

铝合金 焊接手册

LUHEJIN
HANJIESHOUCE

〔美〕A.L.PHILLIPS编

麻毓璜 译 陈一心 校

四川科学技术出版社

815
81

铝合金焊接手册

A. L. PHILLIPS 编

审稿委员会成员

DANA V. WILCOX	雷诺金属公司—主席
H. ADKINS	凯塞尔铝及化学制品销售公司
P. B. DICKERSON	耐蚀铝合金技术中心
E. A. HASEMEYER	马歇尔空间飞行中心
L. LOCKWOOD	道氏化学公司
I. A. MACARTHUR	奥林马斯松化学公司
R. L O'BRIEN	联合碳化物公司
G. ROTHSCHILD	航空公司焊接产品部
W. C SCHVLTZ	FMC公司

美国焊接学会联合工程中心出版

麻毓璜 译 陈一心 校

四川科学技术出版社

一九八五年·成都

责任编辑：崔泽海 李长涛

封面设计：陈昌年

版面设计：崔泽海

铝合金焊接手册

麻毓璜译

出版：四川科学技术出版社
印刷：四川灌县印刷厂
发行：四川省新华书店
开本：787×1092毫米 1/16
印张：13
字数：300千
印数：1—3,760
版次：1985年12月 第一版
印次：1985年12月第一次印刷
书号：15298·95
定价：2.65 元

书号：15298·00
定价：2.65元

目 录

引 言	(1)
一 工业用铝合金	(2)
二 焊接方法的选择	(22)
三 焊接结构设计	(24)
四 充填金属的选择	(29)
五 溶化剂氩弧焊	(36)
六 钨极氩弧焊	(49)
七 交流矩形波焊接	(56)
八 气 焊	(64)
九 (保护金属极) 电弧焊	(72)
十 电 栓 焊	(73)
十一 电子束焊	(75)
十二 电弧切割	(77)
十三 车间现场焊接	(81)
十四 焊接缺陷	(87)
十五 焊接修理	(92)
十六 焊接件的 特性	(93)
十七 铝金铸件焊接	(111)
十八 电渣焊	(114)
十九 电阻焊	(116)
二十 固态焊接	(139)
二十一 硬钎焊	(146)
二十二 软钎焊	(153)
二十三 胶接	(158)
二十四 不同类金属的焊接	(159)
二十五 质量控制	(162)
二十六 检查和试验	(166)
二十七 基本焊接符号和补充符号	(171)
文献目录	(172)

附录一	书中所用英制单位符号的意义及相应的公制单位的换算·····	(177)
附录二	美国变形铝合金化学成分·····	(178)
附录三	美国变形铝合金包覆产品的组成成分·····	(182)
附录四	各国变形铝及铝合金牌号对照表·····	(184)
附录五	常用铝合金焊丝的牌号和成分·····	(186)
附录六	美国变形铝合金的典型特性和应用·····	(187)
附录七	美国变形铝合金的典型热处理制度·····	(192)
附录八	美国变形铝合金典型退火制度·····	(197)
附录九	苏联变形铝合金典型热处理制度·····	(199)
附录十	苏联变形铝合金的典型退火制度·····	(201)

引 言

用熔焊、硬钎焊、软钎焊、粘结和机械连焊的办法，都可以很容易的将铝及铝合金连接在一起。在大多数情况下，使用焊接其它材料所用的普通设备和工艺，就可将铝进行焊接。然而，有时也需特殊的设备和工艺。合金的种类、焊件的形状、强度要求、焊缝的外观和焊接成本等，都是决定选用何种焊接方法的因素。每种焊接方法都有一定的优点，同时又受一定的限制。本书就是讨论铝合金的各种焊接方法的优缺点，以便帮助设计人员正确地选择焊接方法。

铝的一般特性：

铝虽是重量很轻的金属，但它的某些合金的强度却可与低碳钢媲美。它在负温(0℃以下)下，仍然保持了很好的韧性。并且具有很好的抗腐蚀性，能形成无色、无毒的盐。铝的导热性和导电性都很好，它对热和光都有很高的反射率。磨削时无火花和无磁性。

铝是容易加工的，它可用铸造、轧制、冲压、拔丝、旋压、拉形和滚轧成型等各种办法制成各式各样的制品(图0—1)。它也能用锤击、锻打和挤压的方法制成形状各异的制品。铝容易机械加工，且加工速度快，也是大量使用铝零件的重要因素之一。铝的机械性能，电化学性能，化学或油漆涂饰的变化范围也较宽。

纯铝的熔点为1220°F。而铝合金，随着其含的合金元素不同，它的熔化范围在900°F~1220°F之间变化。铝从常温加热到熔化焊或钎焊的范围内，没有颜色的变化，这就给怎样判断铝是否接近熔点变得十分困难。

和钢相比，铝的导热率高，熔焊时，就需要高的热量输入。对大型载面焊接时，需要进行预热。当使用电阻焊时，和焊钢件相比，因铝具有高的导电率，所以需要较大的电流和较短的焊接时间和精确的控制焊接参数。由于铝是无磁性的，当用直流电焊时，电弧不会有偏吹。因此，它可以用作焊接挡块和夹具。

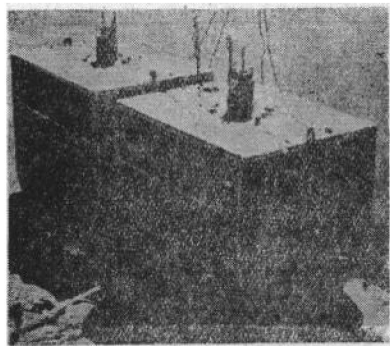


图0—1由轧制型材平板
焊接的燃料箱

在热处理后的铝表面上，会形成一层较厚的氧化物层。在进行电弧焊时，为了防止这层氧化物层使电弧焊回路绝缘，氧化膜在焊接以前，必须用化学方法或机械方法将其去除

对材料要进行焊接时，通常主要考虑的是合金的成份和熔点而不是考虑这种材料在加工中的形状。

铝和铝合金，暴露在空气中时，会很快形成一种粘着力强的，耐热性的氧化膜。在焊接期间，这层氧化膜必须除去或打碎，才能在熔焊时，使基体和充填金属正确地凝结；在硬钎焊和软钎焊时，使钎料很好的流动。氧化膜可用溶剂去除，也可在惰性气氛下，由焊接电弧的作用去除，者或用机械的或化学的方法去除。

一 工业用铝合金

纯铝可加入许多种元素形成铝合金，使其物理性能和机械性能，可以在一个广阔的范围变化。表1—1中列出了锻造铝合金中的主要合金元素。按照合金元素强化铝合金的情况可以分成，能热处理强化的和不能热处理强化的铝合金两大类。

锻造铝合金的薄板、板材、管件、挤压件、滚轧型材和锻件，不管其形状如何，都具有相同的焊接特性。铝合金也能用砂型、永久型或压力铸造的方法，铸造成各种铸件。事实上，对铸造和锻造的铝合金，都可用相同的熔焊、硬钎焊、软钎焊工艺进行焊接。压铸件一般不大使用焊接结构，然而，它可用粘结和一定范围的软钎焊。最近发展起来的真空压铸，改善了铸件的质量，在某些应用中，可以获得令人满意的焊接质量。

为了增加某些合金的抗腐蚀性，常常在这类合金的表面包覆一层高纯铝或特殊的铝合金，包覆在合金的一面或二面，其厚度一般为总厚度的2.5~15%。这层包覆层，由于其固有的抗腐蚀性，不仅保护了合金的成分不被腐蚀，而且由于一般会产生电化效应，更进一步的保护了芯材。特殊的成分也是为了便于硬钎焊、软钎焊或表面涂饰。

(一) 锻造合金

1. 不能热处理强化的铝合金

不能热处理强化的铝合金的初始强度，主要取决于强化元素如硅、铁、锰、镁等的强化效应。这类元素是以弥散强化或固溶强化的形式使合金的强度提高的。这类合金主要有以下系列：1000、3000、4000和5000（表1—2和表1—3）。这些系列是取决于它们的主要合金元素。在工业纯铝中，铁和硅是它们的主要杂质，但在1000系列合金中，它们是提高强度的。在不能热处理强化的合金中，镁是最有效的固溶强化元素。5000系列的

表1—1 合金丝的分类*

主要的合金元素	编 号
铝含量99.0%以上	1 × × ×
铜	2 × × ×
锰	3 × × ×
硅	4 × × ×
镁	5 × × ×
镁和硅	6 × × ×
锌	7 × × ×
其它元素	8 × × ×
新系列	9 × × ×

* 铝业协会的分法

铝镁合金，在退火状态下具有相当高的强度。所有不能热处理强化的铝合金，都是可加工硬化的。

为了消除不能热处理强化合金的加工硬化的影响和改善其韧性，可以将合金进行均匀加热后退火。使用什么样的退火规范，主要取决于合金的类型和性能要求。适用于不能热处理强化铝合金的基本退火规范列于表1—3和表1—4。

对于不能热处理强化的铝合金，进行熔焊时，由于在焊缝附近很窄的流域内形变硬化影响的消失，在这个很窄区域内的强度，会接近于退火状态的强度。广泛使用的不能热处理强化的铝合金的标定成分、性能及焊接特性列于表1—2和表1—3中。

2. 可热处理强化的铝合金

这类合金的初始强度，象前节刚介绍的不能热处理强化的铝合金一样，它仅仅取决于合金的成份。然而，由于象铜、镁、锌、硅等元素，无论是单一的加入，还是几种元素一起加入铝中，其固态溶解度是随着温度的增加而显著增加的，所以它能够进行热处理使其得到明显地强化。能热处理强化的铝合金，用固溶处理、淬火，紧接着自然时效或人工时效的办法，可以改善它的性能。冷加工也可提高其强度。这类合金也可以用退火的方法使其达到最大的韧性。这种处理是在高温保温和控制其冷却速率，使合金达到最大的软化状态。这类合金的主要热处理规范列于表1—5中。

能够热处理强化的铝合金有2000、4000、6000和7000系列，也是取决于它们的主要合金元素。某些广泛使用的可热处理强化的铝合金列于1—6和表1—7中。在表中列出了它们的标定成分、物理和机械性能，相对可焊性等指标。

(二) 铸造合金

虽然工业用铸造铝合金也是用数字表示分类，但没有一个统一的合金分类系列。编号前的字母仅表示数字代表的合金是经变质处理的。铸造合金和锻造合金一样有能热处理强化的和不能热处理强化的两类合金。第二种分类方法是按合金适合的铸造方法分类的，如砂型铸造，金属型铸造或压力铸造等。表1—8～表1—11分别列出了不能热处理强化的和能热处理强化的铸造铝合金的特性。

铸造铝合金的热处理规范，基本上和锻造铝合金相似，它所使用的主要热处理规范列于表1—12。

表1-2 不能热处理强化锻造铝合金的标定成份和典型应用

AA* 合金牌号	标定成分 (%合金元素)			通用型材						典 型 应 用		
	Mn	Mg	Cr	薄板 / 厚板	包覆薄板 / 厚板	丝材棒材			挤压 件		管件	铸件
						丝材	棒材	材				
E C	铝含量最小99.5%			×		×	×	×	×	×	×	电线, 汇流排。也可用作陈列机架, 隔板材料和捆扎线
1060	铝含量最小99.6%			×		×	×	×	×	×	×	化工设备、油箱、管件
1100 3003	铝含量最小99.0%			×		×	×	×	×	×	×	适用于建筑和装饰件, 如家具、炊具、管道设备、管件、拉深成型件、旋压空心制品
3004	1.2			×	×	×	×	×	×	×	×	用于要求强度稍高的和1100相似的普通用途。工业加工和食品搬运设备, 化学与石油化工用滚筒和容器等
5005	1.2	1.0		×	×	×	×	×	×	×	×	用于要求比3003强度高的金属薄壁零件, 如房顶、墙壁、排水沟、压力容器和灌溉水管等
5050	0.8			×		×	×	×	×	×	×	适用于和3003相似的导线, 比3003表面更光亮的制品, 和与6063相配的更精密的挤压件。特别希望用于建筑构件
5052	1.4			×		×	×	×	×	×	×	适用于和3003、5005相似, 但强度要较高的部件, 其表面质量很好
5652	2.5			×		×	×	×	×	×	×	是比5050强度高的合金, 抗蚀性很好, 在中间热处理下容易成型
5083	0.65	4.45	0.15	×		×	×	×	×	×	×	适用于金属薄壁零件, 贮存容器, 船舶, 家用设备和器具。适用于汽车和卡车壳体, 电子仪表仪器安装板、屏蔽罩、机壳以及铍子和灌溉水管。5652是一种高纯度合金, 可用于贮存装双氧水, 液压管道等
	0.65	4.45	0.15	×		×	×	×	×	×	×	结构件, 容器, 不用火的压力容器, 船舶元件, 铁路车辆低温器件, 钻井机构件等

续表1-2

AA* 合金牌号	标定成分 (%合金元素)			通过型材				典 型 应 用	
	Mn	Mg	Cr	薄板 / 厚板	通 过 型 材		管 件 锻 件		
					包 覆 薄 板 / 厚 板	丝 料 棒 材			挤 压 材 件
5086	0.45	4.0	0.1	×	×	×	×	×	船舶零件、容器、油船和卡车框架等 不用火的加力容器，油船等。5254是一种高纯度合金，可用于贮装双氧水 光亮磨光合金，用于汽车和设备装饰建筑抛光表面 同5252 用于结构件，特别是用于承受高温的容器 用于结构件，容器，不用火的压力容器，船用元件 光亮磨光合金，用于汽车，设备装饰抛光的表面 同5457 同5457
5154 5254		3.5	0.25	×	×	×	×	×	
5252		2.5		×					
5257		0.4		×					
5454		2.8	0.10	×	×	×	×	×	
5456		0.8	0.10	×	×	×	×	×	
5457		1.0		×	×	×	×	×	
5557		0.25		×					
5657		0.8		×					

*AA (美国铝业协会)、ASA (美国标准协会)、ASA (美国标准协会) 和 ASTM (美国材料试验学会) 表示方法相同。

表1-3 不能热处理强化锻造铝合金的相对可焊性和典型性能

AA* 合金牌 号	可焊性 [1][2]						物理性能				热处理制度		典型机械性能							
	气 焊	电 弧 焊	熔 剂 的 电 弧 焊	惰 性 气 体 弧 焊	电 阻 焊	电 压 力 焊	硬 钎 焊	用 熔 剂 的 软 钎 焊	密 度 lbs / cu. in	熔 化 范 围 (近 似) °F	导 热 率 25 °C 时 CGS 单 位	导 电 率 %IAC S68°F 时 相 同 容 积	抗 拉 强 度 (σ _{0.2}) psi × 10 ³	屈 服 强 度 psi × 10 ³	延 伸 率 % 在 2 英 寸 内		抗 剪 强 度 psi × 10 ³	疲 劳 强 度 psi × 10 ³	布 氏 硬 度 500kg 负 荷, (10mm 钢 球)	
															1/16英寸薄板	直径为1/2英寸的棒				
EC	A	A	A	A	B	A	A	0.098	1195—1251	0.57 0.59	63 62.5	— —	O —H19	10 27	4 24	2.3 ⁽²⁾ 1.5 ⁽⁴⁾	8 15	.. 7
1060	A	A	A	A	B	A	A	0.098	1195—1215	0.56 0.55	62 61	— —	O —H18	10 19	4 18	43 6	7 11	3 6	19 35
1100	A	A	A	A	A	A	A	0.098	1195—1215	0.53 0.53	59	— —	O —H14 —H18	13 18 24	5 17 22	35 9 5	45 20 15	9 11 13	5 7 9	23 32 44
3003	A	A	A	A	A	A	A	0.099	1190—1210	0.42 0.42 0.42	46	— — —	O —H14 —H18	16 22 29	6 21 27	30 8 4	40 16 10	11 14 16	7 9 10	28 40 55
3004	B	A	A	A	A	B	B	0.098	1160—1205	0.39	42	— — —	O —H34 —H38	26 35 41	10 29 36	20 9 5	25 12 6	16 18 21	14 15 16	45 63 77
5005	A	A	A	A	A	B	B	0.097	1160—1205	0.49	54	— — —	O —H14 —H18 —H34 —H38	18 23 29 23 29	6 22 28 20 27	30 6 4 8 5	11 14 16 14 16	28 41 51
5050	A	A	A	A	A	B	B	0.097	1160—1205	0.46	50	— — —	O —H34 —H38	21 28 32	8 24 29	24 8 6	15 18 20	13 16 18	36 53 63
5052 5652	A	A	A	A	A	C	C	0.097	1100—1200	0.33	35	— — —	O —H34 —H38	28 38 42	13 31 37	25 10 7	30 14 12	18 21 24	16 18 20	47 68 77

续表1-3①

5252	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	0.096	1125—1200	0.33	35	H25 —H28	35 41	27 35	18 8	..	21 33	..	68 75
5257	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	0.097	1185—1215	H25 —H28	19 23	16 19	14 8	..	11 12	..	32 43
5457	B	A	A	A	A	A	A	A	A	B	0.098	1165—1210	0.42	46	H26 —H38	19 32	24 30	10 7	..	17 18	..	52 55
5557	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	0.098	1180—1215	0.45	49	H25 —H28	26 28	20 24	12 7	..	16 15	..	40 50
5657	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	0.098	1175—1210	0.45	49	H25 —H28	23 28	20 24	12 24	..	14 15	..	40 50
5083	C	C	A	A	C	X				X	0.096	1075—1185	0.28	29	-O -H321 -H323 -H343 -H113	40 46 47 52 46	21 33 36 41 33	22 16 10 8 16	25 16 ..	22 28 27 30 27	22 22 ..	67 82 84 92 84
5086	C	C	A	A	B	X				X	0.096	1085—1185	0.30	32	-O -H34 -H112	38 47 39	17 37 19	22 10 14	30 14 ..	23 28 25	21 23 ..	60 82 68
5154 5254	B	A	A	A	B	X				X	0.096	1100—1190	0.30	32	-O -H34 -H38 -H112	35 42 48 35	17 33 39 17	27 13 10 25	30 16 ..	22 24 28 22	17 20 21 17	53 76 87 63

续表1-3②

5454	B	A	B ×	×	0.097	1115—1195	0.32	34	-O -H34 -H112 -H311	36 44 36 38	17 35 18 26	22 10 18 14	25 16	23 26 23 23	20 21	60 81 62 70
5456	C	A	A C ×	×	0.096	1055—1180	0.28	29	-O -H112 -H311 -H321	45 45 47 51	23 24 33 37	24 22 18 16	20 18	27 27 27 30	22 .. 24 23	70 70 75 90

注：*AA——美国铝业协会。ASA（美国标准协会）和ASTM（美国材料试验学会）的标示方法和A的标示法相同。

(1) 可焊性评定（基于最好的焊接条件）：

A——容易焊接；

B——在多数应用中要求特殊焊接技术或预先进行试验，确定焊接规范，再进行焊接；

C——可焊性有限；

×——要特殊焊接方法，不推荐；

(2) 所有合金，都可粘结，超声波焊接或机械连接。某些合金可超声焊或磨擦焊。

(3) 疲劳强度是用圆试样 5×10^6 次循环下测定。

(4) 在10英寸的长度上测定。

IACS——相对标准退火的铜导线的百分比。

表1—4 不能热处理强化铝合金适用的基本热处理代号及其应用

代 号	说 明	应 用 范 围
—O	再结晶退火	锻造成型后的最软化退火
—F	制造成形后的状态	用于在成形后不再需要应变硬化或热处理的产品
—H ₁	只有应变硬化	在成形过程中, 经受某种热处理, 成形后不再要应变硬化热处理的产品。数目字表示应变硬化的程度
—H ₂	应变硬化然后部分退火	适用于应变硬化希望量大的产品, 要用部分退火来减低硬化的强度达到希望的水平
—H ₃	应变硬化然后稳定化处理	适用于应变硬化的产品, 然后用低温加热法进行稳定化处理, 以稍微降低其强度, 但增加了韧性。这种处理制度仅仅适用于含镁的铝合金, 除稳定化处理外, 还逐渐地室温时效软化

注: 应变硬化的程度, 用表中所列的数目字—H₁, —H₂, —H₃来表示。普通实用的最硬的用数目字8 (全硬) 表示。在—O (退火) 和 (全硬) 之间有1—7。这样数目字2表示 $\frac{1}{4}$ 硬化, 数目字4表示半硬化, 数目6表示 $\frac{3}{4}$ 硬化, 数字9表示超硬化。关于回火温度值的规定的详细描述, 可参阅ASTM B296和ASA H35.1

表1—5 能热处理强化铝合金适用的基本热处理代号及其应用

代 号*	说 明	适 用 范 围
—O	退火 再结晶	锻造产品最软化的退火
—F	制造成形状态	
—W	固溶热处理	不稳定的回火, 只适用于固溶处理后, 室温下自然时效的合金。这种制度只是标出自然时效的周期如—W $\frac{1}{2}$ 时
—W ₆	固溶处理并消除应力	
—T ₁	变质固溶处理后进行冷加工	适用于某些挤压材料
—T ₂	退火 (仅用于铸件)	
—T ₃	固溶处理后进行冷加工	
—T ₄	固溶处理后自然时效到稳定状态	
—T ₅	变质固溶处理后人工时效	适用于某些挤压件
—T ₆	固溶处理后人工时效	
—T ₇	固溶处理后稳定化处理	
—T ₈	固溶处理后, 冷加工, 然后人工时效	
—T ₉	固溶处理, 人工时效后冷加工	
—T ₁₀	人工时效然后冷加工	适用于由高温迅速冷却的制造工艺后, 进行人工时效的产品, 如铸造, 挤压之后再冷加工, 以改善强度

* 代号的详细描述, 可参阅 ASTM B296和 ASA H35.1

表1—6 能热处理强化锻造铝合金的标成成分、型材和应用

ANSI 合金牌号	标成成分(%合金元素)							使 用 型 材					典 型 应 用	
	C _u	S _i	M _n	M _g	Z _n	N _i	C _r	薄板 / 厚板	包 覆 薄 板 / 厚 板	棒	挤 压 件	管 子		锻 件
2014	4.4	0.8	0.8	0.4				×	×	×	×	×	×	建筑构件, 结构接头, 用于飞机和汽车的大型锻件, 液压接头和其它构件
2017	0.4		0.8	0.8					×	×				同2014, 也可作旋压机器零件, 兼有高强度易切削性和可锻性
2024	4.5		0.6	1.5				×	×	×	×	×	×	结构上使用, 用于飞机构件和卡车轮的典型板材。包覆2024板是有最大抗腐蚀性的高强度结构材料
2218	4.0			1.5		2.0							×	锻造合金, 发动机气缸头, 活塞和要求高温下强度高, 硬度好的零件
2219	6.2		0.3					×		×	×	×	×	要求高温强度的结构件, 熔焊性好且强度高
2618	2.3			1.5		1.1							×	锻造合金, 发动机活塞和要求在高温下硬度高、强度好的零件
6061	0.25	0.6		1.0			0.2	×	×	×	×	×	×	建筑结构, 机械总体结构。汽车、火车、船舶上的应用、管子和管接头等。热处理后成型性、可焊性、抗腐蚀和强度均好
6063		0.4		0.7							×	×	×	管子、环形件, 在一般和建筑构件等方面应用
6070	0.27	1.35	0.7	0.85							×	×	×	结构件和管路器件