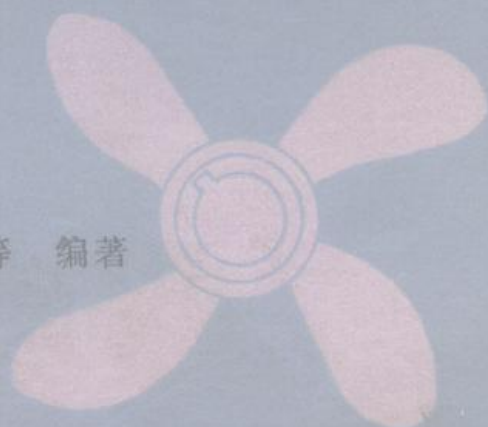


有色金属焊接

顾曾迪等 编著



机械工业出版社

有色金属焊接

顾曾迪等 编著



机械工业出版社

本书着重叙述常用的有色金属铜、铝、钛及其合金的焊接基本知识以及焊接工艺。此外，对纯镍、镁合金、锆及锆合金、铅及铅合金和纯银等金属的焊接技术也作了扼要的介绍。

为使读者了解有色金属焊接的特点，书中对金属的性能、焊接性、焊接材料、焊接设备、焊接操作方法以及焊接接头的质量检验等内容均作了论述。在叙述有色金属的焊接方法时，以介绍常用的气焊、手工、自动钨极氩弧焊，钨极脉冲氩弧焊，自动、半自动熔化极氩弧焊为主，还对若干有色金属的电阻点焊、滚焊工艺等作了简要的介绍。

本书可供焊工和初、中级技术人员阅读，可作为高等院校焊接专业师生的参考书，同时也可作为培训有色金属焊接专业人员的教材。

有色金属焊接

顾曾迪等 编著

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第113号）

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行，新华书店经售

开本 787×1092 1/32 · 印张12³/₈ · 字数211千字

1987年5月重庆第一版 · 1987年5月重庆第一版印刷

印数 0,001—7,750 · 定价 2.70元

统一书号：15033·6539



前 言

随着科学技术的不断发展,各种有色金属的应用范围日益广泛。但各种有色金属具有特殊的性能,这给焊接工作带来了一定的困难。由于焊件厚度(特别是极薄、极厚件)、结构形状等的不同,需要采用相应的焊接方法及工艺,才能获得优质的焊接接头及较高的焊接生产率。

为了有效地掌握各种有色金属的焊接技术,必须进一步了解金属的基本性能、焊接特点、焊接材料、焊接设备、焊接操作方法及接头质量检验等内容。而有色金属的焊接比钢、铁等黑色金属的焊接要复杂得多。在实际工作中,人们很需要掌握一些有色金属焊接的基本理论知识、具体工艺规范数据和经验等资料,但国内尚缺乏一本较系统而又实用的有色金属焊接专著。

鉴于上述情况,编者总结二十多年来从事有色金属焊接科研与生产的经验,并参考国内外有关有色金属焊接的文献资料,编成此书。在编写过程中,力求深入浅出、通俗易懂地介绍有色金属焊接的基本概念和焊接工艺,并通过对所列举的典型实例的分析,以加深对基本概念的理解,帮助焊接专业的工程技术人员及工人掌握与处理各种有色金属焊接技术问题。

本书所介绍的焊接方法以熔化焊为主,但也包括了某些有色金属的电阻点焊、滚焊工艺。书末附有各种有色金属的国内外牌号对照表等表格,便于读者查用。

本书由上海工程技术大学顾曾迪副教授主编,新阳机械

IV

厂研究所杨大木、江南造船厂金心博、叶强同志分别编写第五章、第七章。上海交通大学陈根宝副教授对书稿作了认真审阅，并提出了不少有益意见，在此谨致谢意。

限于水平，书中难免存在一些缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

编者

于一九八五年十一月

目 录

前言

第一章 铝及铝合金焊接	1
一、铝及铝合金的性能	1
1. 铝及铝合金的种类和机械性能	2
2. 铝及铝合金的焊接特性	6
二、熔化焊方法和焊接材料的选择	9
1. 焊接方法	9
2. 焊接材料的选择	11
3. 焊丝、焊件清洗	18
三、气焊	20
1. 气焊的特点及工艺	20
2. 气焊操作方法	25
3. 焊后清洗	26
四、钨极氩弧焊	27
1. 手工钨极氩弧焊	28
2. 自动钨极氩弧焊	47
3. 交流钨极脉冲氩弧焊	48
五、熔化极氩弧焊	54
1. 自动、半自动熔化极氩弧焊	54
2. 熔化极脉冲氩弧焊	68
六、真空电子束焊接	78
七、电阻点焊、滚焊	81
1. 点焊、滚焊的特点	81
2. 焊前准备	84
3. 焊接规范选择	85

4. 点焊、滚焊焊缝中的缺陷	89
八、焊接接头中的缺陷及焊缝质量检验	90
1. 焊接接头中的缺陷	90
2. 焊缝质量检验	98
第二章 铜及铜合金焊接	107
一、铜及铜合金的注能	107
1. 铜及铜合金的种类和机械、物理性能	107
2. 铜及铜合金的焊接特性	114
二、焊接材料及焊前准备工作	117
1. 焊接材料	117
2. 焊前准备	127
三、紫铜的焊接	130
1. 紫铜的气焊	130
2. 紫铜的碳弧焊	134
3. 紫铜的电弧焊	140
4. 紫铜的手工钨极氩弧焊	145
5. 紫铜的埋弧自动焊	151
6. 紫铜的自动熔化极氩弧焊	158
7. 紫铜的等离子弧焊接	173
四、黄铜的焊接	181
1. 焊接材料及焊前预热	181
2. 黄铜的焊接方法	182
3. 黄铜铸件的焊补	187
4. 黄铜的电阻点焊	189
五、青铜的焊接	191
1. 铝青铜的焊接	191
2. 锡青铜的焊接	193
3. 硅青铜的焊接	196
六、紫铜与不锈钢的焊接	197
七、焊接缺陷及接头质量	200

1. 焊接缺陷	201
2. 焊接接头质量	203
第三章 钛及钛合金焊接	206
一、钛及钛合金的性能及焊接特点	207
1. 钛及钛合金的性能	207
2. 钛及钛合金的焊接特点	213
二、钨极氩弧焊工艺	220
1. 焊前准备	220
2. 焊接区的气体保护措施	224
3. 氩弧焊工艺	231
4. TA2工业纯钛的焊接	237
5. 钛管的焊接	239
6. TC3钛合金的焊接	243
7. TB2钛合金的焊接	244
三、直流钨极脉冲氩弧焊	245
四、等离子弧焊接	247
1. 金属阳极电解槽中TA2工业纯钛板的焊接	248
2. TC4钛合金球(钛合金压力容器)的焊接	251
五、钛及钛合金的电阻点焊、滚焊	252
1. 电阻点焊	253
2. 滚焊	256
第四章 锆及锆合金焊接	258
一、锆及锆合金的性能及其焊接特点	258
1. 锆及锆合金的性能	258
2. 锆及锆合金的焊接特点	260
二、锆及锆合金的钨极氩弧焊	262
1. 焊前准备	262
2. 焊丝	262
3. 气体保护措施	263
4. 氩弧焊工艺	265

5. 真空充氩焊	271
三、铝及铝合金的电阻点焊	272
第五章 镁及镁合金焊接	276
一、镁及镁合金的性能	276
1. 概述	276
2. 几种常用镁合金的性能	276
二、镁合金的焊接性	277
1. 镁合金的焊接特点	277
2. 镁合金的焊接性	280
三、镁合金的焊接技术	289
1. 焊接设备及材料的选择	289
2. 坡口及装配间隙	290
3. 焊前清理	290
4. 焊前预热及焊后热处理	291
四、镁合金的钨极氩弧焊	295
1. 氩弧焊规范参数	295
2. 氩弧焊操作技术	297
五、镁合金的气焊	298
六、镁合金的电阻点焊	299
七、焊接缺陷及焊补	300
1. 焊接缺陷	300
2. 镁合金的焊补	303
八、安全技术	305
第六章 纯镍的焊接	306
一、纯镍的焊接性及其焊接工艺	306
1. 纯镍的性能	306
2. 纯镍的焊接性	308
3. 纯镍的焊接工艺	309
二、纯镍的钨极氩弧焊	309
1. 填充焊丝	309

2. 钨极氩弧焊工艺	311
3. 纯镍管子与管板的手工氩弧焊	313
三、纯镍的手工电弧焊	316
1. 焊条	316
2. 焊接工艺	319
四、三聚氰氨凝磨装置中纯镍转鼓的焊接	320
1. 试验材料及设备	320
2. 焊接工艺	322
3. 纯镍焊接接头性能试验	324
五、纯镍与奥氏体不锈钢的焊接	329
六、氢氧化钾反应锅中纯镍与低碳钢的焊接	336
七、纯镍的电阻点焊	338
第七章 铅的焊接	340
一、铅的性能及焊接性	340
1. 铅的一般性能	340
2. 铅的焊接性	343
二、铅的焊接工艺	344
1. 器具和专用工具	344
2. 焊接火焰的调节	347
3. 焊前准备	348
三、铅的焊接操作方法	351
1. 平焊	351
2. 立焊	354
3. 横焊	356
4. 仰焊	357
5. 角接焊	358
6. 铅管的焊接	359
四、焊缝的质量检验及劳动防护措施	361
1. 焊缝的质量检验	361
2. 焊接时的劳动防护措施	362

X

五、铅的焊接实例	363
1. 钢质酸洗槽内衬的焊接	363
2. 钢质酸洗槽内放流管的焊接	366
第八章 纯银的焊接	368
一、纯银的基本性能及其焊接特点	368
1. 纯银的基本性能	368
2. 纯银的焊接特点	369
二、纯银的气焊	370
三、纯银的钨极氩弧焊	371
四、银复合板的焊接	372
附录	374
一、工业纯铝焊接接头快速硝酸腐蚀试验方法	374
二、铝焊缝X射线探伤技术要求	375
三、各国变形铝合金牌号对照表	376
四、各国铸造铝合金牌号对照表	379
五、各国铜合金牌号对照表	380
六、各国钛合金牌号对照表	382
七、各国变形镁合金牌号对照表	383
八、有色金属硬度换算表	383
参考资料	384

第一章 铝及铝合金焊接

铝及铝合金具有良好的耐蚀性、较高的比强度及一定的导电性和导热性所以在工业部门中得到了广泛的应用。因此，迅速掌握和积极推广铝及铝合金的各种焊接新方法、新工艺，对扩大铝合金的应用范围具有十分重要的意义。

为了有效地制造各种铝结构，必须掌握铝及铝合金的性能、各种焊接方法的特点、焊接材料的选择原则、坡口的加工、焊接的操作工艺、焊接设备的性能、焊接接头质量检验方法，缺陷的形成及预防措施等内容，才能根据不同产品的要求，选择合适的焊接方法，制订正确的工艺规程，从而获得优良的焊接接头，保证产品焊接质量。

一、铝及铝合金的性能

铝是银白色的轻金属。它的熔点为 658°C ，密度为 2.7 千克/米³。铝的电导率仅次于金、银、铜，居第四位。纯铝的热导率约比钢大两倍左右。铝还具有热容量和熔化潜热高、耐腐蚀性好，以及在低温下能保持良好的机械性能等特点。

纯铝跟空气接触时，就会在其表面上生成一层致密的三氧化二铝薄膜，这层氧化膜可防止冷的硝酸及醋酸的腐蚀。但是，在碱类和含有氯离子的盐类溶液（如氯化钠）中，这层氧化膜被迅速破坏，从而引起纯铝的强烈腐蚀。纯铝中所含的各种杂质愈少，形成氧化膜的能力愈显著。铝镁合金具有耐海水（氯盐溶液）腐蚀的性能。

1. 铝及铝合金的种类和机械性能

在铝中加入铜、镁、锰、硅、锌、钒和铬等合金元素，可获得不同性能的合金。根据铝合金的化学成分和制造工艺，可分成变形铝合金和铸造铝合金两大类。图1-1为铝合金的二元系状态图，图中最大饱和溶解度 n 点是这两类合金成分的分界线。 n 点以右的合金称铸造铝合金。这类合金中存在着共晶组织，流动性较好，因此适宜于铸造。 n 点以左的合金称变形铝合金。当合金加热到固溶线 $m-n$ 以上时，可获得均匀的单相固溶体组织，这种组织的变形能力较好，适于锻造及压延。

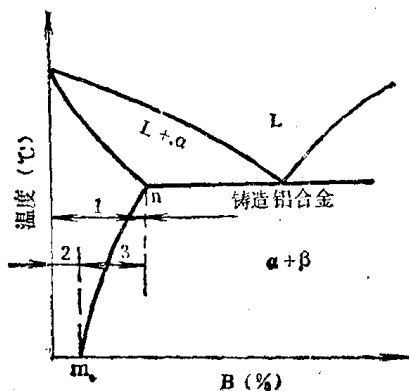


图1-1 铝合金的二元系状态图

1—变形铝合金 2—非热处理强化铝合金
3—热处理强化型铝合金

变形铝合金又可分为热处理强化和非热处理强化型铝合金。成分在 m 点以左的合金，其固溶体成分不随温度而变，属于非热处理强化型铝合金，这种合金系统不能通过热处理来提高其机械性能，而只能用冷作变形强化。成分在 mn 点之间的合金，其固溶体的成分随温度而变，属于热处理强化型铝合金。各种铝及铝合金的成分列于表1-1。

按纯铝中所含铁、硅杂质的数量，可把纯铝分成各种纯度等级的工业纯铝。工业纯铝 $L1$ 的纯度最高，含铝量 99.7%，杂质总和小于 0.3%。

纯铝的抗拉强度不高，仅约为 78.4~98 牛/毫米²，但塑

性较好（延伸率达60%）。当纯铝中的铁、硅杂质含量增加时，塑性及耐腐蚀性能便显著降低。纯铝的导电率约为紫铜的60%。

非热处理强化型铝合金包括铝锰和铝镁合金两类。这种合金的特点是强度中等、塑性良好、容易通过压力加工制成各种半成品，并具有满意的焊接性、良好的耐振性和耐腐蚀性，因此又称为防锈铝合金。

铝镁合金只有LF21一种牌号，合金的含锰量为1.0~1.6%，含锰量大于1.6%时，会形成大量的脆性化合物，从而降低合金的机械性能。

铝锰合金中的镁含量在7%以下，含镁量超过7%时，合金的塑性降低，焊接性能变坏。在铝镁合金中加入0.15~0.3%的锰，有利于改善耐腐蚀性，还能提高合金的强度。若在铝镁合金中分别加入0.1%左右的钛和钒，则可促使其合金获得细晶粒组织。铁、铜、锌等元素都能使铝合金的耐腐蚀性及工艺性变坏，所以应该限制其含量。

热处理强化型铝合金可分为硬铝、锻铝和超硬铝合金三类。

硬铝合金中的铜、硅、镁等元素能形成溶解于铝的化合物，从而促使合金在热处理时强化。该合金所含的铜与铝二元素可形成熔点约548℃的共晶体（ $\text{Al}-\text{CuAl}_2$ ），除了铜和镁外，硬铝中加入含量为0.3~0.9%的锰，它可减少铁的危害影响，提高耐腐蚀性，还能细化晶粒，加速时效硬化。

硬铝的耐腐蚀性能差。为提高合金的耐蚀性，常在硬铝板表面上覆盖一层工业纯铝保护层。

锻铝（LD2）属于铝-镁-硅系合金。这类合金在高温下具有良好的塑性，因此适宜于制造锻件及冲压件。

表1-1 常用铝及铝合金的牌号及化学成分

类 别	牌 号	化 学 成 分 (%)						杂质总和 小于(%)
		铜	镁	锰	硅	其 他	铝	
工业纯铝	L1	—	—	—	—	—	≥99.7	0.30
	L2	—	—	—	—	—	≥99.6	0.40
	L3	—	—	—	—	—	≥99.5	0.50
	L4	—	—	—	—	—	≥99.3	0.70
	L6	—	—	—	—	—	≥98.8	1.20
防锈铝合金	LF2	—	2.0~2.8	0.15~0.4	—	—	余 量	0.80
	LF3	—	3.2~3.8	0.3~0.6	0.5~0.8	—	余 量	0.85
	LF5	—	4.0~5.5	0.3~0.6	—	—	余 量	1.40
	LF6	—	5.8~6.8	0.5~0.8	钼0.001~0.005	钛0.02~0.1	余 量	1.20
	LF21	—	—	1.0~1.6	—	—	余 量	1.75
硬 铝 合 金	LY3	2.6~3.5	0.3~0.7	0.3~0.7	—	—	余 量	1.10
	LY11	3.8~4.8	0.4~0.8	0.4~0.8	—	—	余 量	1.20
	LY12	3.8~4.9	1.2~1.8	0.3~0.9	—	—	余 量	1.50
锻 铝 合 金	LD2	0.2~0.6	0.45~0.9	0.15~0.35	0.5~1.2	—	余 量	0.80
高强度铝合金	LC4	1.4~2.0	1.8~2.8	0.2~0.6	铋5.0~7.0	铋0.1~0.25	余 量	1.10
铸 铝 合 金	LT1	—	—	—	4.5~6.0	—	余 量	1.00

表1-2 铝及铝合金的机械性能

类 别	牌 号	材 料 状 态	抗拉强度 (牛/ 毫米 ²)	屈服极限 (牛/ 毫米 ²)	延伸率 (%)	断面 收缩率 (%)	布氏 硬度 (度)
工业 纯铝	L6	退 火	88.2	29.4	30	—	25
	L4	冷作硬化	137.2	98	12	—	32
防 锈 铝 合 金	LF21	退 火	127.4	49	20	70	30
		冷作硬化	156.8	127.4	10	55	40
	LF2	退 火	196	98	23	—	45
		冷作硬化	245	205.8	6	—	60
硬 铝 合 金	LY11	淬火+自然时效	411.6	235.2	18	35	100
		退 火	205.8	107.8	18	58	45
		包铝的, 淬火+自然时效	372.4	215.6	18	—	100
		退 火	372.4	107.8	18	—	45
	LY12	淬火+自然时效	460.6	323.4	17	30	105
		退 火	205.8	107.8	18	55	42
		包铝的, 淬火+自然时效	421.4	294	18	—	105
		包铝的, 退火	176.4	98	18	—	42
	LY3	淬火+自然时效	333.2	205.8	10	40	80
		退 火	166.6	78.4	20	—	—
	LY1	淬火+自然时效	294	166.8	24	50	70
		退 火	156.8	58.8	24	—	38
锻 铝 合 金	LD2	淬火+人工时效	323.4	274.4	12	20	95
		淬 火	215.6	137.6	22	50	65
		退 火	127.4		24	65	30
高 强 铝 合 金	LC4	淬火+人工时效	588	539	12	—	150
		退 火	254.8	127.4	13	—	—

高强度铝合金 (LC4) 属于铝-锌-镁-铜系合金, 抗拉强度可达 588 牛/毫米^2 (见表 1-2), 但塑性较差。由于合金中含锌量较多, 形成晶间腐蚀及焊接热裂纹的倾向较大。

热处理强化型铝合金经热处理后强度显著提高, 例如退火状态下硬铝的抗拉强度为 $160 \sim 220 \text{ 牛/毫米}^2$, 经过淬火及时效后抗拉强度增至 $312.4 \sim 460 \text{ 牛/毫米}^2$ 。这类合金的强度很高, 但焊接性差, 焊接过程中容易出现热裂纹, 焊后接头强度的软化比较严重, 用一般的熔焊方法不易保证质量, 所以在航天、航空工业中多采用电阻点焊、滚焊制造受力较大的构件。

铸造铝合金具有一定的强度、优良的耐腐蚀性及铸造工艺性, 表 1-3 为铸造铝合金的化学成分及机械性能数据。

铸造铝合金可分为铝-硅、铝-镁、铝-铜系合金等类型。常用的铝硅合金, 其密度小, 液体流动性好, 并且具有优良的耐腐蚀性及高的机械性能。典型的铝硅合金牌号为 ZL7, 含硅量 $10 \sim 13\%$ 。这种合金凝固时的收缩率小, 因此, 用来铸造优质、形状复杂的铸件, 如汽车发动机上的汽缸、活塞等。

2. 铝及铝合金的焊接特性

铝及铝合金具有独特的物理化学性能, 因此, 在焊接过程中会产生一系列的困难。具体表现有以下几点:

(1) 强的氧化能力 铝和氧的亲合力很大, 在空气中铝容易与氧结合生成紧密结实的三氧化二铝薄膜(厚度约 0.1 微米)。这层薄膜的熔点高达 2050°C , 密度 $3.95 \sim 4.10 \text{ 千克/米}^3$, 约为铝的 1.4 倍, 它会吸附水分, 并在焊接过程中形成气孔、夹渣等缺陷, 从而降低了焊接接头的机械性能。

为保证获得良好的焊接接头, 在焊前需去除三氧化二铝薄膜, 并在焊接过程中防止熔池继续受到氧化。在气焊、碳