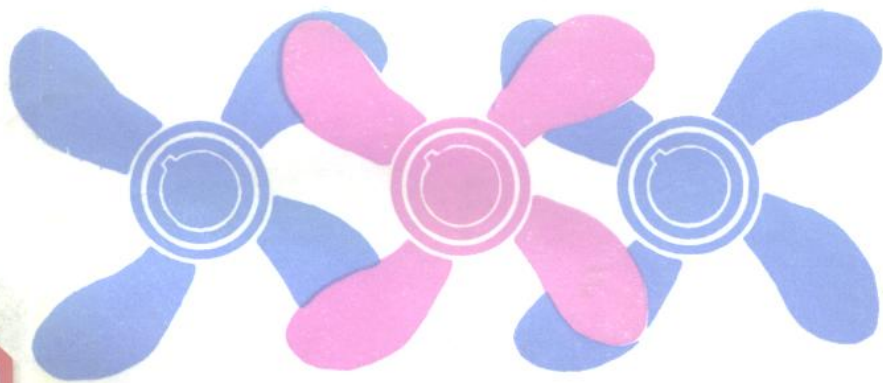


有色金属焊接

(第2版)

顾曾迪 陈根宝 金心溥 编著



机械工业出版社

有色金属焊接

(第 2 版)

顾曾迪 陈根宝 金心溥 编著



机械工业出版社

(京)新登字054号

本书是根据1987年版修订的,还结合焊接技术的新发展,对部分章节作了调整与增删;同时力求全面采用新的技术标准。本书着重介绍了常用的铝、铜、钛及其合金的焊接知识及工艺。对纯镍、纯银、镁及镁合金、锆及锆合金、铅及铅合金和异种金属的焊接技术也作了较详细的阐述。为使读者能全面地了解有色金属的焊接特点,书中对金属的焊接性、焊接材料、焊接设备、焊接工艺、焊接操作技术以及焊接的质量检验等均作了叙述。在叙述有色金属焊接方法时,除了介绍常用的手工钨极氩弧焊、钨极脉冲氩弧焊、自动熔化极氩弧焊外,还探讨了半自动熔化极脉冲氩弧焊、等离子弧焊、真空电子焊、电阻点焊、缝焊和钎焊等。

本书可供中级以上焊工和初、中级技术人员阅读,也可作为高等院校焊接专业师生的参考书以及培训有色金属焊接专业人员的教材。

图书在版编目(CIP)数据

有色金属焊接/顾曾迪等编著. —2版. —北京:机械工业出版社, 1995. 3

ISBN 7-111-04350-2

I.有… I.顾… I.有色金属-焊接工艺 N.TG457

中国版本图书馆CIP数据核字(94)第05953号

出版人:马九荣 (北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)
责任编辑:俞逢英 版式设计:霍永明 责任校对:肖新民
封面设计:方芬 责任印制:王国光
机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
1987年8月第1版·1995年1月第2版·1995年1月第3次印刷
787mm×1092mm¹/₃₂·13.5印张·294千字
9 751-12 750册
定价:12.80元

第1版 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、具体焊接工艺参数和经验等资料,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20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焊为主,但也包括了某些有色金属的电阻点焊、缝焊工艺。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，新阳机械厂研究所杨大木、江南造船厂金心溥、叶强高级工程师分别编写第五章、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

1985年11月

第2版 前言

本书是一本较系统而又实用的有色金属焊接专著。是编者总结了从事有色金属焊接科研、生产30多年所积累的经验，并参考国内外有关的文献资料编写的。

本书自1987年初版问世以来深受读者欢迎。鉴于近几年有关的焊接国家标准及其他国家标准已有所修改，且有色金属的焊接技术也在不断地改进和发展，有必要对全书作一次全面的修订。修订时增加了异种有色金属焊接及有色金属钎焊的内容。在铝及铝合金焊接和铜及铜合金焊接两章中还增加了若干典型焊接实例，其中有些项目是编者在80年代中期承担的重点工程的焊接技术难题，供读者参考。

参加本书第1版编写的有：主编是上海工程技术大学顾曾迪副教授主编、协编是沈阳新阳机械厂研究所杨大木高级工程师、江南造船厂金心溥、叶强高级工程师；上海交通大学陈根宝副教授审稿，本书第2版修订的有：主编是上海大阳焊接技术研究所所长顾曾迪，参加修订的有：陈根宝教授、杨大木和金心溥高级工程师及盛锡兴工程师。上海市焊接学会理事长、上海交通大学王铨教授对书稿作了认真仔细的审阅，并提出了宝贵的修改意见，在此表示深切的感谢。

限于编者的水平，书的修订本仍难免存在一些缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

编者

1994年4月

目 录

第1版前言

第2版前言

第一章 铝及铝合金焊接	1
第一节 铝及铝合金的性能	1
一、材料的种类及性能	2
二、材料的焊接特性	6
第二节 铝及铝合金的焊接技术	8
一、焊接方法	8
二、焊接材料的选择	9
三、焊丝、焊件的清洗	14
第三节 气焊	18
一、气焊的特点及工艺	18
二、气焊操作方法	22
三、焊后清洗	24
第四节 钨极氩弧焊	25
一、钨极氩弧焊的特点	25
二、手工钨极氩弧焊	26
三、自动钨极氩弧焊	47
四、交流钨极脉冲氩弧焊	48
第五节 熔化极氩弧焊	55
一、熔化极氩弧焊的特点	55
二、自动熔化极氩弧焊	56
三、焊接实例	60
四、半自动熔化极氩弧焊	66
五、焊接实例	70

六、熔化极脉冲氩弧焊	72
七、焊接实例	79
第六节 真空电子束焊	82
一、焊接的特点	82
二、焊接设备	82
三、焊接工艺参数的选择	83
四、焊接工艺	83
第七节 电阻点焊、缝焊	85
一、点焊、缝焊的特点	86
二、点焊、缝焊的设备	86
三、焊前准备	88
四、点焊、缝焊工艺参数的选择	89
五、点焊、缝焊焊缝中的缺陷	93
第八节 钎焊	94
一、钎焊的特点	94
二、焊件的清理和装配	94
三、钎料和钎剂的选择	95
四、钎焊工艺要点	97
第九节 熔焊焊接缺陷及焊缝质量检验	98
一、焊接缺陷	98
二、焊缝质量检验	106
第二章 铜及铜合金焊接	114
第一节 铜及铜合金的性能	114
一、材料的种类及性能	114
二、材料的焊接特性	123
第二节 铜及铜合金的焊接技术	126
一、焊接材料的选择	126
二、焊前准备	137
第三节 纯铜的焊接	140

一、气焊	140
二、碳弧焊	144
三、焊接实例	143
四、手工电弧焊	150
五、焊接实例	153
六、手工钨极氩弧焊	154
七、焊接实例	158
八、纯铜烘筒、锡林的自动钨极氩弧焊	168
九、埋弧焊	170
十、焊接实例	176
十一、自动熔化极氩弧焊	177
十二、焊接实例	180
十三、等离子弧焊接	186
第四节 黄铜的焊接	192
一、焊接材料及焊前预热	193
二、焊接方法	194
三、铸件的焊补	199
四、电阻点焊	202
第五节 青铜的焊接	203
一、铝青铜的焊接	203
二、锡青铜的焊接	207
三、硅青铜的焊接	209
第六节 钎焊	210
一、钎焊的特点	210
二、焊件的清理和装配	211
三、钎料和钎剂的选择	211
四、钎焊工艺要点	217
第七节 焊接缺陷及焊接接头质量检验	217
一、焊接缺陷	218

二、焊接接头质量检验	220
第三章 钛及钛合金焊接	224
第一节 钛及钛合金的性能	225
一、材料的种类及性能	225
二、材料的焊接特性	230
第二节 钨极氩弧焊	236
一、焊前准备	236
二、焊接区的气体保护措施	240
三、氩弧焊工艺	247
四、焊接实例	253
五、直流钨极脉冲氩弧焊	266
第三节 等离子弧焊接	268
一、焊接的特点及工艺	268
二、焊接实例	269
第四节 电阻点焊、缝焊	274
一、电阻点焊	274
二、缝焊	277
第四章 锆及锆合金焊接	279
第一节 锆及锆合金的性能	279
一、材料的种类及性能	279
二、材料的焊接特性	282
第二节 钨极氩弧焊	283
一、焊前准备	283
二、填充焊丝的选择	284
三、焊接区的气体保护措施	284
四、氩弧焊工艺	288
五、钨极脉冲氩弧焊	292
六、焊接实例	295
七、真空充氩焊	295

第三节 电阻点焊	297
一、点焊的特点	297
二、焊前准备	297
三、点焊工艺参数的选择	297
四、点焊接头性能	299
第五章 镁及镁合金焊接	301
第一节 镁及镁合金的性能	301
一、材料的种类及性能	301
二、材料的焊接特点	306
第二节 镁及镁合金的焊接技术	314
一、焊接设备及材料的选择	314
二、坡口及装配间隙	315
三、焊前清理	318
四、焊前预热及焊后热处理	319
第三节 气焊	320
一、气焊的特点及工艺	320
二、气焊操作方法	320
第四节 钨极氩弧焊	322
一、焊接的特点及工艺	322
二、焊接操作技术	324
第五节 电阻焊	324
一、点焊的特点	324
二、焊前准备	324
三、点焊工艺参数的选择	325
第六节 焊接缺陷及安全技术	327
一、焊接缺陷	327
二、缺陷的焊补	328
三、安全技术	330
第六章 纯镍的焊接	331

第一节 纯镍的性能	331
一、材料的种类及性能	331
二、材料的焊接特性	334
三、纯镍的焊接技术	335
第二节 钨极氩弧焊	336
一、填充焊丝的选择	336
二、氩弧焊工艺	338
三、焊接实例	342
第三节 手工电弧焊	352
一、焊接的特点及工艺	352
二、手工电弧焊操作方法	355
第四节 电阻点焊	356
一、点焊的特点	356
二、点焊工艺参数的选择	358
第七章 纯银的焊接	359
第一节 纯银的性能	359
一、材料的种类及性能	359
二、材料的焊接特性	360
第二节 纯银的焊接技术	361
一、气焊	361
二、钨极氩弧焊	362
三、银复合板的焊接	363
第八章 异种金属焊接	365
第一节 纯铜与其它金属的焊接	366
一、纯铜与不锈钢的焊接	366
二、焊接实例	367
三、T2纯铜管与碳钢、不锈钢法兰的焊接	368
四、硅钢片上自动堆焊纯铜层	369
第二节 纯镍与其它金属的焊接	374

一、纯镍与奥氏体不锈钢的焊接	374
二、氢氧化钾反应锅中纯镍与低碳钢的焊接	381
第三节 Monel-400合金与20g钢的焊接	383
一、焊接试验	333
二、焊接实例	386
第四节 纯铜与锡磷青铜、黄铜和碳钢的电阻钎焊	387
一、纯铜与锡磷青铜的钎焊	388
二、纯铜与黄铜的钎焊	389
三、纯铜与碳钢的钎焊	389
第九章 铅的焊接	393
第一节 铅的性能	393
一、材料的种类及性能	393
二、材料的焊接特性	396
第二节 铅的焊接技术	397
一、器具和专用工具	397
二、焊接火焰的调节	399
三、焊前准备	401
第三节 铅的焊接操作	403
一、平焊	403
二、立焊	406
三、横焊	407
四、仰焊	409
五、角接焊	410
六、焊接实例	410
第四节 焊缝质量检验及劳动防护措施	417
一、焊缝的质量检验	417
二、劳动防护措施	418
参考文献	419

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构件，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。

第一节 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 $2.7\text{kg}/\text{m}^3$ 。铝的电导率较高仅次于金、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、耐蚀性好，以及在低温下能保持良好的力学性能等特点。

纯铝跟空气接触时，就会在其表面上生成一层致密的 Al_2O_3 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。

一、材料的种类及性能

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，可分形成变铝合金和铸造铝合金两大类。铝合金的二元相图如图1-1所示，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 点以左的合金称形变铝合金。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。

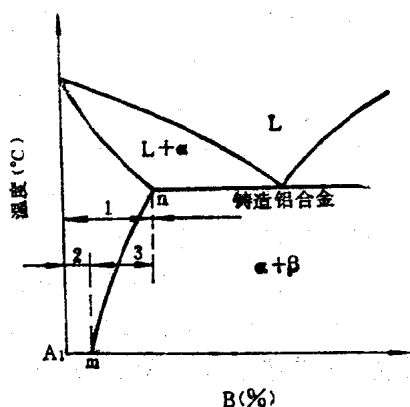


图1-1 铝合金的二元相图

1—形变铝合金 2—非热处理强化铝合金

3—热处理强化型铝合金

形变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力学性能，而只能用冷作变形强化。成分在 $m-n$ 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。常用形变铝合金的化学成分、力学性能及用途列于表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

表1-1 常用形变铝合金的化学成分、力学性能及用途 (GB3190—82)

类 别	代 号	化 学 成 分 (%)					半成品	力学性能②			用 途
		Cu	Mg	Mn	Zn	其 它		状态①	σ_s (MPa)	δ (%)	
防 锈 铝 合 金	LF5		4.8~5.5	0.3~0.6	—	—	M	280	20	70	焊接油箱、油管、焊条、铆钉以及中载零件及制品
	LF11		1.8~5.5	0.3~0.6	—	V 0.02~0.15	M	280	20	70	焊接油箱、油管、焊条、铆钉以及中载零件及制品
	LF21			1.0~1.6	—	—	M	130	20	30	焊接油箱、油管、铆钉以及轻载零件及制品
硬 铝 合 金	LY1		2.2~3.0	0.2~0.5	—	—	线材CZ	300	24	70	工作温度不超过100℃的结构用中等强度铆钉
	LY11		3.8~4.8	0.4~0.8	0.4~0.8	—	板材CZ	420	18	100	中等强度的结构零件,如骨架、横轴的固定接头、支柱、螺旋桨叶片、局部微粗的零件、螺栓和铆钉
	LY12		3.8~4.9	1.2~1.8	0.3~0.9	—	板材CZ	470	17	105	高强度的结构零件,如骨架、蒙皮、隔框、肋、梁、铆钉等150℃以下工作的零件

(续)

类别	代号	化学成分 (%)				半成品 状态①	力学性能②			用途
		Cu	Mg	Mn	Zn	其它	σ_b (MPa)	δ (%)	HBS	
超硬铝合金	LC4	1.4~2.0	1.8~2.8	0.2~0.6	5.0~7.0	C:0.10~0.25	600	12	150	结构中主要受力件,如飞机大梁、桁架、加强框、蒙皮接头及起落架
	LC9	1.2~2.0	2.0~3.0	0.15	5.1~6.1	C:0.16~0.30	680	7	190	结构中主要受力件,如飞机大梁、桁架、加强框、蒙皮接头及起落架
	LD5	1.8~2.6	0.4~0.8	0.4~0.8		Si:0.7~1.2	420	13	105	形状复杂中等强度的锻件及模锻件
锻铝合金	LD7	1.9~2.5	1.4~1.8			T:0.02~0.10 N:0.9~1.5 F:0.9~1.5	415	13	120	内燃机活塞和在高温下工作的复杂锻件,板材可作高温下工作的结构件
	LD10	3.9~4.8	0.4~0.8	0.4~1.0		Si:0.6~1.2	480	19	135	承受重载荷的锻件和模锻件

① M——包铝板材退火状态; CZ——包铝板材淬火自然时效状态; CS——包铝板材淬火人工时效状态。

② 防锈铝合金为退火状态指标; 硬铝合金为(淬火+自然时效)状态指标; 超硬铝合金为(淬火+人工时效)状态指标; 锻铝合金为(淬火+人工时效)状态指标。