩弧焊打底,用埋弧焊盖面。埋弧焊参数为 H08Mn2Ni2CrMo 或 H10Mn2NiMoVA,焊丝 HJ350,焊剂经 350℃ 1 ~ 2h 烘焙,焊接参数为:焊丝直径 $\phi 4.0\text{mm}$,焊接电流 550 ~ 700A,电弧电压 36 ~ 38V,焊接速度 23 ~ 26m/h,焊前预热 150℃,层间温度 100 ~ 150℃,焊后消氢处理 150℃保温 2h。

3. 中碳低合金调质钢的焊接

中碳调质钢中,通常 $\omega(\text{C})$ 在 0.25% ~ 0.50% 之间,由于碳含量的提高,屈服强度有了明显的提高,但随着含碳量的增加,韧性和塑性急剧降低。中碳调质钢加入了较多的合

气体保护焊	电渣焊
H08Mn2Si H08Mn2Mo	H10Mn2NiMoA HJ360 H10Mn2NiMoVA HJ431
	H10Mn2MoA H08Mn2Ni2CrMoA H10Mn2NiMoVA HJ360 HJ431
Mn-Ni-Cr-Mo 焊丝 Ar + O ₂ 保护气体	
专用焊丝 Mn-Ni-Cr-Mo Ar + O ₂ 保护气体	
Mn-Ni-Cr-Mo 丝 Ar + O ₂ 保护气体	

金元素,如 Mn、Si、Cr、Ni、Mo、W 及 B、V、Ti、Al 等,以保证钢的淬透性和防止回火脆性,这类钢具有良好的综合机械性能,屈服强度高达 900 ~ 1 200MPa,用于大型齿轮、主轴、火箭壳体及飞机起落架等的制造。

(1) 中碳低合金调质钢的焊接特点

1) 冷裂纹 中碳调质钢含碳量高,淬硬性、淬透性都较大,焊接性差,焊接工艺复杂,一般只在正火或退火状态下焊接,容易产生淬硬组织。故中碳调质钢焊接时,为防止冷裂纹,必须提高预热温度,并在焊后及时进行消除应力处理。

2) 热影响区的脆化与软化 中碳调质钢的热影响区很

容易出现脆硬的淬火组织——高碳马氏体。冷却速度越高,脆化也越严重。故一般需采取预热、缓冷等措施配合适当的热输入,以获得韧性较高的组织。

中碳调质钢的热影响区软化现象与低碳调质钢相类似,可采用集中热源的方式防止软化。

(2)中碳调质钢的焊接工艺。由于中碳调质钢的焊接性较差,对冷裂纹较敏感,焊后不进行热处理就难以保证热

表 6-4 中碳调质钢焊接材料选用示例

钢号	焊条电弧焊焊条	气体保护焊	
		CO ₂	Ar
30CrMnSiA	E8515-G(J857 铬) J107 铬 HT-1(H08A 焊芯) HT-1(H08CrMoA 焊芯) HT-3(H08A 焊芯) HT-3(H18CrMoA 焊芯)	H08Mn2SiMoA H08Mn2SiA	H18CrMoA
30CrMn-SiNi2A	HT-3(H18CrMoA 焊芯)		H18CrMoA
40CrMn-SiMoVA	J107 铬 HT-3(H18CrMoA 焊芯) HT-2(H18CrMoA 焊芯)		
35CrMoA	J107Cr		H20CrMoA
35CrMoVA	E5515-B2-VBb(R337) E8515-G(J857) J107Cr		H20CrMoA
34CrNi3MoVA	E8515-G(J857) R817		H20Cr3MoNiA
4340			H25MnNiCrMoA
H-11	R507(Cr5Mo)		HCr5MoA

影响区的性能。这就决定了其合理的焊接方案是,在退火(正火)状态下进行焊接,焊后整体淬火加回火热处理。

1) 焊接方法 常用的焊接方法有钨极氩弧焊、熔化极气体保护焊、埋弧焊、焊条电弧焊等。

2) 焊接材料 为了保证焊缝与母材在相同的热处理条件下获得相同的性能,焊材应与熔敷金属的成分与母材一致。常用焊接材料示例见表 6-4。

埋弧焊		备注
焊丝	焊剂	
H20CrMoA H18CrMoA	HJ431 HJ431 HJ260	HT 型焊条为航空用牌号 HT-4(HGH41) 和 HT-4(HGH30) 为用于调质状态下焊接的镍基合金焊条
H18CrMoA	HJ350-1 HJ260	HJ350-1 为 80% ~ 82% HJ350 和 18% ~ 20% 焊剂陶瓷 1 号的混合物
H20CrMoA	HJ260	

3) 焊接要点 有以下几个方面:

①为防止冷裂纹:尽量采用低氢、超低氢焊接材料来焊接。

②开坡口:一般采用机加方式完成,避免热切口引起切口处淬火组织。

③预热:预热温度一般为 $200 \sim 300^{\circ}\text{C}$ 之间。

④热输入:宜采用较低的热输入。

⑤层间温度:焊接过程中应保持与预热相同的层间温度,对复杂、焊缝较多的产品,可在焊完一定数量的焊缝后进行一次中间热处理。

⑥热处理:焊后立即进行消除应力热处理,不能立即进行热处理,应采取后热措施。

4) 焊接实例 30CrMnSi 钢的焊接。30CrMnSi 是一种广泛应用的钢种,如飞机上大部分钢制零部件均是用这种钢制造的。它的综合性能优良,焊接性好。

30CrMnSi 钢一般在退火状态下焊接,在焊件厚度 $> 3\text{mm}$ 时,应进行 $250 \sim 350^{\circ}\text{C}$ 的预热,层间亦应保持此温度。所用焊材见表 6-4。

焊后应进行调质处理。其热处理工艺为: 680°C 回火处理。

4. 低温用钢的焊接

低温用钢用于低温工作的焊接构件,如液化石油气、液化天然气、液氧、液氮等贮罐、槽车、船舶及其他低温装置。

对低温用钢的主要性能要求是保证在使用温度下具有足够的韧性及抵抗脆性破坏的能力。低温用钢最重要的力学性能指标是在工作温度下的缺口韧性,通常是对使用温度下的冲击韧度作出规定,我国一般规定使用条件下的冲击吸收功 $A_{KV} \geq 27\text{J}$ 。

(1) 低合金低温用钢的焊接性。不含 Ni 的低温用钢由于含碳量低,其他合金含量也不高,淬硬和冷裂倾向较小,因而具有良好的焊接性,一般可不预热,但应避免在低温下

焊接。含 Ni 低温用钢由于 Ni 的添加,增大了钢的淬硬性,但不显著,冷裂倾向不大。当板厚较大或拘束度较大时,应适当预热。Ni 可增大热裂倾向,但应严格控制钢及焊材中的 C、S、P 的含量,采用合理的焊接工艺,可有效地避免热裂纹。

(2) 低合金低温用钢的焊接工艺

1) 焊接方法及热输入的选择 常用的焊接方法有焊条电弧焊、埋弧焊、钨极氩弧焊及熔化极气体保护焊。焊接时,为避免焊缝金属及近缝区形成粗大组织,焊条尽量不作摆动,采用窄焊道、多层多道焊,焊接电流不宜过大,宜用快速多道焊来控制晶粒,多层多道焊时不宜连续焊接,层间温度控制在 $200 \sim 300^{\circ}\text{C}$ 。

2) 焊接材料的选择 焊接低合金低温用钢的焊条,如表 6-5 所示。

3) 其他注意事项

①焊前:仔细清除焊件表面的油、污、锈、垢。

②焊件和焊条:保持在低氢状态。

③厚板:大刚度结构在低温环境下焊接时,需适当预热和焊后进行消除应力回火。

④弧坑:填满弧坑,避免和消除焊接缺陷。

⑤工艺流程:严格工艺规程,控制焊接热输入,减少焊接区高温停留时间,以保证焊接质量。

5. 耐候钢及耐海水腐蚀用钢的焊接

我国耐候钢及耐海水腐蚀用钢是在低碳钢的基础上主加 Cu、P,同时适当配以 Cr、Mn、Ti、Ni、Nb、RE 等合金元素形成的,它具有抗腐蚀及冷脆性能力。我国常用的耐候及耐海水腐蚀钢的成分见表 1-17。

它们广泛应用于车辆、船舶、箱、塔、桥及门窗等结构和产品的制造。

(1) 焊接性分析。耐候钢及耐海水腐蚀钢的主要合金化学元素为 Cu 和 P,Cu 和 P 对钢的淬硬性影响不大,即使

表 6-5 低合金低温钢用焊条

焊条牌号	焊条型号
J507NiTiB (J507GR)	GB E5015-G AWS E7015-G
J507FeNi	GB E5018-G AWS E7018-G JIS D5016
W607	GB5015-G
W607H	GB E5515-C1
W707	GB E5515-C1
W707Ni	GB E5515-C1 AWS E8015-C1
W807	GB E5515-G
W907Ni	GB E5515-C2 AWS E8015C2
W107	GB E5015-C2 AWS E7015-L2L
W107Ni	

在快冷的条件下,其焊接热影响区的最高硬度也不超过 350HV,故其焊接性良好,冷裂倾向不大,也不会产生热裂纹。

(2) 耐候钢及耐海水腐蚀用钢的焊接工艺。大部分耐候及耐海水腐蚀用钢的焊接性与屈服强度为 235 ~ 345MPa 的热轧钢相当。其焊接工艺建议参考低合金低碳调质钢的

焊缝金属合金系统	主要用途
Mn-Ni-Ti-B	16MnDR
Mn-Ni	16MnDR
Mn-Ni	用于焊接 -60℃ 下工作的低合金钢结构
Mn-Ni ₂	用于焊接 -60℃ 下工作的低合金钢结构
Mn ₂ -Cu	用于焊接 -70℃ 下工作的低合金钢结构
Mn-Ni ₂	用于焊接 -70℃ 下工作的低合金钢结构
Mn-Ni _{1.5}	用于焊接 -80℃ 下工作的低合金钢结构
Mn-Ni _{3.5}	用于焊接 -90℃ 下工作的低合金钢结构
Mn-Ni _{3.5}	用于焊接 -90℃ 下工作的低合金钢结构
	用于焊接 -100℃ 下工作的低合金钢结构

焊接工艺,用于焊接耐候钢及耐海水腐蚀用钢的焊接材料应具有与基材相同的抗腐蚀性,选用耐候钢与耐海水腐蚀用钢的专用焊接材料,表 6-6 列举了耐候钢及耐海水腐蚀用钢的专用焊条和 CO₂ 焊焊丝。埋弧焊时,采用 H08MnA 或 H10Mn₂ 焊丝配合 HJ431 焊剂或 SJ101 焊剂。

表 6-6 焊接耐候及耐海水腐蚀用钢的焊条和 CO₂ 气体保护焊焊丝

焊材牌号	药皮类型	焊接电流	A _{KV} /J(保证值)
J422CrCu	钛钙型	交直流	0℃ ≥27
J422NiCrCu	钛钙型	交直流	0℃ ≥27
J502CuP	钛钙型	交直流	常温 ≥35
J502NiCu	钛钙型	交直流	0℃ ≥27
J502JWCu	钛钙型	交直流	0℃ ≥27
J502CuCrNi	钛钙型	交直流	0℃ ≥27
J506WCu	低氢钾型	交直流	-30℃ ≥27
J506NiCu J506NiCrCu	低氢钾型	交直流	-30℃ ≥27
J507NiCu	低氢钠型	直流反接	-30℃ ≥27
J507NiCuP	低氢钠型	直流反接	-30℃ ≥27
J50WCu	低氢钠型	直流反接	-30℃ ≥27
J507CrNi	低氢钠型	直流反接	-30℃ ≥27
J507CuP	低氢钠型	直流反接	-30℃ ≥27
MG49-Ni (焊丝)	CO ₂ 气体 保护	—	-20℃ ≥27

主要用途	标准
焊接 12CrMoCu 等	GB E4303
焊接 Cu-P 系耐候钢如 09CuP、09CuPRE、09CuNiCr 等	
焊接 Cu-P 系耐候钢及耐海水腐蚀用钢	
焊接耐候铁路车辆 09MnCuPTi 钢	GB E5003-G JIS DW5003B
焊接耐候铁路车辆 09MnCuPTi 钢	GB E5003-G JIS DW5003A
焊接耐候铁路车辆及近海工程结构	GB E5003-G JIS DW5003B
焊接耐候 09MnCuP-Ti 钢	GB E5016-G
焊接耐候铁路车辆及近海工程结构	GB E5016-G JIS DW5016B
焊接耐候铁路车辆及近海工程结构	GB E5015-G
焊接耐海水及大气腐蚀的 10MnSiCu、09MnCuP-Ti 钢	GB E5016-G AWS E7015
焊接耐大气腐蚀的 09MnCuP-Ti、15MnCuCr	GB E5015-G
焊接耐海水腐蚀钢的海洋重要结构	GB E5015-G
焊接耐海水及大气腐蚀的 16MnPNbRE、09MnCuP-Ti 钢	GB E5015-G
焊接耐候铁路车辆等	

三、耐热钢的焊接

耐热钢是指在高温条件下具有规定的高温强度和持久强度的钢种。它是在碳素结构钢中加入一定的合金元素而形成的。根据合金成分的质量分数不同分为低合金、中合金、高合金耐热钢。它广泛应用于石油、化工、锅炉、制药、内燃机及核动力装置中,用在 $350\sim 710^{\circ}\text{C}$ 的温度场合。

1. 低合金耐热钢的焊接

合金元素总质量在5%以下的合金耐热钢称为低合金耐热钢。这类钢为了改善其焊接性,碳的质量分数均控制在0.2%以下。目前,低合金耐热钢已有20多种,最常用的是Cr-Mo、Mn-Mo和Cr-Mo基多元合金耐热钢。常用低合金耐热钢的力学性能见表1-20。

(1) 低合金耐热钢的焊接特点

1) 具有不同倾向的淬硬倾向 在焊接热循环决定的冷却条件下,焊缝金属和热影响区内易形成对冷裂纹敏感的显微组织,焊后容易产生冷裂纹。

2) 再热裂纹 由于耐热钢大多含有Cr、Mo、V、Nb等强碳化物形成元素,从而使接头的过热区具有不同程度的再热裂纹敏感性,在随后的热处理过程中产生再热裂纹。

归结起来,低合金耐热钢的工艺性能良好,比较经济,应用范围广,只要采取合理的工序,焊接性也较好。

(2) 低合金耐热钢的焊接工艺

1) 预热 预热是低合金耐热钢的重要工艺措施。为保证焊接质量,不论是定位焊或在焊接过程中,都应预热并保持在 $150\sim 300^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内。用氩弧焊打底和 CO_2 气保焊时,可降低预热温度或不预热。

2) 保温焊和连续焊 在整个焊接过程中,焊件(焊缝附近 $30\sim 100\text{mm}$ 范围)保持足够的温度,故在焊接过程中,应经常测量焊件温度并不使温度下降。

同时,在焊接过程中最好不要间断,如果必须间断,在

间断时应使焊件缓慢均匀地冷却,再焊时仍要重新预热。

3) 短道焊 短道焊也是为了使焊缝及热影响区缓慢冷却。如果是一条长焊缝,则每一道不要焊太长,使得被焊的这一段在较短的时间内重复受热。厚板宜用多层多道焊,以增加焊缝的自回火作用。

4) 焊后缓冷 焊后应立即用石棉布覆盖焊缝及热影响区,使其缓慢冷却。

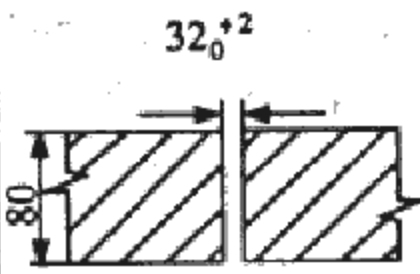
5) 焊后热处理 焊后应立即进行高温回火,以防止产生延迟裂纹,消除应力和改善组织。

(3) 低合金耐热钢实例。见表 6-7。

2. 中合金耐热钢的焊接

中合金耐热钢的合金质量在 6% ~ 12%。这类钢在退火状态下具有铁素体 + 合金碳化物的组织。在正火 + 回火状态下,这类钢的组织为铁素体 + 贝氏体。当钢的合金总质量超过 10% 时,其供货状态下的组织为马氏体,属于马氏体级耐热钢。

表 6-7 15CrMo 钢压力容器筒身纵缝电渣焊焊接工艺规程 (实例)

焊接方法	电渣焊	母材	钢号 15CrMo 规格 80mm
坡口形式		焊前准备	①消除坡口氧化皮 ②磁粉探伤坡口表面检查裂纹 ③装配 II 形铁和引出板点固焊,拉紧焊缝采用 J507 焊条焊前预热 150 ~ 200℃
焊接材料	焊条牌号:R307(E5515-B2) $\phi 4\text{mm}$, $\phi 5\text{mm}$,用于补焊 焊丝牌号:H13CrMo $\phi 3\text{mm}$ 焊剂牌号:HJ-431		

续表

焊接方法	电渣焊	母材	钢号 15CrMo 规格 80mm
预热及层间温度	预热温度:— 层间温度:— 后热温度:—	焊后热处理规范	正火温度 930 ~ 950℃/1.5h 回火温度 650℃ ± 10℃/4h 消除应力热处理 630℃ ± 10℃/3h
焊接工艺参数	焊接电流:500 ~ 550A(每根焊丝) 熔池深度:50 ~ 60mm 焊接电压:41 ~ 43V 焊丝干伸长:60 ~ 70 mm 焊接速度:1.4m/h		
操作技术	焊接位置:立焊 焊接方向:自下而上 焊道层数:单层 焊丝摆动参数:不摆动		
焊后检查	正火处理后,100%超声波探伤		

这类耐热钢的主要合金元素是 Cr, Cr 的含量越高,其耐高温性能和高温抗氧化性能愈好,为了提高 Cr 的蠕变强度和改善钢的焊接性,耐热钢加入了一定的 Mo、V、Ti、Nb 等合金元素。

常用中合金耐热钢的化学成分和主要力学性能指标见表 1-21,表 1-22。

(1)中合金耐热钢的焊接性。具有较强的淬硬倾向。该类钢普遍具有较高的淬硬倾向,合金成分愈高,淬硬倾向愈强,这样焊后极易产生裂纹。

(2) 焊接工艺。由于中合金耐热钢淬硬倾向和裂纹较高,在焊接时必须采取严格的工艺,特别是焊接温度。可以说,焊接温度对中合金耐热钢焊接的成败起着关键的作用。对于 $\delta \geq 10\text{mm}$ 的焊件,预热 $200 \sim 300^\circ\text{C}$ 是必要的,另外,焊接时层间温度始终保持在 230°C 以上,焊后等冷却到 $100 \sim 125^\circ\text{C}$ 时,立即进行 $720 \sim 780^\circ\text{C}$ 高温回火,以保证力学性能。

1) 坡口 接头坡口形式和尺寸的设计原则是尽量减少焊缝的横截面积。对于中合金耐热钢来说,最理想的坡口形式为窄间隙坡口。

2) 焊材 选择与母材合金成分基本相同的中合金耐热焊材。所有中合金钢焊条和焊剂为低氢或超低氢级的。常用的中合金耐热钢焊接材料的型号和牌号及化学成分见表 6-8。

3) 预热和后热 预热是防止裂纹、降低接头各区硬度和焊接应力峰值、提高接头韧性的有力措施,一般预热温度为 $150 \sim 300^\circ\text{C}$ 。

4) 焊接工艺规程 中合金耐热钢的焊接工艺规程与低合金耐热钢基本相同。主要不同是始终保持层间温度在 230°C 以上,焊接结束后将工件冷却到 $100 \sim 125^\circ\text{C}$,使奥氏体全部转变为马氏体,焊后立即将焊件作 $720 \sim 780^\circ\text{C}$ 的高温回火处理。

3. 举例:SA335P91 钢的焊接

(1) 焊材。选用日本神钢焊丝:TGS-9cb,焊条选用英国牌号:CHROMET 9MV-N。

(2) 坡口。开成 U 形坡口,坡口及内外壁两侧 $15 \sim 20\text{mm}$ 范围用角磨机将锈、油、垢和氧化物等清理干净,至露出金属光泽。

表 6-8 中合金耐热钢常用焊接材料标准型号和牌号及其化学成分

适用钢种	焊材		C	Mn
	国际型号	牌号		
1Cr5Mo A213-T5 A335-P5	E5MoV-15 E801Y-B6 (AWS)	R507	≤0.12	0.50 ~ 0.90
10Cr5Mo WVTiB	-	R517A	≤0.12	0.50 ~ 0.80
A213-T7, T9	E9MO-15	R707	≤0.15	0.50 ~ 1.00
A335-P7, P9	E801Y-B8 (AWS) E505-15	R717A	≤0.08	0.50 ~ 1.00
A213-T91 10Cr9Mo1VNb	E901Y-B9 (AWS)	R717	≤0.12	0.06 ~ 1.20

(3) 预热。预热温度为 150 ~ 200℃。

(4) 管内壁保护。为防止 P91 根部氧化, 焊前应对管内壁充氩保护。

(5) 焊接参数。见表 6-9。

表 6-9 P91TIG 焊工艺参数

钨极直径(mm)	焊丝直径(mm)	焊接电流(A)	电弧电压(V)	焊接速度(mm/min)	氩气流量 L/mm
2.5	2.4	95 ~ 110	9 ~ 11	60 ~ 80	10 ~ 12

P91 SMAW 焊接工艺参数

焊条直径(mm)	φ3.2	φ3.2
焊接电流(A)	50 ~ 125	130 ~ 145
电弧电压(V)	20 ~ 24	20 ~ 25

化学成分(质量分数)(%)						
Si	Cr	Mo	V	S	P	其他
≤0.50	4.5 ~ 6.0	0.40 ~ 0.70	0.10 ~ 0.35	≤0.030	≤0.035	
≤0.70	5.0 ~ 6.0	0.60 ~ 0.80	0.25 ~ 0.40	≤0.015	≤0.020	W:0.25 ~ 0.45 Nb:0.04 ~ 0.14
≤0.50	8.5 ~ 10.0	0.70 ~ 1.00	—	≤0.030	≤0.035	
≤0.50	8.5 ~ 10.0	0.80 ~ 1.10	—	≤0.015	≤0.020	Ni:0.50 ~ 0.80
≤0.50	8.0 ~ 9.5	0.80 ~ 1.10	0.15 ~ 0.40	≤0.030	≤0.035	Ni:0.40 ~ 1.00 Nb:0.02 ~ 0.08

(6) 焊接时采用小规范、多层多道焊。焊接时控制层温 260 ~ 340℃ 之间,对于 P91 钢, $M_f = 100^\circ\text{C}$ 、 $M_s = 380^\circ\text{C}$, 层温控制在 260 ~ 340℃ 时可保证每道金相组织基本上转变为马氏体,在热处理后得到回火马氏体的稳定组织。

(7) 焊后热处理。焊接完毕后,将焊缝冷却至 100℃ 恒温 3 ~ 4h,然后 760℃ ± 10℃ 高温回火。

4. 高合金耐热钢的焊接

合金成分的质量百分分数大于 13% 的耐热钢称为高合金耐热钢,它的最主要特征是 600℃ 以上具有较高的力学性能和抗氧化性能。广泛应用于航空发动机、涡轮火箭发动机转子及电站锅炉高温高压部件、汽轮机转子和壳体等。

(1) 高合金马氏体耐热钢的焊接

1) 焊接性分析 马氏体耐热钢基本是 Fe-Cr-C 系合金。通常 $\omega(\text{Cr}) = 11\% \sim 18\%$, 为提高其热强性逐渐加入了 Mo、V 等合金元素。这种钢几乎在所有的实际冷却条件下均转变成马氏体组织, 在 820°C 以上温度冷却时具有空淬倾向, 故这类钢在焊接时最容易淬硬, 开裂倾向很大。

为保证马氏体耐热钢焊接接头的使用可靠性, 通常总是规定作焊后热处理。

2) 焊接工艺 由于马氏体高合金耐热钢具有相当高的冷裂纹倾向, 因此必须严格保持低氢和超低氢的焊接条件和冷却速度。

马氏体耐热钢通常采用铬含量和母材基本相同的同质填充焊丝和焊条。埋弧焊和氩弧焊时可采用 H1Cr13、H0Cr14 焊丝。对于韧性要求较高的接头, 应采用改良型的高铬钢焊丝, 如美国 AWS. A5.9 标准规定的 ER410NiMo。

焊条电弧焊时, 通常预热 $150 \sim 400^\circ\text{C}$ 。预热温度主要按钢的含碳量、接头壁厚、填充金属合金成分和氢含量、焊接方法和接头的拘束度确定。

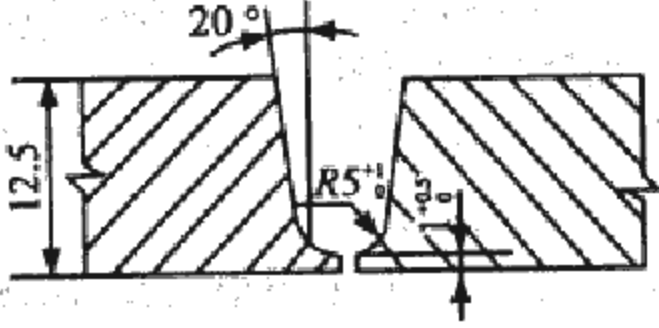
电弧焊时, 一般要保持 250°C 以上的层间温度。焊接结束后, 厚度在 10mm 以下的接头缓冷到室温, 保持 30min 后立即作 $720 \sim 780^\circ\text{C}$ 的高温回火。厚度在 10mm 以上的焊接接头, 焊后冷却到 $100 \sim 120^\circ\text{C}$ 保温 60min 后作 $720 \sim 780^\circ\text{C}$ 退火处理, 以保持焊接接头的韧性。表 6-10 给出了一种高合金耐热钢 X20CrMoV121 焊条电弧焊时的工艺规程。

(2) 铁素体高合金耐热钢的焊接

1) 焊接性分析 铁素体高合金耐热钢是一组低碳高铬 Fe-Cr-C 合金。为阻止加热时形成奥氏体, 在钢中加入 Al、Nb、Mo 和 Ti 等铁素体稳定元素。

① σ 相脆化: $\omega(\text{Cr})$ 含量高于 21% 的铁素体耐热钢在 $600 \sim 800^\circ\text{C}$ 范围内长时间加热过程中会形成金属间化合物 σ 相, 在 800°C 高温时 σ 相形成速度达到最大值, 其性能硬而脆, 影响了焊接接头的塑性和韧性。

表 6-10 X20CrMoV12-1 高合金耐热钢管对接接头焊条电弧焊工艺规程

母材	钢号	X20CrMoV12-1	焊材	牌号	MTS4
	规格	$\phi 114 \times 12.5$ mm		规格	$\phi 2.5$ (手弧) $\phi 4.0$ (焊条电弧)
坡口形状及尺寸					
预热及层温/ $^{\circ}\text{C}$	250 ~ 300 $^{\circ}\text{C}$		冷却	焊后缓冷到 100 ~ 120 $^{\circ}\text{C}$	
焊接参数	焊接方法及层次	电流/A	电压/V	焊速 mm/min	Ar 气流量 L/min
	手弧焊打底, 电弧焊盖面	90 130 ~ 140	11 ~ 12 24 ~ 26	100 150	5 ~ 6
焊后热处理	750 $^{\circ}\text{C}/1\text{h}$, 冷却速度 200 ~ 250 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$, 焊后冷却后立即作焊后热处理				

②475 $^{\circ}\text{C}$ 脆性: $\omega(\text{Cr})$ 含量高于 17% 的高铬钢在 450 ~ 525 $^{\circ}\text{C}$ 之间温度下加热, 也有可能由于沉淀过程中产生 475 $^{\circ}\text{C}$ 的脆性。当焊件在上述温度区间长时间高温运行时, 铬含量较低的耐热钢(约 14%), 就会使焊缝产生脆化冲击韧度, 塑性大大降低, 由于 475 $^{\circ}\text{C}$ 时脆化速度最快, 故称 475 $^{\circ}\text{C}$ 脆性。

铁素体高合金耐热钢焊接时过热区有晶粒长大倾向,

在焊接时不可避免的形成粗晶,导致过热区韧性的丧失。因此,在铁素体耐热钢焊接时,为避免在高温下长时间停留而导致粗晶和 σ 相形成,应采用尽可能低的热输入进行焊接,即采用小直径焊条,低焊接电流,窄焊道技术,高速焊、多层焊等技术。

2) 焊接工艺 由于高铬铁素体耐热钢对过热较敏感,只能采用低输入热量进行焊接,一般选材用与母材合金成分匹配的高铬钢填充材料。采用焊条电弧焊进行焊接,为了保证难以通过电弧过渡的铝和钛过渡到焊缝金属,可采用钨极氩弧焊来完成。

为防止脆化,焊接时采用小电流,快速焊、多层焊等,焊接时最好不摆动,尽量采用窄焊道,间歇焊短弧焊接。并控制层间温度不得过高。

高铬铁素体耐热钢一般低温预热,预热温度为 $150 \sim 230^{\circ}\text{C}$ 。

多层焊时,层间温度可低于预热温度,对于高拘束接头,层间温度略高于选定的预热温度。

铁素体耐热钢接头通常在亚临界温度范围内作焊后热处理,以防止晶粒进一步长大。适用的焊后热处理是 $700 \sim 840^{\circ}\text{C}$ 高温回火,并在冷却过程中快冷通过 $540 \sim 370^{\circ}\text{C}$ 区间,控制焊件的变形和残余应力。

5. 奥氏体耐热钢的焊接

高合金奥氏体耐热钢与奥氏体不锈钢具有基本相同的焊接特点。总的来说,这类钢具有较高的塑性和韧性,且不可淬硬,具有较好的焊接性,焊接时存在的主要问题有:铁素体含量的控制,焊接热裂纹,接头各种形成的腐蚀和 σ 相的脆变。

(1) 焊接性分析

1) 铁素体含量的控制 奥氏体耐热钢从抗裂性出发,要求焊缝含有一定量的铁素体,但从 σ 相脆变和热强性考虑,铁素体含量越低越好。随着铁素体含量的增加,奥氏体

铬镍钢焊缝金属的常温抗拉强度提高,塑性下降。然而高温短时抗拉强度、高温持久强度及低温韧性随之明显降低。因此,对于奥氏体耐热钢焊接接头,应当考虑控制铁素体含量。在某些特殊的应用场合,可要求采用全奥氏体的焊缝金属。

2) σ 相脆变 奥氏体耐热钢的 σ 相析出温度范围为 $650 \sim 850^{\circ}\text{C}$, Cr18Ni8 钢在 $700 \sim 800^{\circ}\text{C}$ 温度下, Cr25Ni20 钢在 $800 \sim 850^{\circ}\text{C}$ 下 σ 相析出的敏感性最大。焊后应避免在 $600 \sim 850^{\circ}\text{C}$ 范围内作热处理。

3) 焊接热裂纹 热裂纹是含 Ni 量较高的奥氏体耐热钢(25~20 型)焊接时最易产生的一种焊接缺陷。

(2) 焊接工艺

1) 焊接方法 奥氏体耐热钢具有较好的焊接性,可以采用所有的熔焊方法来焊接。

2) 选材 奥氏体耐热钢选材要求填充金属的成分与母材大致匹配,对于长期在高温下运行的奥氏体钢焊件,焊缝金属内铁素体的含量不应超过 5%,表 6-11 列出了我国常用的奥氏体耐热钢焊条和焊丝牌号及所适用的母材牌号,表 6-12 举例说明了一种奥氏体耐热钢零件埋弧焊工艺。

3) 焊条电弧焊要点 焊条电弧焊是奥氏体钢焊接的最普遍的应用方法,焊条大多采用高铬镍钢焊条芯,采用比碳钢小 10%~15% 的焊接电流焊接。

为防止焊接接头的腐蚀,操作上应用窄焊道技术,焊道宽不超过焊条直径的 4 倍,多层焊的厚度每层不超过 3mm,运条要稳,收弧时填满弧坑。

不得在焊件上随便引弧,地线应与焊件紧密接触,以免损伤焊件表面,影响耐腐蚀性能。

四、不锈钢的焊接

不锈钢是指主加元素铬含量大于 13%,使钢处于钝化状态,具有不锈特性的钢。根据组织类型的不同,不锈钢分

表 6-11 奥氏体耐热钢焊条和焊丝

钢号	焊条	
	国际型号	牌号
0Cr19Ni9	E308-16	A101 A102
1Cr18Ni9Ti	E347-16	A112 A132
0Cr18Ni10Ti	E347-16	A132
0Cr18Ni11Nb	E347-15	A137
0Cr18Ni13Si4	E316-16 E318V-16	A201 A202 A232
1Cr20Ni14Si2	E309Mo-16	A312
0Cr23Ni13	E309-16	A302
0Cr25Ni20	E310-16 E310Mo-16	A402 A412
0Cr17Ni12Mo2	E316-16	A201 A202
0Cr19Ni13Mo3	E317-16	A242

为铁素体不锈钢、马氏体不锈钢、奥氏体不锈钢、双相不锈钢和沉淀硬化不锈钢,各类不锈钢的化学成分见列表 1-23、表 1-24、表 1-25、表 1-26。

它们在日常生活、航空、化工的原子能等工业中得到广泛应用,下面分别介绍各种不锈钢的焊接。

1. 奥氏体不锈钢的焊接

奥氏体不锈钢具有良好的焊接工艺,常用的焊接方法都能适用,但是因为电渣焊的特点,会使奥氏体不锈钢接头的抗晶间腐蚀能力降低,并在熔合线附近产生严重的刀状腐蚀,因此要慎用。

(1) 奥氏体不锈钢的焊接性。奥氏体不锈钢的焊接性

埋弧焊焊丝牌号	气体保护焊焊丝牌号
H0Cr19Ni9	H0Cr19Ni9
H1Cr19Ni10Nb	H0Cr19Ni9Ti
H1Cr19Ni10Nb	H0Cr19Ni9Ti H1Cr19Ni10Nb
H0Cr19Ni11Mo3	H0Cr19Ni11Mo3
H1Cr25Ni13	H1Cr25Ni13
H1Cr25Ni13	H1Cr25Ni13
H1Cr25Ni13	H1Cr25Ni20
H0Cr19Ni11Mo3	H0Cr19Ni11Mo3
H0Cr25Ni13Mo3 焊剂 HJ-260 SJ-601, 641	H0Cr25Ni13Mo3 保护气体 Ar、Ar + O ₂ 1% Ar + CO ₂ 2% ~ 3% , Ar + He

能良好,但如果焊条选用不当或焊接工艺不正确,也会产生下列问题:

1) 晶间腐蚀 晶间腐蚀是 18-8 型奥氏体不锈钢最危险的破坏形式之一。它包括焊缝和热影响区的晶间腐蚀和熔合线过热区的刀状腐蚀。

对于焊缝金属,根据贫铬理论,在晶界上析出碳化铬,造成贫铬的晶界是晶间腐蚀的主要原因。因此,防止晶间腐蚀的办法是:

①办法一:选择合适的超低碳焊接材料,保证焊缝为超低碳的不锈钢。

②办法二:选用含有稳定化元素 Nb 和 Ti 的低碳焊接材料。

表 6-12 厚 13mm18-8 型铬镍耐热钢筒体纵缝埋弧焊工艺规程

焊接方法	埋弧焊								
坡口形式及尺寸									
焊材	焊丝牌号: 00Cr22Ni10 规格: $\phi 2.5\text{mm}$ 焊剂牌号: HJ260								
预热及层间温度	预热温度: - 层间温度: $\leq 120^\circ\text{C}$								
焊接参数	<table border="1"> <thead> <tr> <th>焊接层次</th> <th>焊接电流/A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>400</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>420</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>450</td> </tr> </tbody> </table>	焊接层次	焊接电流/A	1	400	2	420	3	450
焊接层次	焊接电流/A								
1	400								
2	420								
3	450								
操作技术	①焊接位置: 平焊 ②单道焊技术								
焊后检查	100% 射线照相检查								

③办法三: 选用合适的焊接材料, 形成 A + F 双相组织。

受到晶间腐蚀的不锈钢, 从表面上看来没有痕迹, 但受到应力作用时会沿晶界断裂, 几乎完全丧失强度。

2) 热裂纹 热裂纹是不锈钢焊接时易产生的一种焊接缺陷, 它的产生与奥氏体钢的热导率、线膨胀系数以及奥氏体钢的成分有很大的关系。一般在焊接时采用小电流、快速焊等来解决。

(2) 奥体型不锈钢的焊接工艺

母材	钢号 1Cr18Ni9Ti 规格 13mm
焊缝层次	
焊前准备	①坡口表面及两侧 20mm 和焊丝表面用丙酮擦除油污 ②焊剂焊前 300 ~ 350℃ 烘干 2h
焊后热处理	900℃/1h 稳定化处理
电弧电压/V	焊接速度 mm/min
26	500
28	600
32	460
③焊丝伸出长度:30 ~ 32mm ④焊道两侧边缘用砂轮清渣	

1) 焊条电弧焊 焊机可用交流弧焊机或直流焊机,但使用交流弧焊机时电弧不稳定,故一般采用直流反接。

①焊前准备:对于 δ 小于 3mm 的,可不开坡口, δ 大于或等于 3mm 时,对接焊缝须开坡口,为避免碳和杂质混入焊缝,在焊缝两侧 20 ~ 30mm 范围内用丙酮擦净,并涂上白垩粉,以避免表面被飞溅金属损伤。

②焊条选用:常用奥氏体不锈钢焊接时焊条的选用见表 6-13。

表 6-13 常用奥氏体不锈钢焊接时焊条的选用

钢材牌号	工作条件及要求	选用焊条
0Cr18Ni9	对于温度低于 300℃,同时要求良好的耐腐蚀性能	E308-16(A102) E308-15(A107)
1Cr18Ni9	工作温度低于 300℃,同时对抗裂、耐腐蚀性能要求高	A122
1Cr18Ni9Ti	要求优良的耐腐蚀性能及采用含钛稳定的 1Cr18Ni9 型不锈钢	E347-16(A132) E347-15(A137)
Cr18Ni12-Mo2Ti	抗无机酸、有机酸、碱及盐腐蚀	E316-16(A202) E316-15(A207)
0Cr17Ni-12Mo2	要求良好的抗晶间腐蚀功能	E318-16(A212) E316L-16(A022)
0Cr18Ni12-Mo2Cu2Ti	在硫酸介质中要求更好的耐腐蚀性能	E317MoCu-16(A222) E317MoCu-16(A032)
Cr25Ni20	高温工作不锈钢与碳钢焊接	E310-16(A402) E310-15(A407)
0Cr17Mn13-Mo2N	用于醋酸、维尼龙、尿素、纺织机设备	A707

③焊接要点:Cr-Ni 奥氏体不锈钢的焊接性良好,只要正确选用焊接工艺就能获得满意的焊接接头。

为防止晶间腐蚀,焊接时采用小电流,快速焊,一次焊成的焊缝不宜超过焊条直径的 3 倍,且控制道间温度不超过 60℃,运条时要稳,收弧时填满弧坑。

焊接电流比碳钢焊时小 20% 左右。

为避免焊缝重复加热,一般不宜采用多层焊。如果必须采用多层焊,每焊完一层必须彻底清渣,并等前层冷却后(小于 60°C),再焊接下一层。

为防止过热而产生晶间腐蚀,允许焊后采取强冷措施。同时,为防止耐腐蚀失效,不得在焊件上随便引弧,地线应与焊件紧密接触,以免损伤焊件表面。

④焊后处理:奥氏体不锈钢一般不作焊后热处理。

2) 氩弧焊 氩弧焊主要用来焊接 $0.5\sim 3\text{mm}$ 的不锈钢薄板,焊丝成分一般与母材相同,也可根据母材的成分和使用条件,从表6-13选取,保护氩气一般采用纯度大于99.98%以上的工业氩气,焊接时速度要快,以减少焊件的变形和气孔,焊接时要避免横向摆动。

对于大厚度的不锈钢,考虑采用熔化极氩弧焊(MIG焊),熔化极氩弧焊的优点是生产率高,焊缝的热影响区小,焊件的变形小和耐腐蚀性好,并易于焊接自动化。

奥氏体不锈钢一般不对其焊后热处理,但要焊后对其表面处理,以增加奥氏体不锈钢的耐腐蚀性。处理的方法有抛光和钝化。

①表面抛光:不锈钢焊件表面如有刻痕、凹痕、粗糙点和污点等,会加快腐蚀,如果不锈钢表面抛光,就能提高其抗腐蚀的能力,表面粗糙度愈小,抗腐蚀性能就越好,因为粗糙度值小的表面能产生一层致密而均匀的氧化膜,这层氧化膜能保护内部金属不受氧化和腐蚀。

②钝化处理:钝化处理是在不锈钢表面人为地形成一层氧化膜,以增强其耐腐蚀性。

钝化处理的流程为:表面清理和修补 \rightarrow 酸洗 \rightarrow 水洗和中和 \rightarrow 钝化 \rightarrow 水洗和吹干。

处理前进行表面清理和修补,把表面损伤的地方修补好,用手砂轮磨光,把焊缝上的渣壳和近旁的飞溅清理干净。

酸洗的目的是除掉氧化皮,酸洗洗液分浸洗和刷洗两种。浸洗酸液用 20% 的硝酸 + 5% 的氢氟酸 + 75% 的水溶液,在室温下进行。

刷洗酸液的配方为:50% 盐酸 + 50% 的水。

浸洗法用于较小的设备和部件,将设备和部件浸没有酸洗液里 25 - 45min,取出后用清水洗净;刷洗法适用于大设备,用刷子蘸取酸液刷洗,到呈白亮色为止,再用清水冲净。

钝化在酸洗后进行。钝化液为 5mL 硝酸 + 1g 重铬酸钾 + 95mL 水。处理温度为室温,处理时间为 1h。处理方法是將钝化液在焊缝表面擦一遍,然后用冷水冲,再用布仔仔细擦洗,最后用热水冲洗干净,并将其吹干。

经钝化处理后的不锈钢,外表全部呈银白色,具有较高的耐腐蚀性。

2. 铁素体型不锈钢的焊接

(1) 铁素体不锈钢的焊接性

1) 焊接接头的脆性 铁素体不锈钢焊接时热影响区晶粒急剧长大而形成粗大的铁素体,由于铁素体加热时无相变产生,这样晶粒长大后不可能通过热处理来改善,因此会造成明显脆化的后果,而且使冷裂倾向加大。

2) 晶间腐蚀 铁素体不锈钢的晶间腐蚀产生原因与奥氏体不锈钢基本相同,也是由于晶界贫铬而产生。

铁素体不锈钢的接头出现晶间腐蚀的位置在熔合线附近(1 000℃ 以上),在快冷的条件下产生。焊后若经 650 ~ 850℃ 加热并缓冷,接头的耐晶间腐蚀的能力可以恢复。

铁素体不锈钢在室温下韧性很低,很容易使焊接接头在冷却到室温时产生冷裂纹。为此,焊接时常要求低温预热,以使接头在韧性较高的状态下收弧,从而有效地防止冷裂纹的产生。

(2) 焊接要点。铁素体不锈钢只采用焊条电弧焊进行焊接,为了减少 475℃ 脆化,避免焊接时产生热裂纹,焊前采

用 70 ~ 150℃ 低温预热;焊接时,尽量缩短在 430 ~ 480℃ 之间的加热冷却时间;为防止过热,尽量减少热输入,采用小电流、快速焊,焊条最好不摆动,尽量减少焊缝截面,不连续焊,一般等前一道焊缝冷却到预热温度后再焊下一道焊缝,多层焊时要控制层间温度;对于厚度大的焊件,为减少焊接应力,每道焊缝焊完后,用小锤轻轻敲击焊道;焊后 700 ~ 750℃ 退火,以改善焊接接头韧性及塑性。

但应注意,高铁素体钢在 550 ~ 820℃ 长期加热时,将会析出 σ 相,不仅使钢脆化,还可降低耐腐蚀性。一旦发生 σ 相析出后,通过 820℃ 以上的加热再使 σ 相溶解,可消除 σ 相脆化作用。焊接铁素体不锈钢焊条见表 6-14。

表 6-14 铁素体不锈钢焊接时焊条的选用

钢号	对接头性能要求	焊条	预热及热处理/℃
1Cr17、 0Cr17Ti 00Cr12	耐硝酸 腐蚀、耐热	E430-16(G302) E430-15(G307)	预热 120 ~ 200℃ 焊后 750 ~ 800℃ 回火
0Cr13Al	提高焊 缝的塑性及 韧性	E308-15(A107) E309-15(A307)	不预热焊后不进行 热处理
1Cr25Ti	抗氧化性	E309-15(A307)	不预热 120 ~ 200℃ 焊后 760 ~ 780℃ 回火
1Cr17Mo	提高焊 缝塑性	E308-16(A102) E308-15(A107) E309-16(A302)	不预热 不热处理

3. 马氏体型不锈钢的焊接

(1) 马氏体型不锈钢的焊接性分析

马氏体不锈钢焊接过程中主要的问题是存在冷裂纹和焊接接头脆性。

1) 冷裂纹 马氏体型不锈钢产生冷裂纹的根本原因是焊缝和热影响区在冷却过程中形成了淬硬组织。含碳量越高,冷裂纹的敏感性越强。除合金的化学成分外,马氏体型不锈钢的裂纹还和产品的结构形式、扩散氢的含量有关:结构的拘束度越大,焊缝里的内应力就越大,使裂纹的倾向就增大;扩散氢的含量越高,焊缝产生延迟裂纹的倾向加大。

2) 焊接接头的脆化 由于马氏体不锈钢的成分特点,使其往往在 M-F 组织的边界上,在快冷时形成粗大的马氏体,塑性、韧性急剧下降。当冷却速度较小时,则可能出现粗大的铁素体和碳化物组织,也会导致脆化。

马氏体型不锈钢的晶间腐蚀倾向极小。

(2) 焊接工艺

1) 焊前预热 为防止焊缝产生冷裂纹和获得良好的力学性能,应进行焊前预热。预热温度一般为 150 ~ 400℃。

2) 焊条的选用 焊条可选两种类型:一种为与母材成分相近的焊条;一种为奥氏体不锈钢焊条,马氏体不锈钢焊条的选用,见表 6-15。

表 6-15 马氏体不锈钢焊接时焊条的选用

钢种	对接头性能的要求	选用焊条	预热及热处理/℃
1Cr13	抗大气腐蚀及气蚀	E410-16(G202) E410-15(G207)	焊前预热 300 ~ 350℃ 焊后 700 ~ 730℃回火
2Cr13	要求良好的塑性及抗裂性	E310-15(A402) E310-16(A407)	不预热,厚大焊件预热 200℃焊后不热处理

续表

钢种	对接头性能的要求	选用焊条	预热及热处理/℃
1Cr17Ni2	耐有机酸腐蚀、耐热	E430-16(G302) E430-15(G307)	焊前预热 300 ~ 350℃ 焊后 700 ~ 730℃回火
	要求良好的塑性、韧性	E308-16(A102) E308-15(A107) E316-16(A202) E316-15(A207) E310-16(A402) E310-15(A407)	焊前不预热,(对厚大焊件可预热 200 ~ 320℃)焊后不热处理

Cr13 型马氏体不锈钢选用与母材成分相近的焊条,焊前要求预热,焊后要进行高温回火,回火后可获得性能均匀的接头并消除焊接应力。

若不允许预热,则选用 25-20 型奥氏体不锈钢的焊条焊接,此时焊缝为奥氏体组织,具有较高的塑性和韧性,可松弛焊接应力,并能溶解较多的氢,从而有效地防止冷裂纹。

3) 高温回火 Cr13 型钢焊后立即进行高温回火,但多元合金的马氏体钢焊后不宜立即回火,一般冷却到 100 ~ 150℃ 时保温 0.5 ~ 1h,然后 700 ~ 760℃ 高温回火。

五、铸铁的焊接

碳的质量分数大于 2.11% 的铁碳合金称为铸铁。铸铁中除含铁和碳外,还有一定量的硅、锰元素及 S、P 等杂质元素。某些特殊用途的合金铸铁中,还分别有 Cu、Mg、Ni 和 Al 等元素。

铸铁以铸件的形式应用于生产,它与钢相比,虽然力学

性能较低,但却有优良的耐磨性、减震性和可切削性,因此在工业生产中得到广泛应用,由于铸造的工艺特点,铸铁件往往存在着不同程度的缺陷,所以铸铁的焊接往往是对存在有缺陷或损坏的铸铁进行焊补,这种焊补能为国家节约大量的人力,物力和财力,所以具有十分重大的经济意义。

铸铁的主要成分是铁和碳,按照碳在铸铁中存在的状态及形式的不同,铸铁可分为灰铸铁、白口铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁四大类。

1. 灰铸铁的焊接

(1) 灰铸铁的焊接性。灰铸铁的焊接性,特别是在焊条电弧焊时,如果焊条选用不当,或者没有采取一些特殊的工艺措施,则在焊接过程中会产生一系列缺陷,这些缺陷中危害最严重的是白口和裂纹。

1) 白口 补焊灰铸铁时,往往会在焊缝和母材交界的熔合线处生成一层白口铸铁,严重时会使整个焊缝断面白口化。由于白口铸铁性硬而脆,很难进行机械加工,所以对于焊后需要进行机械加工的焊接接头,将带来很大的困难。

产生白口的原因:一方面是由于焊缝的冷却速度快,特别是在熔合线附近的焊缝金属冷却最快;另一方面是焊条选择不当,即焊条中的石墨化元素含量不足。

防止产生白口的措施有:

①措施一:改变化学成分、增加焊缝中石墨化元素的含量,或者采用非铸铁焊条(镍基、铜钢、高钒钢)。

②措施二:减慢冷却速度,延长熔合区处于红热状态的时间,使石墨能充分析出。通常采取将焊件预热到 400°C (半热焊)左右或 $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ (热焊)后进行焊接,或在焊接后将焊件缓冷,这样都可减慢焊缝的冷却速度,而使焊缝避免产生白口组织。

2) 裂纹 焊接灰铸铁时极易产生裂纹。产生的裂纹有两种:热应力裂纹和热裂纹,其中尤以热应力裂纹更为常见。

产生原因是由于灰铸铁的塑性接近零,抗拉强度又较低,焊接时如果焊缝强度高于母材,则冷却时母材往往牵制不住焊缝收缩,使结合处母材被撕裂(或叫剥离)。此外,当结合处产生白口组织时,因白口组织硬而脆,它的冷却收缩率又比基本金属灰铸铁大得多,更促使焊缝金属在冷却时开裂。

防止裂纹的方法主要是焊前预热和焊后缓冷;选用塑性较好的焊接材料,如用镍、铜、镍铜、高钒钢等作为填充金属;减少热输入和采用电弧焊减小焊接应力等。

(2)灰铸铁的焊条电弧焊。灰铸铁的焊条电弧焊根据焊件焊前是否预热及预热温度的高低,有以下几种方法:

1)冷焊法 这种方法焊前不预热,所以焊后变形小,成本低,生产率高,焊工劳动条件好。目前冷焊法正在我国推广使用,并获得了迅速的发展。但是,如果焊条选用不当或没有采取有效的工艺措施,容易产生白口、裂纹等缺陷,焊后焊缝强度与颜色也与母材不同。

[焊条的选择]

电弧冷焊灰铸铁采用非铸铁组织的焊条,除镍基焊条外,其他焊条焊后加工性较差。

常用的冷焊焊条,按焊后焊缝的可加工性分为两大类:一类是用于焊后不需要机械加工的铸件,如铜铁、高钒铸铁、氧化型钢芯铸铁焊条和普通低碳钢焊条;另一类是用于焊后需要机械加工的铸件,如钝镍焊条、镍铜铸铁焊条、镍铁焊条等,大量使用的是镍铁焊条。该焊条是在纯镍芯药皮中加入强还原性石墨,其特点是焊缝溶解碳而不形成淬硬组织,焊缝金属较软,抗裂性能好,焊后切削加工性能好。灰铸铁电弧冷焊焊条的牌号、性能及用途见表2-14。

[焊接工艺]

焊接工艺包含以下几方面:

①焊前:应彻底清除待焊部位的油污,在裂纹两端打上止裂孔,坡口形状要便于补焊及减少焊件的熔化量。

②采用钢芯或铸铁芯以外的焊条时:应尽量使用小直径焊条和较小的焊接电流,以减少内应力和热影响区的宽度。

③操作要领:注意 a - e 这几点。

a. 采取短弧断续焊。焊缝的纵向应力开始是随着焊缝长度的增加而增大,当增大到一定程度时就会引起横向裂纹,因此每次焊 15mm 左右后,立即用小锤锤击焊缝,待焊道冷却到 50 ~ 60℃ 时再焊下一段焊道,以减少焊接应力。同时,焊道应当窄,不宜做横向摆动,避免产生较大的横向应力。

b. 强迫冷却焊缝。灰铸铁件补焊时,焊缝附近的局部过热会引起焊缝剥离,为防止局部过热和提高工效,可以用水或沾水棉纱,在每一段焊道焊后立即冷却焊缝,把输入的热量引出来,急冷一般不会引起裂纹。

c. 减小热输入。采用小直径焊条小焊接电流焊接。

d. 施焊退火焊道。如果补焊时只需采用单层焊道,则焊道底部熔合区比较硬,这时可在焊成的焊道上部铲去一层,再焊一道,此焊道称为退火焊道。退火焊道能使先焊焊道的底部受到退火作用而变得较软,焊接接头的加工性因此得以改善。

e. 选择合理的焊接方法及顺序。裂纹的补焊应掌握由刚度大的部位向刚度小的部位焊接的原则,合理的焊接顺序有助于防止裂纹的产生。

2) 热焊法 焊前将铸件全部或局部加热到 500 ~ 650℃,并在焊接过程中保持一定的温度,焊后保温缓冷。用热焊法时,焊件冷却缓慢,温度分布均匀,有利于消除白口组织,减少应力,防止产生裂纹,但热焊成本高,工艺复杂、生产周期长、劳动条件差,因此应尽量少用。当缺陷被四周刚度大的部位所包围,焊接时不能自由热胀冷缩,而用冷焊易造成裂纹时才采用热焊法。热焊时,只用铸铁型焊条,例如 EZCQ,采用大电流(焊接电流可为焊条直径的 50

倍)、连续焊。

3) 半热焊法 焊前将焊件预热到 400°C 左右, 采用钢芯石墨化型铸铁焊条(Z208)

焊接时采用大电流, 连续焊, 使焊缝在缓慢冷却的情况下得到灰铸铁组织。

2. 灰铸铁的补焊实例

(1) 铸铁齿轮箱上盖裂纹的补焊。机械传动的减速装置都是采用蜗轮、蜗杆的减速机, 其箱体材质均匀为灰铸铁, 在使用中, 由于原铸造工艺控制不当, 出现裂纹, 可以采用电弧冷焊工艺进行修复。

1) 焊机 选用 ZX-400 型弧焊整流器, 采用正接法。

2) 焊前准备 焊前准备有以下内容:

① 减速箱: 减速箱的上盖材料为牌号 HT250 的灰铸铁。

② 裂纹情况: 由铸造缺陷引起箱盖结合面上开裂, 并延伸至箱壁, 裂纹长约 150mm, 裂纹部位及形状见图 6-2:

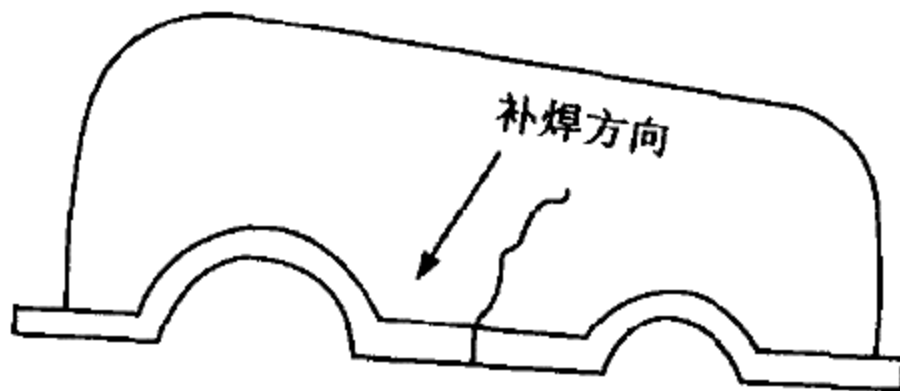


图 6-2 裂纹部位及形状

③ 坡口加工: 在裂纹端部钻 $\phi 5\text{mm}$ 的止裂孔, 并用钻头和砂轮清除裂纹, 注意务必将裂纹清除干净, 开出 X 形坡口。

清除坡口周围 50mm 范围内的油、污、锈, 直至露出金属光泽。

④ 补焊工艺及操作要点: 注意 a ~ f 这几点。

a. 采用 EZNiFe-1 (Z408) 焊条直径 $\phi 3.2\text{mm}$, 焊前经 150°C 烘干 1 ~ 2h, 焊接电流为 90 ~ 100A

b. 采用分段焊,焊条不要摆动,每焊完 20 ~ 30mm 焊缝立即锤击,每层焊完后,要彻底清渣。

c. 焊接方向由内壁向外缘进行,以减少最后焊道的应力。

d. 焊接时的层间温度保持在 60℃ 左右(以不烫手为准)。

e. 焊后保温或进行低温回火。

f. 打磨箱盖结合面焊道,检查补焊焊缝质量。

(2) 齿轮的补焊。齿轮缺陷见图 6-3 中箭头所指之处。因冒口根部收缩,形成面积为 900mm^2 、深 30mm 的缩孔两处,该面为加工面,其上分布 6 个直径为 20mm、深 40mm 的孔。齿轮材料为 HT200。

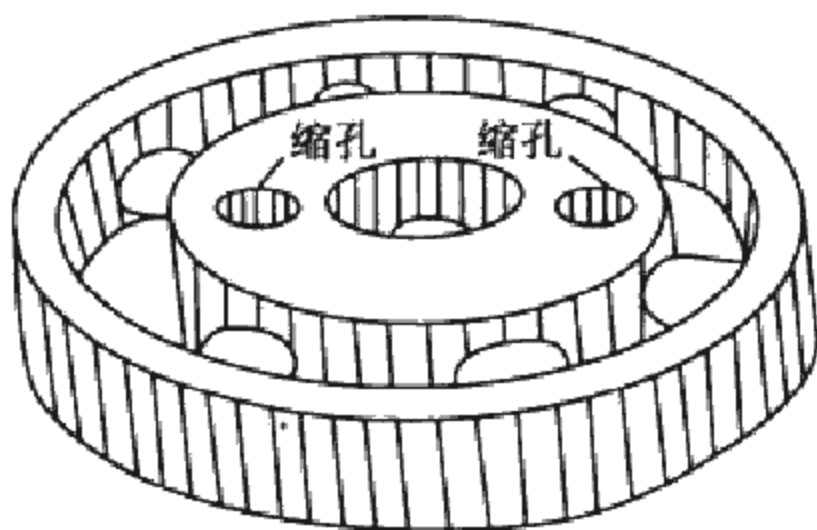


图 6-3 齿轮缺陷

1) 焊机 选用 ZX5-630 型弧焊整流器。

2) 焊条 选用 EZC(Z248) 型铸铁铁芯焊条,焊条直径为 8mm。

3) 操作要领 选用 Z248 焊条进行电弧冷焊,首先采用焊条开坡口,黏土砂造型。使用直流焊机,采用正接法。焊接电流为 500A,连续施焊。引弧开始后用长弧,待底部铸铁熔化后改为中弧,焊缝高出母材表面 6 ~ 8mm。焊完第一段待焊缝冷却后,清除坡口内的石墨,并用扁铲修理焊缝连接端,然后用同样的方法补焊另一端。

3. 球墨铸铁的焊接

(1) 球墨铸铁的焊接性。球墨铸铁与灰铸铁的不同之

处,是在浇铸前向铁液中加入了一定的镁、铈、钇等球化剂进行球化处理,使石墨以球状析出;有些球墨铸铁中还含有铝、铜等合金元素,使力学性能明显提高。焊接时,除了保证不产生缺陷外,还应从等强度观点出发,使焊缝亦具有较好的强度和塑性。

球墨铸铁常用镁作球化剂,但镁是阻碍石墨化的元素,所以焊接时白口化现象严重,这是矛盾因素,也是焊接球墨铸铁的主要困难之一。

焊接球墨铸铁时,热影响区如冷却速度太快,其中奥氏体会转变成马氏体,形成淬火组织,其硬度高 620 ~ 700HBS,使焊后机械加工困难。

总之,球墨铸铁比灰铸铁提出了更高的要求,焊接难度更大。但是由于球墨铸铁本身的强度和塑性很好,焊接时不易产生裂纹,这是其有利的一面。

(2) 球墨铸铁的焊条电弧焊

1) 冷焊 近几年我国焊接工作者在电弧冷焊球墨铸铁焊条方面作了很多研究工作,取得了较大的进展。采用镍铁焊条 EZNiFe-1 或高钒焊条 EZV(Z117),小件焊前可不预热,当气温低或焊接大件时,焊前需预热 100 ~ 200℃,焊接电流应适当小些。采用镍铁焊条只能焊接一些要求不高的球墨铸铁焊件或球墨铸铁件不重要的部位,但采用镍铁焊条焊后接头的加工性能比高钒铸铁焊条好些,焊后不必再进行退火处理,焊缝抗拉强度可达 400MPa,基本能满足要求。但目前通过严格的操作工艺,采用高钒焊条补焊球墨铸铁件时,接头的加工性已得到了很大改善。

2) 热焊 采用铁芯球墨铸铁焊条 EZCQ(Z238),焊芯是低碳钢,对于较小件的球墨铸铁焊补,焊前应预热至 500℃左右;对于大件,预热温度应提高至 700℃,焊后保温缓冷。电源可采用直流反接或交流。焊后为改善加工性能,可以进行正火处理。若将焊件加热至 900 ~ 920℃、保温 2.5h,随炉冷却至 730 ~ 750℃,保温 2h,取出空冷,焊缝组

织、性能与母材相近。

3) 操作要领

①清理缺陷、开坡口：小缺陷应扩大至 $\phi 30 \sim 60\text{mm}$ 、深 8mm 以上。

②采用大电流、连续焊工艺：焊接电流可按焊条直径的 $30 \sim 60$ 倍选用。

③处理缺陷要适当：缺陷长而不宽时，可采用逐段多层连续焊；当缺陷较宽时，应采用分段分层的焊补方式。保证焊补区有较大的焊接热输入，目的是减少白口，提高塑性和防止产生裂纹。

④采用中弧施焊：补焊时，弧长大致保持与焊芯相等，如直径 5mm 的焊条，弧长可控制在 $4 \sim 6\text{mm}$ 之间，不可过长，以免有益元素过分烧损，影响球化。

⑤大刚度部位较大缺陷的补焊：焊前应预热 $200 \sim 400^\circ\text{C}$ ，焊后缓冷，以防产生裂纹。

(3)轴流泵球墨铸铁大轴包覆不锈钢的焊接。大轴的材质为 QT600-3 球墨铸铁，大轴的一端包覆 1Cr18Ni9Ti，制成球墨铸铁-不锈钢铸焊复合结构。见图 6-4。

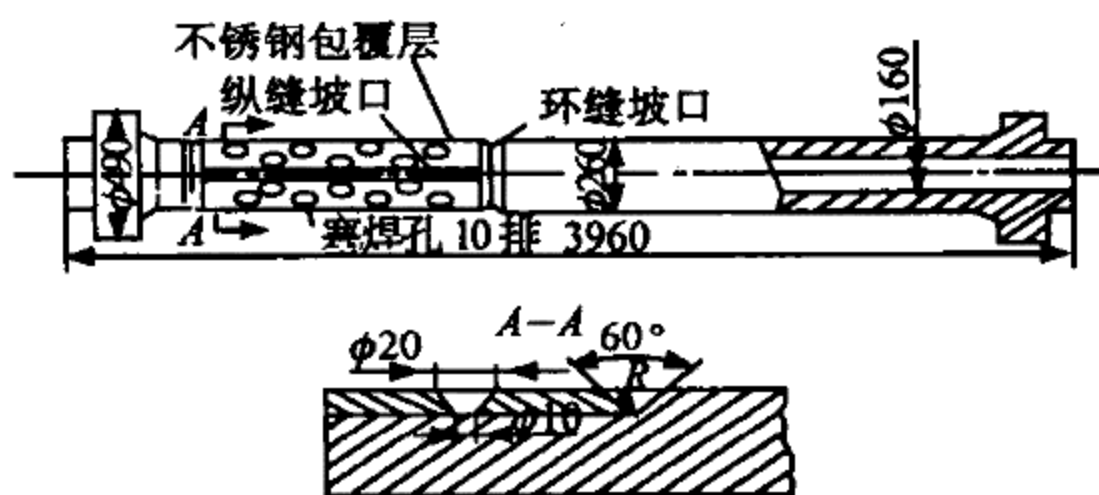


图 6-4 球墨铸铁-不锈钢铸焊复合结构

1) 焊条 铸铁焊条采用 EZNiFe-1 (Z408) 型镍铁焊条，焊条直径为 4mm ；不锈钢焊条采用 E308-16 (A101)，直径为 4mm 。

2) 焊机 选用 ZX3-250 型弧焊整流器，采用正接法。

3) 焊前准备

①工具准备:准备好工作服、焊工手套、护脚、面罩、敲渣锤、钢丝刷、扁铲和角向磨光机等。

②焊机使用前:应检查其各处的接线是否正确、牢固、可靠,按要求调试好焊接参数。检查焊条质量,不合格者不能使用,焊接前焊条经 $150 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 烘干,保温 $1 \sim 2\text{h}$ 后放在焊条保温筒内随用随取。

③轴颈:由 10mm 厚的不锈钢经热加工而成,并进行矫圆、车环缝坡口、刨纵缝坡口,同时将大轴的环缝坡口车成 U 形坡口。

④装配时:热校至轴颈套与轴基本贴合后用专用夹具装配,以便使轴颈套与轴密切贴合。

⑤焊接参数:见表 6-16。

表 6-16 轴流泵球墨铸铁大轴补焊的焊接参数

焊条型号	焊条直径/mm	焊接电流/A
EZNiFe-1 (Z408)	3.2	90 ~ 110
	4	120 ~ 150
E308-16 (A101)	3.2	70 ~ 100
	4	110 ~ 140

⑥操作要领:首先用 EZNiFe-1 (Z408) 型镍铁焊条进行塞焊,并锤击焊缝消除应力。塞焊孔上层用不锈钢焊条;纵缝底层用镍铁焊条,上层用不锈钢焊条。最后焊接环缝,全部采用镍铁焊条。为提高焊接速度,每焊一段后都用棉纱蘸水冷却。由于壁较厚、强度高,所以层间可以用力锤击焊缝,以充分消除焊接应力。大轴在焊接时进行退火消除铸造应力,焊后不经热处理,加工性能良好。

六、铝和铝合金的焊接

1. 铝及铝合金的焊接性分析

铝及铝合金有易氧化、导热性高、热容量和膨胀系数

大、熔点高以及高温强度小等特点,因而给焊接工艺带来了一定困难。

(1) 铝及铝合金的焊接性特点

1) 铝的氧化 铝和氧的化学亲和力很大,常温就能被氧化而生成一层厚度为 $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 的氧化铝 (Al_2O_3) 薄膜,在焊接高温时氧化更加激烈,氧化铝的熔点高达 2050°C ,远远超过了铝及铝合金的熔点 (660°C)。覆盖在熔池表面妨碍着焊接过程的正常进行。此外,氧化铝的密度 ($3.85\text{g}/\text{cm}^3$) 也比铝及铝合金的密度 (约为 $2.6 \sim 2.8\text{g}/\text{cm}^3$) 大。

2) 易烧穿 铝及铝合金在液态时,表面颜色没有明显的变化,焊接时不易判断母材及熔池的温度,因此,焊接时常因温度控制不当而导致烧穿。

3) 气孔 焊接铝及铝合金时,易产生氢气孔。因为氢能大量地溶于液态铝中,但几乎不溶于固态铝,熔池结晶时,原来溶于液态铝中的氢大量析出,形成气泡。由于铝合金的密度小,气泡在熔池中的上浮速度慢。加上铝的导热性好,熔池冷却快,所以焊接时易形成氢气孔。

氮气不溶于液态铝,而且铝合金中不含碳,因此,焊接铝及铝合金时不会产生 N_2 以及 CO 气孔,只可能产生氢气孔。

4) 热裂纹 铝的线膨胀系数比钢大将近 1 倍,而凝固时的收缩率又比钢大 2 倍,因此焊接时会产生较大的应力;当铝及铝合金成分中的杂质超过规定范围时,在熔池中 will 形成较多的低熔点共晶。两者共同作用的结果,在焊缝中就容易产生热裂纹。

实践证明,纯铝及非热处理强化铝合金焊接时很少产生热裂纹,只有焊接热处理强化铝合金时,热裂纹倾向才比较大。

5) 接头不等强度 铝及铝合金焊接时由于热影响区受热而发生软化,强度降低,而使接头与母材无法达到等强度。

(2) 铝及铝合金的焊前及焊后清理

1) 焊前清理 目的是去除焊件表面的氧化膜和油污,

防止气孔的产生。

①机械清理:先用有机溶剂(丙酮、松香或汽油)擦拭焊件表面除油污,然后用细钢丝刷刷至表面露出金属光泽,最好用刮刀在母材焊接区的表面修刮一薄层,直至露出新鲜光泽。

②化学清洗:化学清洗是采用清洗剂进行清洗,通常有两个步骤:脱脂去油和除氧化膜。具体处理方法和所用溶液配方,各生产单位不尽相同。常用清洗剂的成分及清洗工艺见表6-17。

值得注意的是清洗后到焊前的间隔时间,对气孔的产生有一定的影响。存放时间延长,焊丝或母材吸附的水分增多,所以,化学清洗后2~3h内就要进行焊接,最多不要超过24h。焊丝清洗后最好放在150~200℃烘箱中,随用随取。

2)焊后清理 焊后留在焊缝及附近的残存溶剂和焊渣需要及时清理干净,否则在空气、水分的作用下会破坏具有防腐作用的氧化膜。铝制容器焊后在彻底清除焊缝表面附着的污物,促使氧化膜重新生成,提高容器的耐蚀性。

常用的清洗方法有:

①方法一:在热水中用硬毛刷仔细刷洗焊接处。

②方法二:在温度为60~80℃,质量分数为2%~3%的铬酐水溶液或重铬酸钾溶液中浸洗5~10min。

③方法三:在干燥箱中烘干或自然干燥。

铝制容器常需要在焊后做脱脂处理,此项处理应在清洗并检查合格后再进行。

2. 各种焊接方法焊接铝及铝合金时的比较

铝及铝合金可采用多种方法进行焊接,由于铝合金的成分各不相同,所以焊接性也不一样,总的来说,工业纯铝、铝锰合金、铝镁合金焊接性能良好,铝铜合金较差。因此,每种焊接方法适用的铝合金也不一样,具体比较和使用范围见表6-18。

表 6-17 常用清洗剂的成分及清洗工艺

工艺 材料	除油	碱洗			冲洗
		溶液 $\omega(\text{NaOH})$	温度/ $^{\circ}\text{C}$	时间/min	
纯铝	汽油 煤油	6 ~ 10	40 ~ 50	≥ 20	清水
铝镁、铝 锰金	汽油 煤油	6 ~ 10	40 ~ 50	≥ 7	清水

表 6-18 各种焊接方法焊接铝及铝合金时的比较及适用范围

焊接方法	工业 纯铝	铝锰 合金	铝镁合金	
		1035 1200 8A06	3A21	5A05 5A06
钨极氩弧焊	很好	很好	很好	
熔化极氩弧焊	很好	很好	很好	
熔化极脉冲 氩弧焊	很好	很好	很好	
焊条电弧焊	好	好	很好	

(1) 铝及铝合金的氩弧焊工艺。氩弧焊是焊接铝及铝合金较完善的焊接方法。氩弧焊时可以利用氩离子的阴极破碎作用,有效地去除熔池表面的氧化铝薄膜,焊接时没有熔渣,不会发生焊后残渣对接头的腐蚀。氩气流对焊接区域有冲刷作用,使焊接接头冷却加快,从而改善了接头的组

中和光化			冲 洗	干 燥
溶液 $\phi(\text{HNO}_3)/\%$	温度/ $^{\circ}\text{C}$	时间/min		
30	室温	1~3	清水	风干或 低温干燥
30	室温	1~3	清水	风干或 低温干燥

铝铜合金	适用厚度范围/mm		说 明
2A11 2A12	适宜范围	一般厚度 界限	
不好	1~10	0.9~2.5	厚板焊接需要 预热,常用
尚好	≥ 8	≥ 4	不预热,常用
尚好	≥ 2	1.6~8	适宜薄板
不好	3~8	-	无氩弧焊时使用

织和性能,并减少了焊件变形。此外,氩弧焊还具有保护效果好、电弧稳定、热量集中、焊缝成形美观等一系列优点,所以在生产中应大力推广使用氩弧焊来焊接铝及铝合金。

1) 手工钨极氩弧焊(TIG 焊) 其优点是操作灵活、方便,焊缝成形美观,变形小,特别是在焊接尺寸较精密的小

零件时更为合适。缺点是电流密度受到限制,熔深浅,只适用于薄板的焊接。

①电流极性:为利用阴极破碎作用,使正离子撞击熔池表面的氧化膜,电流应采用交流或直流反接,但直流反接时,钨极承载能力较低,电弧稳定性差,熔池浅而宽,生产率较低,所以一般应选用交流电源。近年来由于大厚度铝合金焊接的需要,也在研究应用直流正接的 TIG 焊方法,主要是利用其熔深大的特点,同时焊缝截面成形好且气孔倾向相对较小。不过,这时采用的是双层气体保护,并且以用纯氩为好。

②焊接参数:焊接电流应有所控制,过大的焊接电流会使钨极烧损,并可造成焊缝夹钨。手工钨极氩弧焊焊接铝及铝合金的焊接参数见表 6-19。

表 6-19 手工钨极氩弧焊焊接铝及铝合金的焊接参数

板厚/mm	接头形式	坡口尺寸		钨极直径/mm
		钝边/mm	间隙/mm	
1.2	I形	-	0~1	1.6~2.4
2	I形	-	0~1	1.6~2.4
3	I形	-	0~2	2.4~3.2
4	I形	-	0~2	3.2~4
4	I形	-	0~2	3.2~4
6	I形	-	0~3	4~6
6	V形	1~3	0~3	4~6

③焊丝选择:焊接铝及铝合金的焊丝牌号见表 6-20。SAISI(HS311)是一种通用焊丝,采用这种焊丝焊接时金属流动性好、焊缝金属有较高的抗热裂性能,并能保证一定的力学性能。但在焊接铝镁合金时,在焊缝中会出现脆性化合物(如 Mg_2Si 等),降低接头的塑性和抗腐蚀性,所以常用于焊接除铝镁合金以外的其他各种铝合金。焊接铝镁合金时,应采用 SAlMg(HS331)焊丝,此时焊丝中含有一定量的镁,可以补偿焊接时镁的烧损。

④操作要领:注意 a~e 这几点。

a. 焊前检查。开始焊接以前,必须检查钨极的装夹情况,调整钨极的伸出长度为 5mm 左右。钨极应处于焊嘴中心,不得偏斜,端部应磨成圆锥形,使电弧集中,燃烧稳定。

焊接直径 /A	焊丝直径 /mm	氩气流量 /(L/min)	喷嘴直径 /mm	焊接 层次
45~60	1.6~2.4	5~8	6~11	1
80~110	1.6~2.4	6~9	6~11	1
100~140	2.4~4	7~10	7~12	1
180~230	2.4~4	7~10	7~12	1
160~210	2.4~4	7~10	7~12	1
250~300	3~4	9~15	8~12	2
220~270	3~4	9~15	8~12	-

表 6-20 铝及铝合金焊丝的型号及牌号

类别	牌号	型号	化学成分的质量分数/%	
			Si	Cu
纯铝	-	SAI-1	(Fe + Si) 1.0	0.05
	-	SAI-2	0.20	0.40
	HS301	SAI-3	0.30	-
铝镁	-	SAlMg-1	0.25 (Fe + Si)	0.10
	-	SAlMg-2	0.45	0.05
	-	SAlMg-3	0.40	0.10
	HS331	SAlMg-5	0.40	-
铝铜	-	SAlCu	0.20	5.8 ~ 6.8
铝锰	HS321	SAlMn	0.60	-
铝硅	HS311 -	SAISi-1	4.5 ~ 6.0	0.30
		SAISi-2	11.0 ~ 13.0	0.30

b. 引弧、收弧和熄弧。铝及铝合金手工钨极氩弧焊不允许在焊件引弧,要采用高频振荡器引弧,为了防止引弧处产生裂纹等缺陷,可先在石墨板或废铝板上引燃电弧,当电弧稳定燃烧后,再引入焊接区。

焊接中断或结束时,应特别注意防止产生弧坑裂纹或缩孔。灭弧时除采用氩弧焊机上的自动衰减装置外,在接近灭弧处应加快焊接速度及焊丝填加频率,将弧坑填满后慢慢将电弧拉长再灭弧。如条件允许,可采用引出板。

熄弧后,不能立即关闭氩气,必须要等钨极呈暗红色后才能关闭,这段时间为 5 ~ 10s,以防止母材及钨极在高温时被氧化。

c. 操作。焊枪、焊丝和焊件的相对位置,既要便于操作,又要良好地保护熔池,如图 6-5 所示。焊丝相对于焊件的倾角在不影响送丝的前提下,越小越好,若焊丝倾角太

化学成分的质量分数/%			
Mn	Mg	Al	
0.05	-	≥99.0	
0.03	0.03	≥99.7	0.15
-	-	≥99.5	
0.5~1.0	2.40~3.0		
0.01	3.10~3.90	余量	0.15
0.50~1.0	4.30~5.20		
0.20~0.60	4.70~5.70		
0.20~0.40	0.20	余量	0.15
1.0~1.6	-	余量	0.15
0.05	0.05	余量	0.15
0.15	0.10		

大,容易扰乱电弧及气流的稳定性,通常以保持 10° 为宜,最大不要超过 15° 。

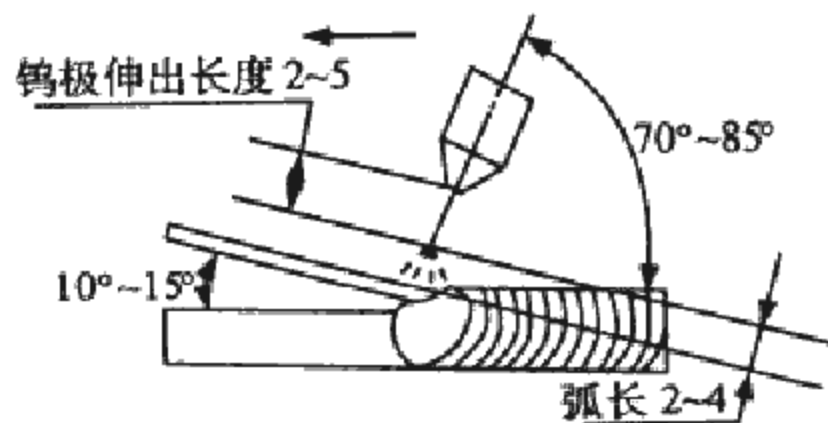


图6-5 手工钨极氩弧焊焊枪、焊丝和焊件的相对位置

手工钨极氩弧焊焊接铝及铝合金一般采用左焊法,焊枪应均匀而平稳地向前做直线运动,并保持弧长恒定。为达到熔透和避免咬边,应尽量采用短弧焊,在不加焊丝时弧长为 $0.5\sim 2.0\text{mm}$,加焊丝后弧长为 $4\sim 7\text{mm}$ 。施焊过程

中,焊丝拉出时不能拉离氩气保护范围之外,以免焊丝端部氧化。焊接过程中断重新引弧时,应在弧坑前面 20 ~ 30 mm 的焊缝上引弧,使弧坑得到充分的再熔化。

d. 始焊与接头。先从距焊件端部约 15 ~ 30mm 处采用右向焊法焊至端面收尾,然后采用左向焊法从始焊处开始焊接。

接头应从始焊处引弧,待电弧稳定燃烧后向右移 5 ~ 15mm,再往左移动焊枪,等始焊处形成熔池后,即添加填充焊丝,进行焊接。接头处焊缝的余高和宽度不宜过高和过宽,否则影响焊缝外观。

e. 焊丝的填充。操作时,根据不同的接头形式,可以采用断续点滴和推丝填充两种不同的填丝方式。

断续点滴填丝。在氩气保护区内,焊丝向熔池边缘以滴状形式往复加入,焊枪可作轻微摆动,此方法适宜于卷边对接、对接和外角接接头。

推丝填丝。此时用短弧施焊,焊枪不摆动,可适当加大焊接电流和焊接速度。操作时,焊丝沿焊枪前进方向紧贴焊缝左侧向熔池作推动式填充,不得脱离熔池,每次填丝量不得过多。此方法适用于搭接及 T 字接头。

单面焊时第一层打底焊缝,必须保证熔透,从熔池大小和塌落情况可判断是否焊透,遇有定位焊处,可适当提高焊枪,拉长电弧,增大预热面积,以保证焊透。

双面焊时,正面焊缝必须熔透,背面铲根可浅一些,焊接时不易烧穿,焊接层数可减少。

纯铝及非热处理强化铝合金采用手工钨极氩弧焊时,其焊缝及接头的强度可达母材的 90% 以上。

2) 熔化极氩弧焊 用钨极氩弧焊焊接厚度大于 6mm 的中厚板时,必须开坡口进行多层焊,这时晶粒长大现象严重,易形成氧化物夹渣,而且变形大,易开裂。采用熔化极氩弧焊,可以使用大电流,热能利用率提高,焊接速度相应增加,随着板厚的增加,这种效果更加突出。用机械化熔化

极氩弧焊的生产率比手工钨极氩弧焊要提高 20 倍以上。因此,焊接中厚铝板时往往采用熔化极氩弧焊。

机械化熔化极氩弧焊适用于较规则的纵缝、环缝及水平位置的焊接;手工熔化极氩弧焊大多用定位焊、短焊缝、断续焊缝及铝容器中封头、人孔接管、加强圈等的焊接。

在确定焊接参数时,应先根据焊件厚度、坡口尺寸选择焊丝直径,再依据熔滴过渡形式(短路或喷射)确定焊接电流、电弧电压及其他焊接参数。

焊接电流、电弧电压是直接影响熔滴过渡过程稳定性的主要焊接参数。焊接电流超过临界电流时熔滴呈喷射过渡,其特征是电弧发出“滋滋”声。焊接铝及铝合金当熔滴呈喷射过渡并间或有短路过渡出现时电弧“滋滋”声间有“啪啪”声,电弧稳定,气体保护性能好,飞溅少,焊缝成形美观。焊接电流小于临界电流时会形成这种半喷射过渡。

熔化极氩弧焊采用直流反接,厚 12mm 以下的板材可以开 I 形坡口,厚度大时可开 V 形坡口,正背面各焊数道,背面焊前要铲焊根。铝及铝合金熔化极氩弧焊的焊接参数见表 6-21。

表 6-21 铝及铝合金熔化极氩弧焊的焊接参数

铝板厚度 /mm	焊接电流 /A	焊接速度/ (cm/min)	焊道数	焊接位置
< 10	220 ~ 280	38 ~ 62	2	平焊
10 ~ 15	220 ~ 320	30 ~ 56	3 ~ 4	
15 ~ 20	240 ~ 340	28 ~ 55	≥ 5	
< 10	150 ~ 250	35 ~ 65	3 ~ 4	立焊
10 ~ 15	180 ~ 280	35 ~ 60	4 ~ 5	横焊
15 ~ 20	220 ~ 300	28 ~ 58	≥ 5	仰焊

3) 熔化极脉冲氩弧焊 采用熔化极脉冲氩弧焊焊接铝

及铝合金薄板时,可以采用较粗的焊丝(直径为 1.6mm),因此送丝稳定,用一般的推丝式送丝系统即可满足要求。此外,粗焊丝的比表面积小,表面氧化膜和油污亦相应减少,故可降低产生气孔的可能性。铝及铝合金熔化极脉冲氩弧焊的焊接参数见表 6-22。

表 6-22 熔化极脉冲氩弧焊的焊接参数

母材 材质	板厚 /mm	焊丝 成分	焊丝 直径 /mm	总平 均电 流/A	脉冲平 均电流 /A	电弧电 压/V	焊接速 度/(cm /min)	氩气流 量/(L /min)
1035 (L4)	1.6	1035	1.2	70	30	21	65	20
	3.0	(L4)	1.6	120	50	21	60	20
5A02 (LF2)	1.6	5A02	1.6	70	40	19	65	20
	3.0	(LF2)	1.6	120	60	20	60	20

七、铜及铜合金的焊接

铜及铜合金是工业上重要的材料,具有良好的导电性、导热性、延展性和良好的低温力学性能,应用十分广泛,仅次于钢铁和铝。

1. 铜及铜合金的焊接性分析

(1) 铜及铜合金焊接存在的问题。铜及铜合金的焊接性较差,焊接时易产生氧化、气孔和热裂纹等缺陷。

1) 铜的氧化 铜在常温下不易氧化,但当温度超过 300℃时,氧化能力增加很快,当温度接近熔点时,氧化能力最强。铜氧化后形成的氧化亚铜与铜能形成低熔点共晶,分布在晶界上,大大降低了金属的力学性能。另外铜及铜合金一般不发生固态相变,晶粒易长大,也会使焊接接头的力学性能降低。

2) 易产生热裂纹 主要原因是铜的氧化物与铜形成低熔点共晶体;其次是若有低熔点的铅、铋等不溶于铜的有害

元素,也容易产生热裂纹。

3)易产生气孔 氢在铜溶液中溶解度很高,在凝固时将放出大量氢气,若这些氢气来不及逸出熔池则生成氢气孔,氢氧同时存在也能形成气孔,使晶界产生裂纹。

4)变形和应力大 铜的线膨胀系数比铁大15%,而收缩率比铁大1倍以上;又由于铜导热能力强,冷却凝固时变形量大,对于刚性焊件收缩应力大,易产生裂纹。

5)难熔合 常温下铜的热导率比铁大8倍,1000℃时大11倍多,焊接时热量迅速从加热区传导出,使母材与填充金属难以熔合,为此,焊前需采用预热措施。

此外,在焊接纯铜的过程中,若焊缝金属受杂质污染或合金化,还会影响接头的导电性能。

(2)铜及铜合金的焊接方法。焊接铜及铜合金各种焊接方法的比较见表6-23。

表6-23 焊接铜及铜合金各种焊接方法的比较

焊接方法	优点	缺点
氩弧焊	①焊接质量好,操作容易 ②薄板、厚板都适用,变形小 ③焊接速度快(熔化极)	①设备费用大 ②含锌高的黄铜较难焊接
氧-乙炔焰气焊	①设备简单 ②最适合薄板 ③是焊接黄铜较合适的方法之一	①焊接接头性能比母材差 ②变形量最大,易产生裂纹 ③焊接铝青铜困难
碳弧焊	①设备简单 ②最适合厚板 ③变形量小	焊接接头性能差
焊条电弧焊	①设备简单 ②变形量小 ③焊接速度快	①焊接质量差 ②焊渣去除困难 ③不适用薄板

2. 纯铜的焊接工艺

(1) 焊前准备

1) 表面清洗 清洗的目的去除焊件表面的氧化物和油污。可用机械清除或化学清洗。

化学清洗的顺序如下:

①脱脂:脱脂的目的在于去除焊件表面油污。脱脂溶液中含有质量分数为 5% ~ 10% 的氢氧化钠,质量分数为 2% ~ 3% 的水玻璃及质量分数为 20% ~ 50% 的肥皂。

②侵蚀:在体积分数为 8% 的硫酸和质量分数为 10% 的重铬酸钾溶液中,或在体积分数为 15% ~ 20% 的硝酸溶液中侵蚀,去掉氧化物,然后在流动的热热水或冷水中洗涤干净。

2) 接头形式及坡口尺寸 纯铜常用对接接头不宜用搭接接头或 T 形接头,因为采用这两种接头时,熔渣容易渗进间隙,引起焊件腐蚀。为防止铜液流失,焊缝背面常用铜垫。因铜导热性较强,焊前通常预热 300℃ 以上。

(2) 纯铜的电弧焊

1) 常用焊条的选择 见表 2-15。

2) 焊接参数 纯铜电弧焊的焊接参数见表 6-24。

表 6-24 纯铜电弧焊的焊接参数

焊接电流/A 焊条直径/mm 焊条牌号	3.2	4.0	5.0
	T107	120 ~ 150	150 ~ 200
T227	100 ~ 140	140 ~ 180	160 ~ 200
T237	90 ~ 130	110 ~ 160	150 ~ 200

3) 焊接工艺要点 与焊条电弧焊低碳钢相比,纯铜焊接时要采用较大的焊接间隙、较大的坡口角度、较多的定位焊、较高的预热温度和焊道层间温度及以较大的焊接电流。

①厚度大于4mm的焊件:焊前必须预热,预热温度为400~500℃。目的是使焊件获得足够的能量,保证焊缝的良好成形及在随后冷却时气体充分析出,同时和焊接参数的选择密切配合来控制焊接热循环。

②焊接过程应注意的事项:电源采用直流反接。开始焊接的引弧点必须留在焊缝内,不可在焊件其他部位乱引弧,以免破坏母材的清洁和美观。在正常焊接时,应尽量采用短弧、快速焊接,电弧做直线往复运动。为了提高焊接质量,厚度小于4mm的板材,最好采用单层焊,以减少焊缝重复受热。厚度大于4mm的板材,应开坡口并采用多层焊每焊一层要彻底清除焊渣。长焊缝可采用分段退焊。熄弧应在焊条熔化将剩50~60mm时,将焊条逐渐引向焊缝旁侧,让熔池冷凝在焊缝边缘,避免熔池因停弧失去电弧保护,使外界有害气体侵入熔池。

③焊接场地:焊接操作应在空气流通的场所进行,或采用人工通风,以排除烟尘及有害气体。

④焊后:可用平头锤锤击焊缝,以消除应力和改善焊缝质量。

焊条电弧焊是一种简单又灵活的焊接方法,但对纯铜的焊接却不推荐使用,原因是焊条电弧焊焊接纯铜的焊缝含氧、氢量较高,不但容易出现气孔,而且焊后接头的强度低,导电、导热性严重下降。

(3) 纯铜的氩弧焊

1) 纯铜的手工钨极氩弧焊(TIG焊) 手工钨极氩弧焊焊接纯铜,电弧稳定,热量集中,操作灵活方便,可以获得高质量的焊接接头,最小的焊接变形,特别适用于中、薄板纯铜结构的焊接,成为纯铜结构的主要焊接方法。

①开坡口:厚度小于3mm的焊件采用钨极氩弧焊可开I形坡口,不加填充焊丝;厚度3~4mm的焊件开I形坡口加填充焊丝;厚度5~12mm的焊件还要加工其他形式的坡口;厚度大于12mm的焊件一般采用熔化极氩弧焊。由于

铜的流动性好,所以钨极氩弧焊焊纯铜对接接头时常用碳石墨等制成衬板和衬环,以防止熔化金属流失。

②填充焊丝:纯铜氩弧焊用填充焊丝为 HSCu(HS201、HS202)等。

③电源:纯铜手工钨极氩弧焊时,为减少电极烧损,保证电极稳定和有足够的熔深,电源通常采用直流正接。当焊件厚度较大时,必须预热。

④纯铜手工钨极氩弧焊的焊接参数:见表 6-25。

⑤纯铜手工钨极氩弧焊的操作要领:注意 a ~ d 这几点。

a. 引弧。焊前用高频振荡器先在碳块或石墨块上接触引弧,待电弧引燃后再移入焊接坡口区。不要将钨极直接与焊件接触引弧,以防止钨极粘在焊件上,使焊缝产生夹钨。

b. 焊接。操作一般采用左向焊法,焊接过程中保持焊枪、焊件与焊丝三者所处的空间位置。焊接时,焊丝不得离开熔池,也不得接触钨极,若钨极表面一但有铜,就会影响电弧的稳定。

c. 厚板多层焊时。层数不宜过多,焊第一层主要控制背面成形,层间温度不得低于预热温度。焊接平焊缝、管子环缝、搭接横焊缝时,焊枪、焊丝和焊件之间的相对位置

表 6-25 纯铜手工钨极氩弧焊的焊接参数

板厚/mm	电源种类及极性	钨极直径/mm	焊丝直径/mm
<1.5	直流正接	2.5	2
2.0~3.0		2.5~3.0	3
4.0~5.0		4	3~4
6.0~10		5	4~5
>10		5~6	5~6

分别见图 6-6(a)、图 6-6(b)、图 6-6(c)。喷嘴与焊件的距离以 10~15mm 为宜。这样便于操作和观察熔池情况,并使焊接区得到良好的保护。

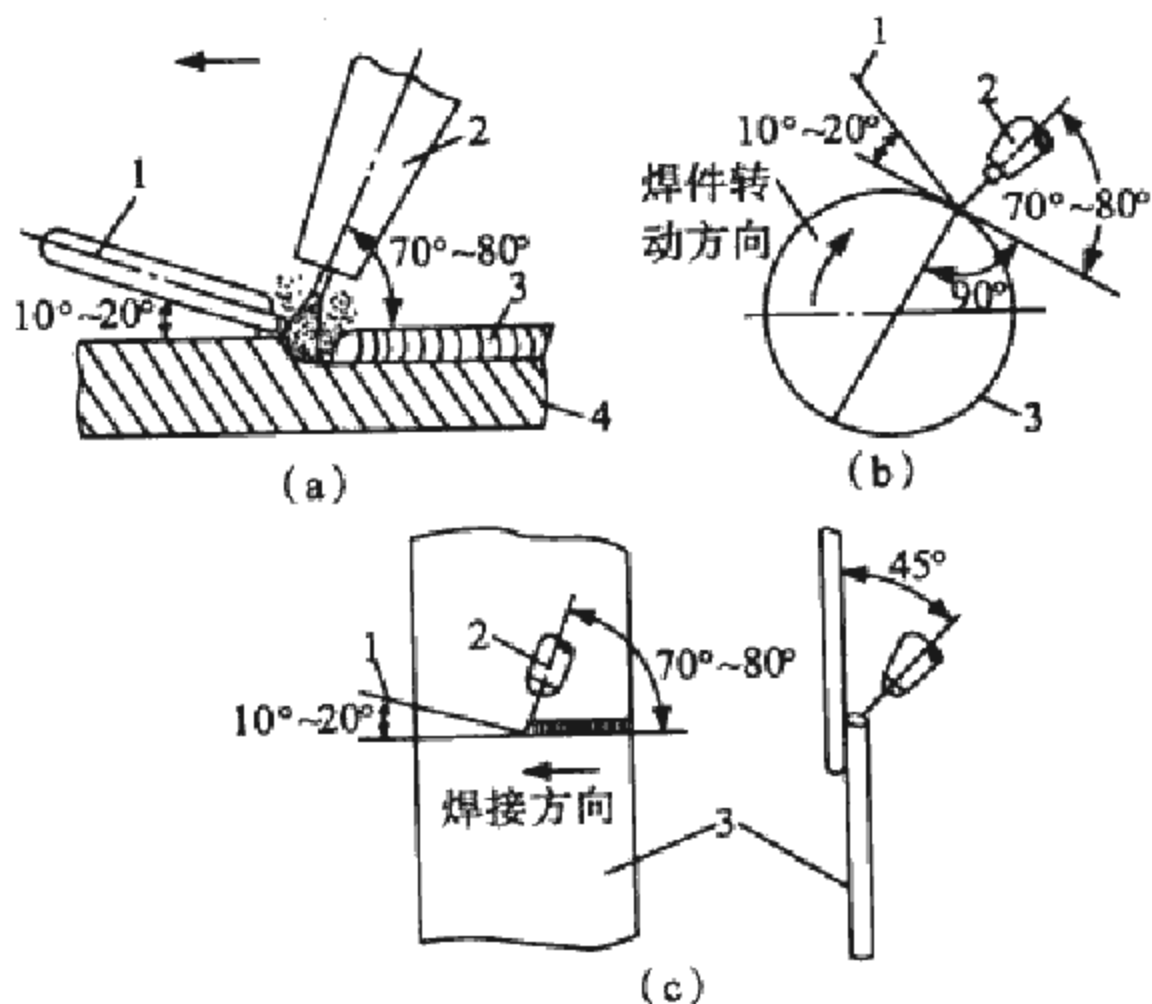


图 6-6 手工钨极氩弧焊焊接纯铜平焊缝时的焊枪、焊丝和焊件的相对位置
1-焊丝 2-焊枪 3-焊缝 4-焊件

焊接电流/A	喷嘴直径/mm	氩气流量/(L/min)
140~180	10	8~10
160~280	10~12	12~14
250~350	12~14	14~16
300~400	14~18	14~16
350~500	16~20	20~24

d. 操作过程。开始焊接时,焊接速度要适当慢些,使接头处得到预热、保证焊透和获取均匀一致的良好焊缝成形,然后再逐渐加快焊接速度。为防止焊缝始端产生裂纹,在开始焊接一小段焊缝后稍停,使焊缝稍加冷却后接着焊接。操作过程中,焊枪应均匀、平稳地向前作直线运动,并保持恒定的电弧长度。进行不添加焊丝的对接焊缝时,弧长保持1~2mm;添加焊丝时,弧长可拉长为2~5mm,以便焊丝能自由伸进。焊枪移动时,可作间断的停留,当接头处达到一定的深度后,再添加焊丝,向前移动。当焊接坡口处尚未达到熔化温度时,焊丝应处于熔池前端的氩气保护区内;当熔池达到一定温度后,应从熔池边缘送入焊丝;若发现熔池中混入较多杂质时,应停止添加焊丝,并将电弧适当拉长,用焊丝挑去熔池表面的杂质;熔池不清时,不添加焊丝。

2) 纯铜的熔化极氩弧焊(MIG焊) 焊件厚度大于12mm时,可采用熔化极氩弧焊,电源采用直流反接。选用焊丝的原则与钨极氩弧几乎完全一样。由于熔化极氩弧焊的热输入大,加热范围大,如采用不含脱氧元素的纯铜作焊丝,会因脱氧不足,焊缝中出现气孔,焊缝强度降低,为此应采用含磷、锡、锰等的焊丝,如HSCu(HS201)。焊接脱氧铜,铜中残留的磷有助于获得最高焊缝强度和减少气孔。

表 6-26 纯铜熔化极氩弧焊的焊接参数

板厚/mm	坡口		
	形式	钝边/mm	根部间隙/mm
3.2	I形	-	0
6.4	I形	-	0
6.4	V形	3.2	0~3.2
12.7	V形	0~3.2	0~3.2
12.7	V形	6.4	0

大多数状况下选用氩气作为焊接铜及铜合金的保护气体,如果焊接纯铜或高导热性铜合金,不允许预热或要求获得较大熔深时,可采用体积分数为 30% 的氩与 70% 的氮混合气作为保护气体。

熔化极氩弧焊具有较强的穿透力,开 I 形坡口的焊件极限尺寸及钝边可比钨极氩弧焊大,坡口角度可减小,一般不留间隙。

为提高效率,熔化极氩弧焊可采用大电流、高速焊的强规范。由于熔池增大,保护气体流量也应增加,焊接参数见表 6-26。与钨极氩弧焊相比,焊接相同厚度的铜件,焊接电流增加了 30%,焊接速度可提高一倍。当焊接电流密度增加时,焊滴由短路过渡转为喷射,只有实现喷射过渡才能获得最稳定的焊接电弧和良好的焊缝成形。

(4) 纯铜的埋弧焊。埋弧焊焊接时允许采用较大的焊接电流,电弧在焊剂层下燃烧,电弧热辐射损失小,所以焊接纯铜时一般不用预热,特别适用于中、厚板和长而规则焊缝的焊接。

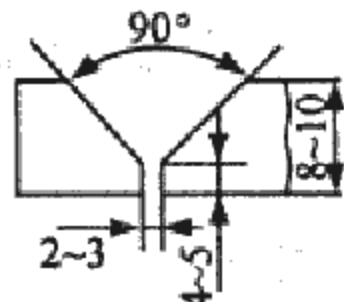
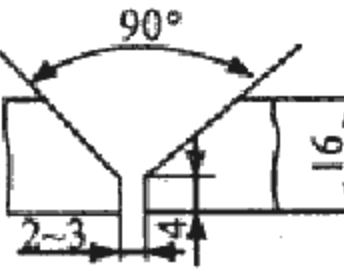
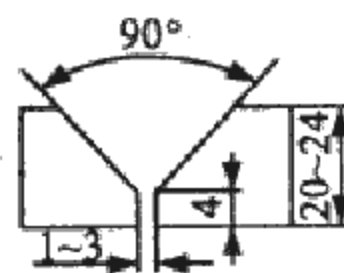
纯铜埋弧焊时可经采用纯铜焊丝 HSCu(HS201)和合金元素的硅锰青铜焊丝 HSCuSi(HS211)等。焊剂可采用 HJ431、HJ260 和 HJ150 等,通常可以将纯铜焊丝配合 HJ431

焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	氩气流量 /(L/min)	预热温度 /℃
1.6	310	27	14	-
2.4	460	26	14	100
1.6	400~425	32~36	14~16	200~260
1.6	425~450	35~40	14~16	425~480
2.4	600	27	14	200

使用。厚度大于 20mm 的焊件应开坡口,坡口形式应选用 U 形,钝边为 5~7mm,焊接时采用较大的焊接电流和较高的电弧电压,焊件背面采用焊剂垫。由于纯铜的导热性好,为保证焊接质量,对于厚度大于 12mm 的焊件可采用局部预热。在不预热的条件下进行双面焊时,焊缝中容易产生未焊透、夹杂和气孔等缺陷,故应尽可能地采用单面焊双面成形的操作工艺。

由于纯铜导热性好,热容量大,埋弧焊宜选大电流、高电压的强规范,焊接时电源采用直流反接。纯铜埋弧焊常用的焊接参数见表 6-27。

表 6-27 纯铜埋弧焊常用的焊接参数

板厚 /mm	坡口形式	焊丝牌号	焊剂牌号	预热温度/℃	电源种类及极性
8~10		HSCu	HJ431	不预热	直流反接
16		HSCu	HJ150 HJ431	不预热	直流反接
20~24		HSCu	HJ150 HJ431	260~300	直流反接

(5) 纯铜焊接生产应用实例——结晶器筒体的焊接

1) 结晶器筒体结构 如图 6-7 所示,其厚度为 34mm,材质为纯铜(T2)

2) 焊接材料 焊丝采用 HSCu(HS201),直径为 4mm;气焊熔剂为 CJ301;选用 $\phi(\text{Ar})$ 为 99% 的氩气。

3) 焊机 采用 NZC - 1000 型熔化极气体保护焊机,选择平特性电源、直流反接。

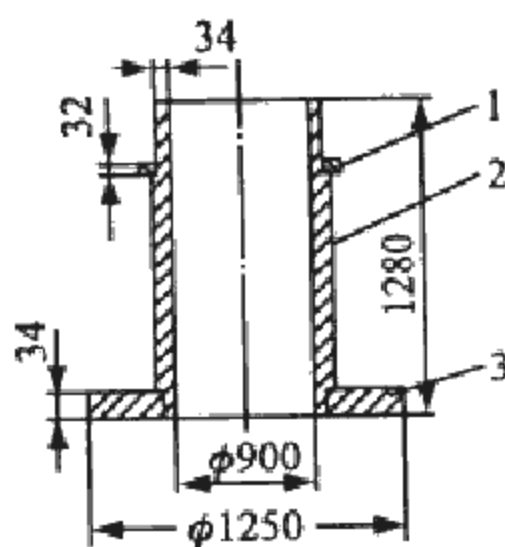


图 6-7 纯铜结晶器筒体结构示意图

焊丝直径/mm	焊接层次	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(m/h)	备注
5	1	500 ~ 550	30 ~ 34	18 ~ 23	有垫板 单面单层焊, 背面焊透
6	1	950 ~ 1000	50 ~ 54	13	有垫板 单层焊,背面 焊透
4	3-4	650 ~ 700	40 ~ 42	13	有垫板 单面多层焊, 背面焊透

4) 焊接要求 采用熔化极氩弧焊焊接,筒体上所有焊缝不允许有裂纹、未熔合及连续气孔、夹渣等缺陷。

5) 焊前准备 筒体拼装对接焊缝加成 U 形坡口(图 6-8a),铜法兰、钢法兰与筒体的角接与 T 形接头的坡口形式见图 6-8b 和图 6-8c。焊前用远红外线加热器将接头预热至 650℃ 左右,并清除焊丝和焊接处的油、污、锈。筒体对接时,在坡口背面设置如图 6-9 所示的石墨衬垫,以便实现单面焊双面成形。

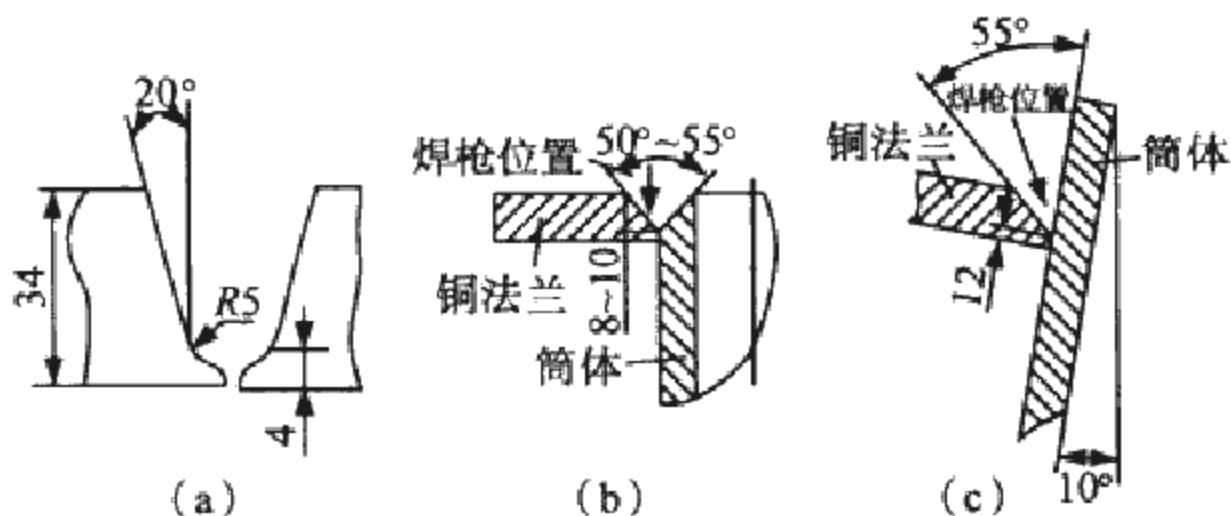


图 6-8 铜法兰、钢法兰与筒体的角接与 T 形接头的坡口形式

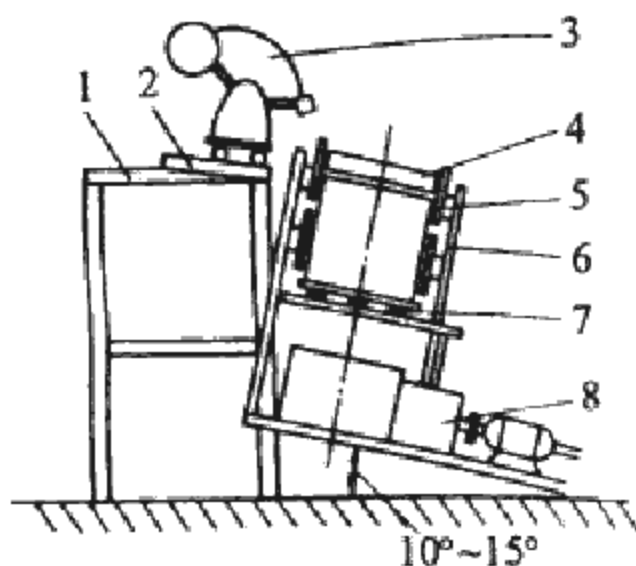


图 6-9 钢法兰焊接示意图

- 1-支架 2-水冷板 3-焊机 4-焊件 5-红外加热器
6-加热器支架 7-石棉板 8-转胎

6) 焊接工艺 结晶器由铜板卷成筒体焊接。

①筒体纵缝的焊接:将 12 块加热器分两圈布置在筒体

上。焊前用两个钢圈对筒体纵缝进行临时固定。焊接前,先在焊缝上撒上熔剂。焊接第一层焊缝时,钢环处的焊缝不焊,待局部焊接固定后,去掉钢环继续焊接。焊接参数为:焊接电流 600 ~ 700A,电弧电压 26 ~ 32V,焊接速度 12 ~ 30m/h。焊接第一层时为避免烧穿,焊接电流可适当小一些。每焊一层均用钢丝刷清理焊缝,撒上熔剂再焊下一层。

②法兰角焊缝的焊接:纯铜法兰焊接时,将筒体固定在转胎上以水平位置进行焊接。钢法兰不在圆筒端部,将焊件倾斜 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$,并将转胎底部垫高。法兰焊缝不要求焊透,但背面要进行封底焊。

焊接法兰焊缝时散热快,为保证预热温度,将 12 片加热器分四组布置,每组 3 片串联。法兰焊缝的焊接参数见表 6-28。

表 6-28 结晶器筒体法兰焊缝的焊接参数

焊缝	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(m/h)
铜法兰封底焊	600 ~ 700	26 ~ 28	12
铜法兰焊接	600 ~ 700	26 ~ 28	18 ~ 30
钢法兰封底焊	500 ~ 600	27 ~ 29	12
钢法兰焊接	500 ~ 600	26 ~ 28	12 ~ 18

3. 黄铜的焊接工艺

(1)黄铜的焊接性。黄铜是铜锌合金,由于锌的沸点较低,仅为 907°C ,故焊接过程中极容易蒸发,这一点成为黄铜焊接的最大问题。在焊接高温作用下,焊条电弧焊时锌的蒸发量高达 40%,锌的大量蒸发,导致焊接接头的力学性能和耐蚀性能下降,还使之对应力腐蚀的敏感性增大。蒸发的锌在空气中立即被氧化成氧化锌,形成白色的烟雾,给操作带来很大困难,而且影响焊工身体健康,因此,焊接黄铜的场所,应加强通风等防护措施。黄铜的焊接性不良,焊

接时会产生气孔、裂纹、锌的蒸发和氧化等问题。为了解决这些问题,在焊接时常采用含硅的焊丝,因为硅的熔池表面会形成一层致密的氧化硅薄膜,阻碍锌的蒸发和氧化,并防止氢的入侵。焊后可经 $470 \sim 560^{\circ}\text{C}$ 的退火处理,以消除应力,防止“自裂”现象。

(2)黄铜的焊接方法。生产中常用的焊接黄铜的方法是焊条电弧焊和氩弧焊等,其工艺要点如下:

1)焊条电弧焊 焊条采用青铜芯焊条,如 ECuSn-B(T227)、ECuAl-C(T237)。补焊要求不高的黄铜铸件可采用纯铜芯焊条,如 ECu(T107)。电源采用直流正接,V形坡口角度不应小于 $60 \sim 70^{\circ}$ 板厚超过 14mm 时,焊前应预热 $200 \sim 400^{\circ}\text{C}$ 。

焊前焊件表面应作仔细清理,清除一切会产生氢气的油类杂质。

操作时应当用短弧焊接,焊条不做横向和前后摆动,只沿焊缝的直线移动。焊接速度要快,不应低于 $0.2 \sim 0.6\text{m}/\text{min}$ 。层与层之间的氧化膜及渣应清除干净。黄铜的铜液流动性大,故熔池最好处于水平位置,若熔池必须倾斜,则倾角不应大于 15° 。

2)氩弧焊 手工钨极氩弧焊时,焊丝采用锡黄铜焊丝 HSCuZn-1(HS221)、铁黄铜焊丝 HSCuZn-2(HS222)、硅黄铜焊丝 HSCuZn-4(HS224)。这些焊丝含锌较高,焊接时烟雾较大。亦可用青铜焊丝 HSCuSi(HS211)、HSCuSn(HS212)。手工钨极氩弧焊焊接黄铜的焊接参数见表 6-29。

表 6-29 手工钨极氩弧焊焊接黄铜的焊接参数

材料	板厚/mm	坡口形式	钨极直径/mm	电源种类及极性	焊接电流/A	氩气流量/(L/min)	预热温度/ $^{\circ}\text{C}$
普通黄铜	1.2	端接	3.2	直流正接	185	7	不预热
锡黄铜	2	V形	3.2	直流正接	180	7	不预热

由于锌的蒸发破坏氩气的保护效果,所以焊接黄铜时应选用较大的喷嘴孔径和氩气流量。焊前一般不预热,只有焊接厚度大于10mm的接头和焊接边缘厚度相差较大的接头时才需预热,后者只预热焊件边缘较厚的部分。

电源可采用直流正接,也可采用交流。用交流电源焊接时,锌的蒸发量较小。焊接参数宜采用较大的焊接电流和较快的焊接速度。厚16~20mm黄铜板的焊接参数为:焊接电流260~300A,钨极直径5mm,焊丝直径3.5~4.0mm,喷嘴孔径14~16mm,氩气流量20~25 L/min。

为了减少锌的蒸发,操作时可将填充焊丝与焊件“短接”,在填充焊丝上引弧和保持电弧,尽可能避免电弧直接作用到母材上,母材主要靠熔池金属的传热来加热熔化。焊接时,应尽可能进行单层焊,板厚小于5mm的接头,最好能一次焊完。

焊后焊件应加热到300~400℃进行退火处理,消除焊接应力,以防止黄铜构件在使用时破裂。

4. 青铜的焊接工艺

(1) 青铜的焊接性。青铜种类较多,化学成分不一,所以焊接性能也各有差异。青铜导热性比纯铜小,合金蒸发烧损比黄铜弱,所以青铜焊接性比纯铜和黄铜好。青铜的线收缩率比钢大50%,故焊件内应力大,对于刚度大的焊件焊后易开裂。

锡青铜焊接时会产生锡的偏析和氧化,氧化后形成的氧化锡溶解于铜中,使焊缝质量下降。锡青铜的凝固温度范围较宽,使得低熔点的锡产生偏析而削弱了晶间结合力,甚至可能引起产生裂纹。

铝青铜焊接时的主要困难是铝的氧化。难熔的氧化铝薄膜覆盖在熔池的表面,阻碍焊丝和熔池的结合,严重时导致产生夹渣。

(2) 青铜的焊接方法。青铜焊接时主要用于青铜铸件缺陷和损坏机件的补焊。常用的焊接方法是焊条电弧焊和

氩弧焊。

1) 焊条电弧焊 焊接锡青铜时采用 ECuSn-B(T227) 焊条, 焊接铝青铜时采用 ECuAl-C(T237) 焊条, 焊接的工艺要点见表 6-30。工艺参数见表 6-32。

表 6-30 青铜焊条电弧焊的工艺要点

材料	焊条牌号	工艺要点
锡青铜	ECuSn-B(T227)	预热 150 ~ 200℃, 层间温度小于 200℃, 焊后加热至 480℃, 并快速冷却
铝青铜	ECuAl-C(T237)	母材中 $\omega(\text{Al}) < 7\%$ 时, 厚件预热小于 200℃, 焊后不热处理; 母材中 $\omega(\text{Al}) > 7\%$ 时, 厚件预热 620℃, 焊后有时进行 620℃ 退火, 消除应力

焊条电弧焊焊接青铜的操作要领:

①要领一: 焊件坡口处彻底清除油、污、锈, 直至露出金属光泽。

②要领二: 对于穿透性缺陷和零件边缘的缺陷及焊接

表 6-32 青铜手工钨极氩弧焊的焊接参数

材料	板厚/mm	坡口形式	焊丝	
			名称	直径/mm
锡青铜	<1.6	I 形	铝青铜	1.6
	3.2	I 形		4
	9.5	V 形		4
硅青铜	1.6	I 形	硅青铜	1.6
	3.2	I 形		1.6
	9.5	V 形		3.2

金属的厚度不足时,需用垫板或成形挡板。

③要领三:用较大坡口角度(90° ~ 120°)、较大焊接电流,有利于气体和夹渣的逸出。

④要领四:操作时焊条做直线运动,不做横向摆动,以窄焊道施焊,并注意保持层间温度。

⑤要领五:补焊铝青铜铸件焊后应采取缓冷和热态锤击等方法消除应力。

2) 手工钨极氩弧焊 青铜手工钨极氩弧焊的焊接参数见表6-32。

表 6-31 焊条电弧焊焊接青铜的焊接参数

板厚	坡口形式	焊条直径	焊接电流/A
1.5	I形	2.2	60 ~ 100
3	I形	3.2 ~ 4	80 ~ 150
4.5	Y形	3.2 ~ 4	150 ~ 180
6	Y形	4 ~ 5	200 ~ 300
12	Y形	6	300 ~ 350

钨极直径/mm	电源种类及极性	焊接电流/A	氩气流量/(L/min)	预热温度/°C
1.6	交流	25 ~ 80	9 ~ 13	不需
4.5		210	9 ~ 13	
4.5		210 ~ 330	13	
1.6	交流	100 ~ 120	7	不需
1.6	直流正接	130 ~ 150	7	
3.2	直流正接	230 ~ 180	9	

手工钨极氩弧焊焊接青铜的操作要领:

①要领一:焊前清理缺陷、油污和氧化物。如缺陷是裂纹,应将裂纹批铲干净,并开出 90°坡口。

②要领二:青铜自身所含合金元素就具有较强的脱氧能力,所以焊丝成分只需补足氧化烧损部分,其合金元素含量略高于母材即可。焊丝使用前应用酸洗法清洗,清洗时先用体积分数为 15% 的硫酸加体积分数为 6% 的氯化铵水溶液清洗,再用热水把残留的溶液洗去。经酸洗后的焊丝应尽快使用,存放时间不可过长。

表 6-33 青铜熔化极氩弧焊的焊接参数

材料	板厚/mm	坡口		
		形式	钝边/mm	间隙/mm
铝青铜	3.2	I形	0	0
	9.5 ~ 12.7	V形	1	3.2
硅青铜	3.2	I形	0	0
	9.5 ~ 12.7	V形	1	3.2

③要领三:焊接电源采用直流正接,按常规氩弧焊技术操作。

④要领四:每焊完一层后,必须用钢丝刷仔细清理焊道。

⑤要领五:焊后将焊件放在炉中缓冷。

3) 熔化极氩弧焊 对于中、大厚度的铝青铜焊件,一般采用熔化极氩弧焊,此时焊缝致密,晶粒细小,缺陷少。由于铝青铜熔化金属表面张力较大,热导率较低,所以可进行各种位置的焊接。熔化极氩弧焊用直流电源时采用反接,焊接铝青铜时多采用交流电源。青铜熔化极氩弧焊的焊接参数见表6-33。

焊丝		焊接电流/A (直流反接)	电弧电压 /V	氩气流量/ (L/min)	预热温度 /℃
名称	直径/mm				
铝青铜	1.6	280 ~ 290	27 ~ 30	14	不需
	1.6	280 ~ 290	27 ~ 30	14	不需
硅青铜	1.6	260 ~ 270	27 ~ 30	14	不需
	1.6	260 ~ 270	27 ~ 30	14	不需