

第四章 铝及铝合金焊接材料

第一节 焊接保护气体

一、保护气体类型

在铝及铝合金的氩弧焊中，焊接材料主要指焊丝、保护气体（氩气、氦气和氩气的混合气）等。

1. 氩气

氩气（Ar）是惰性气体，既不与金属起反应又不溶于液态金属，同时能量损耗低，电弧燃烧稳定。在TIG焊和MIG焊中都能保证没有飞溅或最小飞溅。由于其密度比空气大，所以保护效果非常好。

对氩气纯度的要求：在生产实际中，铝合金焊接时，氩气的纯度应大于99.9%以上，其中杂质氧和氢含量小于0.005%，氮含量小于0.015%，水分控制在0.02mg/L以下。否则会造成合金元素烧损，焊缝出现气孔，表面无光泽、发渣或发黑，成形不良等现象。此外，还会影响电弧的稳定性，导电嘴回烧频率加大，使焊丝与母材熔合不好。

焊接铝合金薄板时，主要使用纯氩气保护，这主要是因为纯氩气保护时的热输入量较小、熔深浅的原故。

2. 氦气

氦气（He）也是惰性气体，焊接过程中，吸热小，熔池停留时间长，因此氦气保护焊接时气孔倾向小。但由于纯氦气保护焊接时，电弧稳定性差、短路过渡形式等缺点，故一般不单独使用。

3. 氩-氦混合气体

采用氩气保护时，可使熔滴过渡非常稳定，但采用氩气和氦气混合气体可改善熔深和抗气孔性能。采用氦气混合气可降低预热所需费用或者甚至不用预热。

氩-氦混合气体，其组成为70%的氩气和30%的氦气。使用氩氦混合气体的优势在于它综合了两种保护气体的优点，既氩气的电弧稳定、能形成射流过渡、保护效果好以及氦气的热输入量大、抗气孔能力强。

如果用于大厚度铝合金板材的焊接或散热系数更大的铜合金的焊接时，可以增加氦气的

含量，常用的氦气加入量为50%和70%。

目前市场上已经开始使用含有微量O₂ 或N₂ 的氦氩混合气体，其组成通常为1.5%氮气（或氧气）、30%氦气、其余为氩气。虽然 O₂ 或 N₂ 不能改善焊透性能，但电离状态下，属于发热气体，可以进一步增加焊接热输入量，减小预热温度，改善焊缝成型。

二、焊接保护气体成份对焊接效果的影响

当进行铝及铝合金焊接时，焊接保护气体的选择对生产效率和最终焊缝质量都有着重要影响。

由于铝合金对氢气和氧气的高敏感性，因此要采用氩气和氦气做保护气体。由于成本问题，氩气是铝合金焊接最广泛使用的保护气体，但是使用氦、氩混合气体也另有优点，在重要结构中，要选择使用。

这些优点包括：

- (1) 增加熔深和改善焊缝成形；
- (2) 提高焊接速度；
- (3) 可焊接厚度范围大；
- (4) 降低预热温度；
- (5) 减少气孔等焊接缺陷。

焊接保护气体在不同的条件下，按如下原则使用：

氩气	一般焊接工作保护气体。
氩气70/He 30	可以减少气孔性，在中厚壁焊接中，广泛采用。
氩气 50/ He 50	适合更大壁厚。

纯氩气保护焊接铝合金时，噪音小，金属过渡稳定，但是在焊透性和氢感应气孔方面不如氦氩混合物。当提高氦、氩混合气体中氦的含量时，焊缝熔深将会从较圆的形状变为狭窄的指状。也会使焊缝余高降低、熔深增加。对于任何厚度的材料，都可以通过向氩气中添加氦气来提高焊接速度。

含氦成分越高，所需相同电弧长度的弧电压越高。

使用含氦较高的混合气所产生的高热量输入也促进了对较厚工件的焊接。然而，除了自动焊以外，高氦含量的混合气通常不推荐使用在厚度小于 3mm 的材料上。

氦气流量越高，焊缝的宽度越宽和越平坦。焊缝不再是“手指形状”了，当它与氩气结合时，反而形状变得更圆、更深。更合理的焊透性能可以保证电弧熔透焊根区，并允许更快

的焊接速度。

表4-1 说明了气体成份对表面成型的影响。

表4-1 在氩气保护焊接铝合金的过程中，增加氦气比例对其它因素的影响

保护气体的成分	100% Ar _____ 100%He
电弧性能	越来越平滑
焊缝宽度	增加焊缝的平坦性
焊缝外观	波纹越来越细
焊透	变成更深、更圆
焊接速度	焊接速度增加
熔化缺陷的倾向	越来越低
气孔倾向	降低
预热	能减少或完全免除预热
温度控制	加工件变得更热，必须补偿温度控制，加快焊接速度
保护气体成本	增加

三、 焊接保护气体流量对焊接效果的影响

高质量 MIG 焊接所需要的惰性气体流量是由多种因素决定的：焊枪的型号、焊接电流、焊枪喷嘴的直径、接头设计、焊接位置、焊接速度和焊接区域内的气体扩散度。最后一个因素很大程度上影响到气体的使用方法和焊接的质量。当进行焊接时，用防风材料对焊接区域提供保护，以防止空气混入惰性保护气体是必要的。通常来讲，氦气保护的流量要大于氩气保护的流量。

保护气体的消耗（氩气）

短路过渡电弧：12 - 15 l/min

喷射脉冲电弧：15 - 20 l/min

对于混合气体，应用如下流量参考数据：

保护气体类型	最小流动速度
Ar 70/ He 30	20 l/min
Ar 50/ He 50	28 l/min

Ar 30/ He 70

35 l/min

100% He

40 l/min

氦气流量越高，促进排气越快，需要更高的热量输入。在同等焊接条件下，氦气流量比氩气高许多。

第二节 焊接填充材料

一、 焊接填充材料的选择

在铝合金焊接中，焊缝金属的组织成份决定着焊缝的强度、塑性、抗裂性、耐蚀性等。因此，合理选择焊丝（填充材料）是十分重要的。选择焊丝时必须首先考虑基本金属的成份、产品的具体要求及施工条件，除了应满足接头机械性能、耐腐蚀性能外，还应考虑结构的刚性及抗裂性等问题。

选择焊丝通常基于以下几方面因素：

- (1) 与母材的化学成分相兼容，例如：焊接裂纹倾向；
- (2) 焊缝力学性能要求（需要将焊接热影响区和焊缝金属性能统一计算）；
- (3) 焊接部件或构件的后续处理，例如表面处理，阳极氧化和表面装饰抛光；
- (4) 焊缝要求的抗腐蚀能力；
- (5) 最佳焊接性。

最终的选择将根据产品实际需要，在上述几方面做综合平衡。

表 4—2 提供了各类（1 类、3 类、4 类、5 类）铝合金焊丝的相关信息，表 4-3 推荐了若干条件下铝合金焊丝的选择建议和问题分析，表 4-4 给出了常见铝合金焊丝和母材匹配关系。

表 4-2 铝合金焊丝相关信息

类别	型号	化学成分代号	备注
1XXX	SAL1450 SAL1080A	A199.5Ti A199.8	Ti 通过晶界强化降低了焊缝金属的裂纹倾向。
3XXX	SAL3103	AlMn1	
4XXX	SAL4043A SAL4046	AlSi5 AlSi10Mg	该成份焊丝在阳极氧化或暴露于空气中时

	SAL4047A SAL4018	AlSi12(A) AlSi7Mg	会变成暗灰色,其强度会随 Si 的增加而提高。该种焊丝焊接后的焊缝颜色和基体金属之间有色差问题。这种专门应用在预防由于高稀释及高收缩而形成的凝固裂纹,常用于铸件焊接。
5XXX	SAL5249 SAL5754 SAL5556A SAL5183 SAL5087 SAL5356	AlMg2Mn0.8Zr AlMg3 AlMg5.2Mn AlMg4.5Mn0.7(A) AlMg4.5MnZr AlMg5Cr(A)	<p>当良好抗腐蚀性和颜色匹配是重要要求时,焊丝的 Mg 含量必须和母材搭配。Mg 含量过高、过低均会造成阳极化后的焊缝色差</p> <p>当焊缝金属要求屈服强度、延伸率为重要指标时,应使用含 Mg 量为 4.5%至 5%的焊丝。</p> <p>Cr 和 Zr 通过晶界强化降低了焊缝金属的裂纹倾向。</p> <p>Zr 降低热裂倾向。</p>

表 4-3 铝合金焊丝的选择

母材						
Al	4 1 4					
AlMn	4 或 5 1 4	3 或 4 3 4				
AlMg <1% ^a	4 或 5 1 4	4 4 4	4 4 4			
AlMg 3%	4 或 5 5 ^b 4 或 5	5 5 ^b 或 3 4	5 5 ^b 4	5 5 ^b 5		
AlMg 5% ^c	5 5	5 5	5 5	5 5	5 5	

	5	5	5	5	5							
AlMgSi ^d	4 或 5	4 或 5	4 或 5	5	5	5 或 4						
	5	5	5	5	5	5						
	4	4	4	4	4	4						
AlZnMg	5	5	5	5	5	5	5					
	5	5	5	5	5	5	5					
	5	5	5	5	5	5	5					
AlSiCu <1% ^{e, f}	4	4	4	4	4	4	4	4				
	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
AlSiMg ^e	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
AlSiCu ^{e, f}	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
AlCu ^c	Nr ^g	4	4	4	4	4	4	Nr ^g				
						4	4	4	4	4	4	Nr ^g
						4	4	4	4	4	4	4
母材	Al	AlMn	AlMg <1%	AlMg 3%	AlMg 5%	AlMg Si	AlZnMg	AlSi Cu <1%	AlSi Mg	AlSi Cu	AlCu	

注 1: 当母材的 Mg 含量 $\geq 2\%$, 使用型号为 AlSi5 或 AlSi10 焊丝焊接时, 过多的 Mg₂Si 会在焊接熔合线处沉淀析出, 从而使焊缝产生脆化现象。这种母材和焊丝的组合不推荐在承受动载荷或冲击载荷的结构使用。如果这种搭配不可避免, 应该使用 AlMg5 或 AlSi5 型焊丝。

注 2: 表中母材取决于化学成分, 而与材料形式无关。

注 3: 每栏焊丝类别的选择出于以下考虑

第一行: 最佳力学性能;

第二行: 最佳耐腐蚀性能;

第三行：最佳焊接性能。

- a 在无焊丝焊接的条件下，这种合金极易形成凝固裂纹。这种情况下，可通过压紧夹具或在熔池内提高 Mg 含量为 3% 以上的方法来预防。
- b 表 4-2 中的 5 类焊丝在 Mg 含量 $\leq 3\%$ 时具有较好的抗晶间腐蚀或应力腐蚀性能，在有潜在晶间腐蚀或应力腐蚀的环境中，焊丝金属中 Mg 含量应等于或不明显超过母材的 Mg 含量。
- c 在确定的环境条件下，如温度范围 $\geq 65^\circ\text{C}$ ，含 Mg 量 $> 3\%$ 的铝合金可能易产生晶间腐蚀或应力腐蚀。这种易腐蚀性随含 Mg 量或冷作硬化程度的提高而升高。应该考虑到这种焊缝稀释带来的耐腐蚀性能降低的影响。
- d 这类合金不推荐采用不填充焊丝的自熔焊（如 TIG 焊），因为这样易形成凝固裂纹。
- e 焊丝中 Si 含量的选择应该与铸态母材金属严格搭配。
- f 当铸造铝合金为压铸件时，由于气体含量较高而不适合焊接。
- g 不推荐---与母材金属不匹配。

从理论上讲，所有可焊铝合金都能用以上填充金属进行焊接加工。当选择最适宜的填充金属进行特殊应用的时候，在任何可能的地方选择和母材相同的铝合金是非常重要的。尤其在铸铝合金补焊时，如果用以上填充金属作为焊接材料，焊缝强度、硬度均存在一定问题，因此采用用母材金属浇铸出焊条，作为铸铝合金的添充金属，是非常必要和重要的。

当对焊后工件进行阳极化处理的时候，决不能使用含有硅的焊丝，因为这样会导致焊缝发黑现象。

填充金属的选择主要考虑焊缝的机械性能和化学特性，如为获得最好的综合性能，铝合金 AlMgSi 0.7 最好用焊料 AlMg 4.5Mn Zr 焊接可以获得最好的效果。

表 4-4 常用填充金属和母材匹配表：

填充金属	母材金属
Al 99.5 Ti	Al 99.8

	Al 99.5 AlMn
AlMg 5	Al 99.5 AlMg 4.5 Mn AlMg 3 AlMg 5 AlMgSi 1 AlZn 4.5 Mg AlCuMg
AlSi 5	AlMgSi 1 AlZn 4.5 Mg AlCuMg G-AlSiMg G-AlSiCu
AlSi 12	G-AlSi 12 G-AlSiMg G-AlSiCu

二、不同焊丝的接头耐腐蚀性

当焊接接头是用纯铝或非时效硬化铝合金焊成的时候，在其耐腐蚀性方面，焊接接头会降低很小或不发生降低，因为非时效硬化铝合金在镁含量>3.5% 的情况下，焊接热输入不会带来微观结构的变化，事实上，如果金属被置在 100 ° C - 230 ° C 温度下太长时间，理论上会形成晶间沉淀物，这些沉淀物会削弱材料抗晶间应力腐蚀的能力。但是，需要在这种临界温度范围内，保留相对长的时间以达到这种效果，这也就是为什么在通常焊接过程中不太可能发生这种情况的原因。

对许多时效硬化铝合金，可以通过人工时效来达到对晶间腐蚀的最好预防。但焊缝热影响区，因为焊接热输入导致晶间耐腐蚀下降，自然时效在有些合金上不能达到消除晶间沉淀物的结果，因此，焊接热输入消极地影响了这些合金的耐腐蚀性（特别是在 HAZ）。

此外，晶间耐腐蚀性的退化也可能由母材和填充金属的成份、结构不同所引起。例如，

对于 7000 系列的铝合金材料，用 5000 系列填充金属焊接得到的热影响区 HAZ 会产生强化的局部腐蚀。

三、 焊丝的使用注意事项

1. 储存

对于不同的工作来说，选择正确的焊丝（填充金属）是十分重要的。需要特别注意的是焊接所使用的焊丝必须是干净的。如果焊丝被油、油脂、灰尘或车间的烟尘所污染则会导致焊接不牢固。使用刚刚从包装箱中取出的焊丝进行焊接，可以达到最好的焊接效果。焊丝应当置于温暖、干燥的地方遮盖保存。如果在焊丝没有用完时停止焊接，那么应当将焊丝取下并放回其原包装箱中，防止可能对其造成的污染。对包装箱进行遮盖，有助于保护焊丝不受污染。

2. 焊丝输送装置

由于铝焊丝比较软，焊枪中的送丝软管要用塑料或特氟纶制成的专用软管，焊接钢结构所用的弹簧软管不适合铝焊。

对于铝焊丝，必须使用较大直径的铝送丝软管。

对于纯铝和铝硅合金焊丝，最好使用推拉式焊枪系统是有利的。

相比钢焊丝，铝焊丝是非常柔软的。因此在送丝机上采用四轮送丝，并且送丝轮上的压力不宜过大，并保证送丝时无磨损。四轮驱动可以保证运用足够的力来送丝，甚至在较低接触压力时也可以送丝。在大多情况下，送丝轮采用平稳、光滑的半圆凹槽辊轮。施加在前送丝轮的接触压力要比后送丝轮的大，送丝轮的质量直接影响送丝的平稳性。