

内容提要 本书从铝及铝合金的分类、性能、焊接冶金特点谈起，详细介绍了铝及铝合金的气焊、碳弧焊、钨极手工、自动氩弧焊、熔化极自动与半自动氩弧焊、接触点焊、滚焊的工艺，以及铸造铝合金的焊补、焊接接头中缺陷的鉴别、焊缝质量检验方法等。

本书可供三级以上焊工学习。

铝及铝合金的焊接

顾曾迪 编著

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $2 \frac{5}{8}$ · 字数 62 千字

1981年6月北京第一版·1981年7月北京第一次印刷

印数 00,001—18,300 · 定价 0.21 元

*

科技新书目 5-115

统一书号：15033·5175

目 次

一	铝及铝合金的基本知识	1
1	铝及铝合金的种类和机械性能(1)——2 铝及铝合金的焊接特性(8)——3 铝及铝合金焊接接头中常见的冶金缺陷(9)	
二	铝及铝合金的焊接方法和焊接材料的选择	13
1	焊接方法(13)——2 焊接材料的选择(15)——3 焊丝、焊件的清洗(19)	
三	气焊及碳弧焊	22
1	气焊的特点及工艺(22)——2 碳弧焊的特点及工艺(31)	
四	氩弧焊	33
1	钨极手工氩弧焊(34)——2 钨极自动氩弧焊(46)——3 熔化极自动、半自动氩弧焊(48)	
五	点焊、滚焊	61
1	点焊、滚焊的特点(61)——2 焊前准备(63)——3 焊接规范选择(64)	
六	铸造铝合金的焊补	68
1	焊补前的准备工作(68)——2 铸铝的电弧焊条(69)——3 电弧焊焊补工艺(71)	
七	焊接接头中的缺陷及其防止措施	73
1	焊接接头中常见的缺陷(73)——2 焊缝质量检验(77)	

铝及铝合金对于多数介质具有良好的耐蚀性，并有较高的比强度，因此在机械、国防等工业部门中获得了广泛的应用，部分代替了钢、铜和不锈钢等材料。

目前，国内生产的各种浓硝酸贮槽都采用纯铝制造。而在国防、航空、造船及制氧等工业部门中，铝镁合金的应用占主导地位。近年来，又发展了冷作硬化型高强度铝镁合金、高强度铝铜锰型铝合金等新材料。

迅速掌握并积极推广铝及铝合金（包括新研制的特殊合金）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结构，首先必须掌握铝及铝合金的性能，各种焊接方法的特点，焊接材料选择原则，坡口制备、操作工艺，有关的焊接设备，焊接接头的质量检验方法，缺陷的形成及预防措施等知识，才能根据各自的产品要求，选择适合的焊接方法，制定典型的工艺规程，从而获得优良的焊接接头，保证产品的焊接质量。

一 铝及铝合金的基本知识

铝是地球上分布最广的金属元素之一，地壳内铝的储量居第一位，约占7.45%。

铝为银白色的轻有色金属，熔点 658°C ，比重 2.7，比钢轻三分之二。铝的导电率仅次于金、银、铜而居第四位，纯铝的导热系数 $0.50\sim 0.54$ 卡/厘米·秒· $^{\circ}\text{C}$ ，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，以及低温下能保持良好的机械性能等特点。

铝暴露于空气中，就会在表面上生成一层致密的三氧化二铝薄膜，这层保护膜可防止受冷的硝酸及醋酸的腐蚀。但是，在碱类和含有氯离子的盐类（如氯化钠）中，这层氧化膜会被破坏，而引起铝的强烈腐蚀。铝材中所含的各种杂质愈少，形成氧化膜的能力愈显著。

1 铝及铝合金的种类和机械性能 向铝中加入铜、镁、锰、硅、铁、锌、钒和铬等合金元素，可以获得不同性能的合金。铝合金根据其化学成分和制造工艺特点，可分形成变铝合金和铸造铝合金两大类。图 1 为铝合金的二元状态图，图中最大饱和溶解度 n 点是这两类合金的分界线。化学成分大于 n 点的合金称铸造合金。由于这类合金中存在共晶组织，流动性较好，高温强度高，适宜于铸造。化学成分小于 n 点的合金称形变铝合金。当合金加热到固溶线以上时，获得均匀的单相固溶体组织。这种组织的形变能力较好，适于锻造、压延及挤压。

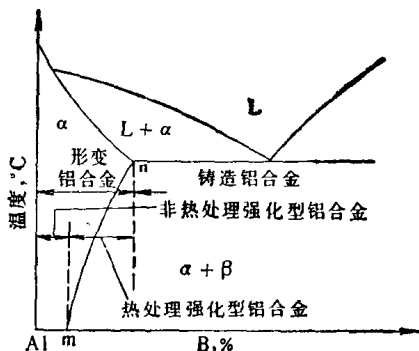


图 1 二元系铝合金的状态图

当合金加热到固溶线以上时，获得均匀的单相固溶体组织。这种组织的形变能力较好，适于锻造、压延及挤压。

形变铝合金根据其热处理特点，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的方法来提高其机械性能，而只能用冷作变形来强化。成分在 mn 之间的合金，其固溶体的组成随温度而变，属于热处理强化型铝合金。

按铝中所含铁、硅杂质数量的不同，可把纯铝分成各种纯度

表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	0.35
	LF5	—	4.0~5.5	0.3~0.6	—	—	余量	1.40
	LF6	—	5.8~6.8	0.5~0.8	铁0.001~0.005	钛0.02~0.1	余量	1.20
	LF21	—	—	1.0~1.6	—	—	余量	1.75
硬铝	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	LD2	0.2~0.6	0.45~0.9	0.15~0.35	0.5~1.2	—	余量	0.80
超硬铝	LC4	1.4~2.0	1.8~2.8	0.2~0.6	铍5.0~7.0	铈0.1~0.25	余量	1.10
特殊铝	LT1	—	—	—	4.5~6.0	—	余量	1.00

等级的工业纯铝（表1）。工业纯铝L1的纯度最高（99.7%），其杂质总和小于0.3%。

纯铝的抗拉强度仅为8~10公斤/毫米²，塑性良好（延伸率达60%），但当纯铝中铁、硅等杂质含量增加时，塑性及耐腐蚀性能降低。此外，纯铝在高温下强度会显著降低，塑性有所提高。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。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、高的耐振性和突出的耐腐蚀性，因此又称为防锈铝合金。

铝锰合金只有LF21一种，合金的含锰量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。

铝镁合金的含镁量在7%以下。含镁量超过7%时，合金的塑性降低，焊接性能变坏。各种铝镁合金牌号（代号LF）的成分见表1。在铝中加入0.15~0.8%的锰，不但有利于改善耐腐蚀性，还能提高合金的强度。加入0.1%左右的钛和钒，可促使合金获得细晶粒组织。铁、铜、锌等元素都能使合金的耐腐蚀性及工艺性变坏，所以应该限制它们的含量。

热处理强化型铝合金按其性能可分为硬铝合金、锻铝合金和超硬铝合金三类。

硬铝合金（LY3、LY11、LY12等）中的铜与铝相结合形成熔点约548℃的共晶体（Al—CuAl₂）。除了铜和镁外，硬铝中加入0.3~0.9%的锰可减少铁有害影响，提高耐腐蚀性，还能细化晶粒、加速时效。铜、硅、镁都能形成溶解于铝的化合物，以促使合金在热处理时强化。

硬铝的耐腐蚀性差。为提高材料的耐蚀性，在硬铝板表面常

覆有一层工业纯铝保护层。

锻铝 (LD2) 属于铝—镁—硅系和铝—镁—铜—硅系合金。这一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。

超硬铝合金 (LC4) 属于铝—锌—镁—铜系合金。它的抗拉强度可达到 60公斤/毫米^2 ，但塑性较差。由于合金中含锌量较多，晶间腐蚀倾向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 $16 \sim 22 \text{公斤/毫米}^2$ ，淬火时效后抗拉强度可达到 $38 \sim 47 \text{公斤/毫米}^2$ (参考表 2 中所列数据)。这类合金的强度很高，但可焊性差。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，用一般的熔化焊法不容易保证质量，所以在航空工业中多采用接触点焊、滚焊法制造飞机上受力较大的构件。

表 2 铝及铝合金的机械性能

类别	牌 号	材 料 状 态	抗拉强度 (公斤/毫米 ²)	屈服强度 (公斤/毫米 ²)	延伸率 (%)	断 面 收缩率 (%)	布氏 硬度 (度)
工业纯铝	L6	退 火	9	3	30	—	25
	L4	冷作硬化	14	10	12	—	32
防锈铝	LF21	退 火	13	5	20	70	30
		冷作硬化	16	13	10	55	40
铝合金	LF2	退 火	20	10	23	—	45
		冷作硬化	25	21	6	—	60
	LF5, LF10 LF11	退 火	27	15	23	—	70
硬铝	LY11	淬火 + 自然时效	42	24	18	35	100
		退 火	21	11	18	58	45

(续)

类别	牌 号	材 料 状 态	抗拉强度 (公斤/毫米 ²)	屈服强度 (公斤/毫米 ²)	延伸率 (%)	断 面 收 缩 率 (%)	布氏 硬 度 (度)	
硬 铝	LY11	包铝的, 淬火+自然时效	38	22	18	—	100	
		退 火	18	11	18	—	45	
	LY14	淬火+自然时效	46	30	15	—	105	
		退 火	22	11	15	48	—	
	LY12	淬火+自然时效	47	33	17	30	105	
		退 火	21	11	18	55	42	
		包铝的, 淬火+自然时效	43	30	18	—	105	
		包铝的, 退火	18	10	18	—	42	
	LY3	淬火+自然时效	34	21	10	40	80	
		退 火	17	8	20	—	—	
	LY1	淬火+自然时效	30	17	24	50	70	
		退 火	16	6	24	—	38	
	锻 铝	LD2	淬火+人工时效	33	28	12	20	95
			淬 火	22	12	22	50	65
退 火			13	—	24	65	30	
超硬 铝	LC4	淬火+人工时效	60	55	12	—	150	
		退 火	26	13	13	—	—	

铸造铝合金应具有一定的强度、优良的耐腐蚀性及铸造工艺性。为达到上述要求, 铝合金中需加入硅、镁、铜、锌、锰等数量较多的合金元素。表 3 为铸造铝合金的化学成分及机械性能数据。

表 3 铸造铝合金的化学成分及机械性能

牌 号	化学成分(%) (铝为余量)							机械性能(大于)			
	硅	铜	镁	锰	镍	杂质总和 (不大于)	抗拉强度 (公斤/毫米 ²)	延伸率 (%)	布氏硬度 (度)		
ZL1	—	9.0~11.0	—	—	—	3.0	11	—	50		
ZL2	—	4.0~5.0	—	—	—	2.2	20	3	60		
ZL3	5.0~6.5	6.0~7.0	0.3~0.5	—	—	1.5	16	1	80		
ZL4	—	3.75~4.5	1.25~1.75	—	1.75~2.25	1.5	18	1	89		
ZL5	—	—	9.5~11.5	—	—	1.0	20	2	60		
ZL6	0.8~1.3	—	4.5~5.5	0.1~0.4	—	0.6	15	1	55		
ZL7	11.0~13.0	—	—	—	—	2.2	16	2	50		
ZL8	11.0~12.5	1.0~2.0	0.4~1.0	0.5~0.9	—	0.8	20	—	85		
ZL9	11.0~13.0	0.5~1.5	0.7~1.3	—	2.0~3.0	1.0	20	—	100		
ZL10	8.5~10.5	—	0.17~0.3	0.25~0.5	—	1.1	15	2	50		
ZL11	6.5~8.0	—	0.2~0.4	—	—	1.0	16	2	50		
ZL12	4.0~6.0	2.0~3.0	—	—	—	1.8	12	3	40		
ZL13	4.5~5.5	1.0~1.5	0.35~0.6	—	—	1.0	18	1	65		
ZL14	4.0~6.0	2.0~3.5	0.2~0.8	0.2~0.8	—	1.3	17	0.5	65		
ZL15	6.0~8.0	—	—	—	镍11.0~14.0	1.8	20	1.5	80		
ZL16	9.0~11.0	3.0~4.0	—	—	—	—	20	1.5	80		

最普通的铸造铝合金是铝—硅系合金，它的比重小，液体流动性好，并且具有优良的耐腐蚀性及相当高的机械性能。典型的铝硅合金牌号为 ZL7，含硅量 10~13%。这种合金凝固时的收缩率小。因此，可成功地用来铸造优质的、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冶金上的困难。具体表现有以下几点：

一、强的氧化能力 铝和氧的亲合力很大。在空气中铝容易同氧结合生成紧密而结实的三氧化二铝薄膜（厚度约 0.1 微米）。这薄膜的熔点高达 2050℃，比重 3.95~4.10 克/厘米³，约为铝的 1.4 倍。氧化膜表面吸附的水分，在焊接过程中会形成气孔、夹渣等缺陷，从而破坏了金属的均匀性，降低了接头的机械性能。

为保证获得良好的焊接接头，在焊前及焊接过程中去除三氧化二铝薄膜，并防止熔池继续受到氧化是有很大意义的。在气焊、碳弧焊、电弧焊时采用焊粉及焊条涂料，当焊粉、涂料同熔池金属发生反应后，将氧化膜转变成其他氧化物而被去除。在氩弧焊时，氩气的机械隔离作用可保护熔池免受氧化。

二、高的导热、导电性 铝及铝合金的导热系数、比热、熔化潜热很大，导热系数为 0.538 卡/厘米·秒·℃，约比钢大一倍多。在焊接过程中大量的热能被迅速传布到基体金属内部，因此焊接铝及铝合金时比钢要消耗更多的热量。为了达到高质量的焊接接头，必须采用能量集中、功率大的热源，并采取预热等措施。

基于铝的良好导电性，在接触点焊、滚焊时，要选用更高的焊接电流值。

三、容易形成裂缝的倾向 铝的线膨胀系数 23.5×10^{-6} 度，约比钢大两倍左右，凝固时的体积膨胀率达 6.5~6.6%，所以在

某些铝合金焊接时，往往由于过大的收缩内应力而导致裂缝。

四、容易形成气孔的倾向 铝及铝合金的液体熔池很容易吸收气体，在高温下熔入的大量氢气，在焊后的冷却凝固过程来不及析出而聚集在焊缝中形成气孔。

五、高温下的强度和塑性低 在高温下铝的强度和塑性很低，以致不能支承住液体金属而引起焊缝成形的恶化，甚至形成塌陷（或烧穿）缺陷。因此，在某些场合下需要用夹具和垫板。

六、合金元素的蒸发和烧损 铝合金中含有低沸点的合金元素如镁、锌、锰等，这些元素在高温火焰或电弧的作用下极易蒸发、烧损，从而改变了焊缝金属的化学成分，同时也降低了焊接接头的性能。

七、无色泽变化 铝及铝合金从固态变成液态时，无明显的颜色变化，给焊接操作带来困难。

3 铝及铝合金焊接接头中常见的冶金缺陷 为获得优质的焊接接头，必须使焊缝金属具有良好的机械性能，而后者在很大程度上取决于铝及铝合金的焊接冶金特性及冶金缺陷。在焊接过程中常见的冶金缺陷有气孔及裂缝。关于气孔、裂缝的形成机理及消除办法概述如下：

一、裂缝 铝合金焊缝中的裂缝是在焊缝金属结晶过程中出现的，称热裂缝，又称结晶裂缝。

（1）形成原因 铝合金液态熔池冷却、凝固结晶到完全形成固态是在某一温度范围内进行的。在这温度范围内同时存在着液态和固态金属，强度和塑性很低，所以这个温度范围叫脆性温度区间，就是在金相平衡图的固相线和液相线之间的温度范围。另一方面，由于铝合金的线膨胀系数大，在焊缝金属冷却收缩过程中产生很大的拉伸变形。当熔池金属经过脆性温度区间的时刻，与产生最大拉伸变形的时刻一致时，立即引起裂缝。

硬铝、超硬铝等热处理强化型铝合金的脆性温度区间较大，合金在该温度区间的塑性也低，因此很容易产生裂缝。铜、锰含量较低的锻铝合金 LD2，比铜、锰含量较高的 LD5 裂缝倾向要大。在可焊的铝—锌—镁系高强度铝合金中，增加镁含量可提高合金的抗裂性。

纯铝、铝锰、铝镁合金的热裂缝倾向很小，但在结构刚度较大、杂质含量较多或工艺规范选择不当时，也会引起裂缝。纯铝、铝锰合金焊缝中硅含量多于铁时，即 $Fe/Si < 1$ 时，焊缝塑性显著降低，容易形成裂缝。反之，当 $Fe/Si > 1$ 时，裂缝的倾向减小。

铝镁合金的含镁量低于 2~3% 时，容易引起裂缝。但在铝镁合金焊丝中加入 0.2% 以下的钛作变质剂时，可细化晶粒、提高焊缝金属的抗裂性和机械性能。

随着坡口角度、间隙、工件厚度、工件刚性的增大，裂缝的倾向性愈显著。

(2) 预防措施

1) 控制基体金属及焊丝的成分。纯铝、铝锰合金及焊丝中的铁、硅含量之比应大于 1 (即 $Fe/Si > 1$)，以减少焊缝中低熔点硅共晶的数量，提高接头的抗裂性。

2) 硬铝、超硬铝焊接时常用 311 焊丝。这种焊丝具有足够数量的低熔点共晶，借此可填满液态金属收缩时引起的空隙，还可减少焊缝凝固时的收缩量 (相应减少了收缩应力)。

3) 通过填充焊丝向焊缝金属加入少量细化晶粒的变质剂，例如在 LY16 铝合金焊缝中加入 0.5% 锆后，焊缝金属可变成细小的等轴晶组织。

4) 尽量采用加热集中的焊接方法 (如熔化极自动氩弧焊) 及选择大电流、高焊速的规范。熔化极脉冲氩弧焊与一般的熔化

极氩弧焊法相比具有较优的抗裂性。

5) 在结构装配、施焊时不使焊缝产生很大的刚性，在工艺上可采取分段焊、预热或适当降低焊接速度等措施。

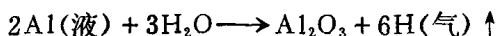
6) 尽量采用开坡口和留小间隙的对接焊，并避免十字形接头及采用不适当的点固、焊接顺序。

7) 焊接结束或中断时，应及时填满弧坑，然后再移去热源，否则容易形成弧坑裂缝。

二、气孔

(1) 形成原因 铝焊缝中形成气孔的主要气体是氢气。氢气的来源有铝丝、铝板中溶解的水分；铝丝、铝板表面上氧化膜所吸附的水分；电弧焊焊条涂料中的湿气；氩气中过多的含水量 ($>0.2\%$)；从喷嘴、保护气体中混入的空气等。

水分或湿气在电弧的作用下形成蒸气，并和铝液起反应，生成三氧化二铝，析出氢气，如下式所示：



由反应形成的氢气集中在弧柱中间，并溶解于焊接熔池。据有关资料介绍，当铝液凝固时，随熔池温度的降低，氢气在铝中的溶解度急剧降低（例如在 660°C 熔融状态下氢在铝中的溶解度为 0.69 毫升/100克，而在 660°C 的凝固状态下氢在铝液中的溶解度降到 0.036 毫升/100克，前后相差将近 20 倍，再继续冷到室温，氢在铝中的溶解度只有 0.01 毫升/100克）。过饱和的气体形成气泡向外逸出。气泡的上浮速度小于熔池的结晶速度时，气泡来不及析出，就形成大量的散布气孔。

如进入焊接熔池内的氧化膜厚度增加，氧化膜微粒中的水分同熔池液体金属作用的时间就可能延续到结晶完成阶段，因此析出的氢气增多，焊缝中的气孔量也相应增加。

各种铝合金焊缝对氢气的吸收量是不同的，它还同焊接电

流、电弧长度、熔池大小等因素有关。纯铝钨极氩弧焊时氢气的吸收速度为 $2.63 \text{毫升/秒} \cdot 10^{-3}$ ，而 LF6 铝镁合金钨极氩弧焊时，只为 $1.58 \text{毫升/秒} \cdot 10^{-3}$ 。熔化极氩弧焊时氢气的吸收量比钨极氩弧焊要高得多。例如仍以纯铝为例，熔化极氩弧焊时由 2.63（钨极氩弧焊的吸收速度）增到 $15.23 \text{毫升/秒} \cdot 10^{-3}$ 。

实践表明，纯铝较铝镁合金容易产生宏观气孔。纯铝的纯度越高，气孔的倾向性就越大。铝镁合金的表面比纯铝容易形成吸水性强而疏松的厚氧化膜层，因此在焊接时很难避免显微气孔。用气焊法焊接含镁量较高的铝镁合金时，还可能形成热影响区气孔。

（2）预防措施 主要从减少氢气的来源及制定合理的焊接工艺两方面来考虑：

1) 减少氢气的来源 正确选择焊丝、焊粉、焊条等焊接材料。焊粉、焊条涂料配方中的各组成物应经烘焙，去除结晶水。

对焊丝、焊件坡口及坡口根部两侧进行仔细的清洗，并加以烘干。清洗后的焊丝到使用前的保持时间不得超过 24 小时。焊丝表面应呈洁白光亮色，不得有局部腐蚀斑点。

氩弧焊时，必须采用高纯度的氩气，氩气中的含水量限制在 0.07% 左右。氩气管路系统要保持干燥，不得有漏泄现象，以免混入潮湿空气。采用合理的焊炬、喷嘴，以改善气体的保护性能，并彻底清除喷嘴上粘附的飞溅物。

手工电弧焊用的焊条应在 $150 \sim 160^\circ\text{C}$ 烘焙 2 小时。

2) 制定合理的焊接工艺 熔化极自动、半自动氩弧焊时，一般采用粗直径的焊丝，这有利于减少气孔的数量，因小直径焊丝的比表面积（单位长度上的焊丝表面积）大，也就是说，单位时间内熔融并进入熔池的焊丝数量多。因此，熔池中势必带入相当数量的氧化膜和氢气（同粗焊丝相比）。

在焊接工艺上尽量采用高的输入热量（取决于焊接电流、电弧电压及焊接速度），延长熔池处在高温液态下的时间，为氢气泡的浮出提供条件。输入热量相同，但电流、电压值不同时，气孔数也有很大的差别。气孔数量一般随着焊接电流的增大而减少。增大焊接电流还能改善根部的焊透程度以及增强熔池的搅动，因而使根部的气泡容易逸出。

对工件进行预热，不但可减少接头坡口表面上的水分，同时还可降低熔池的冷却速度，相应地改善了气体的逸出条件。

二 铝及铝合金的焊接方法和 焊接材料的选择

1 焊接方法 铝及铝合金的焊接方法很多，不同的焊接方法有不同的应用场合。因此，必须根据铝及铝合金的牌号、焊件厚度、产品结构、生产条件以及接头质量要求等因素选择焊接方法。现有的焊接方法分：气焊、电弧焊、碳弧焊、钨极氩弧焊、熔化极氩弧焊、熔化极脉冲氩弧焊、接触点焊、滚焊以及电渣焊、超声波点焊、超声波滚焊、电子束焊、等离子弧焊、爆炸焊等特殊方法。

一、气焊 气焊的火焰能率低、热量较分散、焊件变形大、效率低。用气焊法焊接较厚的工件时需预热，焊后的焊缝金属不但晶粒粗大、组织疏松，而且容易产生氧化铝夹杂、夹渣及裂缝等缺陷。因此，这种方法只用于厚度在 0.5~10 毫米间的不重要结构和铸件的焊补上。

二、碳弧焊 碳弧焊的热量比气焊集中，焊接速度较快，尤其是接头的强度、塑性都比气焊的高，但劳动条件差。此外，碳极的烧损会使部分碳的微粒进入熔池而产生夹渣。

三、电弧焊 手工电弧焊的接头质量差，焊条容易受潮，在工业中的应用日趋减少，只在铸件的焊补及一般修理工作中应用。

四、钨极氩弧焊 钨极氩弧焊又叫不熔化极氩弧焊。这种焊接法在氩气的良好保护下施焊，热量比较集中，电弧燃烧稳定，焊缝金属致密，接头的强度和塑性高，因而在工业中获得越来越广泛的应用，主要用于重要结构上以代替气焊、碳弧焊及手工电弧焊，可焊板厚1~20毫米。缺点是设备较复杂，价格较贵，并且不宜在室外露天条件下操作。

五、熔化极氩弧焊 熔化极自动、半自动氩弧焊的电弧功率大，热量集中，热影响区小，生产效率比钨极手工氩弧焊提高三倍以上。可焊接50毫米以下的纯铝及铝合金板材；30毫米厚的铝板不必预热，只焊接正、反两层就可以获得表面光滑、质量优良的焊缝。熔化极半自动氩弧焊法适用于点固焊、断续短小焊缝及结构形状不规则的工件，用半自动焊焊炬可方便灵活地进行操作，但半自动焊的焊丝直径较细（ ϕ 3毫米以下），焊缝的抗气孔性较自动焊差。

六、熔化极脉冲氩弧焊 熔化极脉冲自动、半自动氩弧焊是在熔化极自动、半自动氩弧焊的基础上发展起来的一种新方法，可焊板厚2~10毫米。它的平均焊接电流小，参数调节规范广，焊件的变形量及热影响区小，生产效率高，抗气孔性及抗裂性高，尤其适宜于薄板的全位置焊接。

七、接触点焊、滚焊 接触点焊、滚焊在航空工业中应用甚多，一般焊接4毫米以下的薄板。对于质量要求较高的产品可采用直流冲击波点焊、滚焊机焊接。这类焊接法的特点是需用庞大、复杂的设备，焊接规范特大，生产效率很高，特别适用于大批量生产的零、部件。

2 焊接材料的选择 铝及铝合金的焊接材料主要指填充焊丝及焊粉，现分别概述于下：

一、焊丝 在气焊、碳弧焊、钨极氩弧焊时，需添加填充焊丝。填充焊丝的成分与接头机械性能及腐蚀性能有很大关系。因此，在选择填充焊丝时，必须首先考虑母材的牌号、成分、产品的具体要求及施工条件，除了应满足接头的机械性能、耐腐蚀性能外，还应考虑结构的刚性及抗裂性等问题。

目前常用的焊丝有与母材成分相近的标准牌号焊丝（表4）。在缺乏标准牌号焊丝时，可从母材上切下狭条（长度500~700毫米，厚度与母材相同）代用。较为通用的焊丝是丝311铝硅焊丝，这种焊丝的液态金属流动性良好，特别是凝固时的收缩率

表4 铝及铝合金焊丝的牌号、成分及用途

标准牌号	名 称	化 学 成 分 (%)						用 途
		镁	锰	硅	铁	铝	其他元素总和 不大于	
丝301	纯铝焊丝	—	—	—	—	99.6	0.4	焊接纯铝及要求不高的铝合金
丝302	纯铝焊丝	—	—	—	—	99.5	0.5	用于对抗裂性能要求较高的纯铝、铝锰合金
丝311	铝硅合金 焊丝	—	—	4~6	—	余量	0.9	用于除铝镁合金以外的铝合金，抗裂性好
丝321	铝锰合金 焊丝	—	1.0~ 1.6	—	—	余量	1.4	焊接铝锰及其他铝合金，焊缝耐蚀性好
丝331	铝镁合金 焊丝	4.7~ 5.7	0.2~ 0.6	0.2~ 0.5	≤0.4	余量	1.5	焊接铝镁及其他铝合金，焊缝有良好的耐蚀及机械性能