

## 第十一章 铝及铝合金 TIG 焊接设备和工艺

### 第一节 TIG 焊工艺的定义

TIG 焊接是一种电极不熔化的气体保护焊接，电极常用纯钨或含有钨的氧化物金属做电极材料，熔点很高。该种焊接方法于 1936 年起源于美国，它可以焊接任何金属，焊接过程非常清洁，几乎没有飞溅，但缺点是焊接效率较慢，在铁道车辆行业，一般做小件焊接或修补使用。TIG 焊的工艺流程如图 11-1 如图所示。

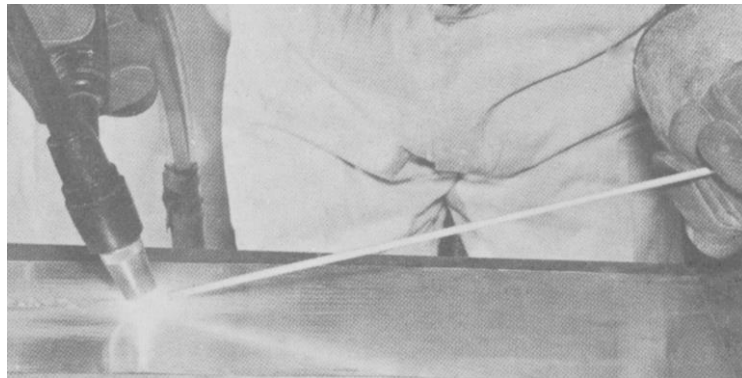


图 11-1 TIG 焊工艺流程示意

### 第二节 TIG 焊电源种类

#### 一、交流电源

交流手工钨极氩弧焊机具有较好的热效率，能提高钨极的载流能力，适用于焊接厚度较大的铝及铝合金，可以用高压脉冲发生器进行引弧和稳弧，利用电容器组清除直流分量。在生产实践中，铝及铝合金 TIG 焊一般都采用交流电源，用纯氩气或含氦气 11% 或更多的氩氦混合气体作保护气体时，使用交流电源，表面氧化物可由电弧的作用去除。因此不使用熔剂可以达到很好的熔融。但是使用含氦量为 90% 或更高的氩氦混合气体时，电弧对氧化物的去除作用减少，这主要是由于氦气比氩气轻得多的缘故。为了很好的熔化，通常要求焊前彻底清除氧化物。氦和富氦混合气体，很少使用交流焊接，而一般采用直流正接电源。

氧化物的去除是阴极破碎的作用结果，在交流负半极的时候，由于高温电弧的作用，

保护气体被电离成大量的正离子，质量较大的正离子受到阴极区电场的加速作用，高速冲击到熔池及其周围表面。所释放出的能量把熔池及其周围金属表面上难熔的氧化铝薄膜击碎、分解。为了保证在这半周内足够的阴极破碎作用，电源必须有足够高的开路电压，或在电流过零时，在电弧间隙外加高频高压使钨电极为正极。在交流正半波时，虽无阴极破碎作用，但这时只有 1/3 的电弧热量集中在钨极上，钨极端部得以冷却，而约有 2/3 的电弧热量施加到焊件上，有利于增加焊件的熔深。

## 二、直流电源

### 1. 直流正接型

直流正接型电源只适用于钨极氩（富氩）弧焊的情形。直流正接虽无阴极破碎作用，但当电弧相当短时，电子撞击也能起到一点清除氧化膜的作用，如果焊前氧化膜清除彻底，焊接过程中生成的氧化膜数量又有限，那么，直流正接氩弧焊可以顺利实现焊接铝及铝合金。相对于钨极交流氩弧焊来说，直流正接型电弧热量更为集中、熔深大、焊缝窄、变形小、热影响区小、焊缝机械性能高。正接时钨极受热温度低，向焊缝渗钨的危险大大减小。

由于氩气或富氩气更适合于厚板焊接，目前直流正接型电源应用较少。

### 2. 直流反接型

当铝及铝合金板厚小于 3mm 时，钨极氩弧焊也可采用直流反接型电源。它主要利用了去除氧化膜的阴极破碎作用。实践证明，采用反接型电源，被焊金属表面的氧化膜在电弧的作用下可以被清除而获得表面光亮美观、成型良好的焊缝。但是直流反接型的缺点是钨极容易过热熔化，导致焊缝夹钨。焊接的铝板越厚，则通过的电流越大，钨极获得的热量也越多，过热熔化的趋势也越大。焊件上获得的热量却不多，焊缝宽而浅，因此可焊接的板厚受到限制，一般只能焊接 3mm 以下的铝板。

## 三、脉冲电源

主要是铝及铝合金交流脉冲氩弧焊。利用脉冲TIG焊能焊出优质的焊接接头，采用脉冲电流，可以减小焊接电流的平均值，获得较低的电弧线能量，能够焊接薄板或超薄板，能够准确地控制焊缝成形及精确地输入热量，易获得均匀的熔深和焊缝根部均匀熔透，能很好地实现全位置焊接和单面焊双面成形，适宜于难焊金属材料的焊接。实践证明，铝及铝合金脉冲TIG焊是一种高效、优质、经济、节能的先进焊接工艺，目前已被广泛采用。

## 第三节 TIG 焊接设备构成

各种类型的TIG焊接设备主要由电源、控制器、焊枪构成。每部分作用如下：

## 一、焊接电源

TIG焊接电源的作用是将电网高电压、低电流输入变换为低电压、高电流输出，输出部分经过电路修整后就可以用于焊接。TIG焊接铝合金交流与直流都能用到，但大部分用交流焊接电源焊接铝合金。

焊接变压器是最简单、也最常用的焊接电源。它包括初级绕组、次级绕组，初级绕组线圈多、线径细，次级绕组线圈少，线径粗，适合焊接大电流。主次级电流比与初次级绕组的线圈匝数比成反比例，次级电流增大，次级电压将下降。焊接变压器一般有一个下降的静态特性，不同的电流大小可以通过磁心部分参数的调节和初级抽头决定。变压器后面一般带有整流部分，整流常用二极管整流和可控硅整流两种方式，单相全波整流产生的焊接电流有许多波纹，三相全波整流的波形更平整。目前先进的TIG焊机已经使用逆变电源，逆变电源的原理不同于普通电源，它将来自电网的电流整流成直流，然后用通过逆变器的开关功能，转换为高频的方波交流。经过逆变器后的电流，再经过变压器降压和再一次整流，就变成了适合焊接的大电流、低电压的供电。高频的优点是能将变压器做的非常小，现代化的TIG300焊机重量只有25KG，对于逆变焊接来说，许多操作都是通过控制部分的触发信号来实现，而在传统的电源中，要通过许多电阻、电感和电容经过复杂的变换实现。

逆变电源的控制部分极其重要，电流调节需要改变时钟发生器的输出来进行调节，例如改变电流输入与输出时间的比例和改变时钟频率均能调节电流。脉冲的实现方法是通过控制电路循环地改变输入、输出时间的比值，电流上升和下降采用同样的方式。

随着新技术的增多，焊接电源的精确控制已经实现，焊接设备检测到的焊接电流和电压与设备内的设定值比较，如果发生变化，如焊接回路电阻增大，控制回路会自动修正其带来的影响，这种变化非常快，可以在**微秒级**完成修正，所以逆变电源的效果和焊接质量会更好。逆变电源可以设置多种外特性曲线，可以设置横流外特性，也可以设置横压外特性或组合特性，因此，它很容易实现多功能焊接电源。

## 二、控制器

TIG焊控制器的作用就是焊接电源的通、断，焊接电流大小的调节，焊枪2、4步操作方式转换、交直流转换等功能控制。在TIG焊电源上，我们可以用时间控制在熄弧处电流逐渐衰减，直到电弧熄灭，也可以在起弧处实现电流的逐步上升，起弧、收弧控制完全可集成在焊枪的4步操作模式上，通过焊枪开关的按下、松开实现起弧、焊接、收弧的焊接工艺过程。

提前送气、滞后送气按逻辑关系集成在4步焊枪电路中，因此，可以实现一个开关启动了焊接、送气等动作，这些都由控制器来完成。

TIG焊可以通过钨极与工件的接触引弧，但钨极尖有损坏和电弧不稳的可能。同时有钨极材料掉入熔池形成夹杂可能，对低档次焊机，需要引弧板。目前的焊机，基本通过控制器可以实现引弧，方式如下：

### 1. 高频引弧

当焊枪开关被按下后，几千伏脉冲交流电在钨极与工件之间产生，非常快的电压脉冲以瞬间放电的方式引燃电弧，当钨极与工件之间的距离只有几毫米时，他们之间的气体分子被电离，从而在不接触工件的情况下，引燃电弧。为防止焊枪钨极碰到工件，最好焊枪倾斜点角度进行引弧。

### 2. 提升引弧

这是一种接触引弧的方式，钨极不被破坏，主要原因是接触钨极接触工件时，只是很小的电流通过，当电极提升时，点燃较弱的电弧后，控制系统将电流转为设定的焊接电流。可以说，焊接的每一步动作，离不开控制器的作用。图11-2 是TIG焊接设备控制面板。

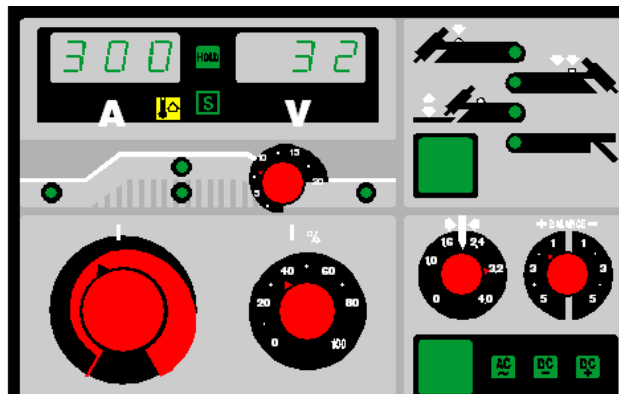


图11-2 控制区操作主面板

## 三、焊枪

焊枪是TIG焊的工具，它的功能对焊缝成型具有重要影响，图11-3是一把TIG焊枪示意，焊枪通过一根总成电缆连到焊机上，焊接电流通过电缆传输，保护气体从气管通入，各种功能可以用焊枪上的切换开关通过控制线实现。对于设计电流量为150A的焊枪来说，保护气的冷却作用和周围空气冷却就足够了，大功率的焊枪必须水冷，当水在水管和水箱中循环，电缆就可以被冷却水冷却。管不需要很粗，并且管的总成要保持柔韧性。为了这个目的，水、

电管在一个总成里，一个压力检测装置通常安装在焊机里，它能确保冷却水流量太小或太大时，焊接电流能够被切断。



图11-3 TIG焊枪示意

钨极由钨极夹定位并通过焊枪帽压紧，焊枪帽的长度取决于现场环境，例如：在狭小空间，短枪帽比长枪帽更合适。焊枪开关可以设计成单键或双键的形式，也可设计成推杆的形式，通过向前或向后推动来操作。

钨极直径的选择根据焊接电流的大小，不同的钨极对应不同的电流范围。在焊枪的前端，是喷嘴，喷嘴材料一般是金属或陶瓷，它的直径必须和焊接工作匹配，如果熔池较大，则喷嘴也应该大一些。钨极超出喷嘴的长度根据钨极直径而定，较细的大约2mm，较粗的大约为3mm。

电极端头的形状根据焊接材料而变化，铝合金为圆头型更合适，尖锐的钨极，可以获得窄而深的熔池。

#### 第四节 TIG焊操作

在TIG焊接中，向左移动焊接被广泛采用，这是针对用右手持焊枪而用左手持焊丝而言，焊枪向右倾斜20度，焊丝从前方以与工件成15度角的位置向熔池送入，见图11-4。

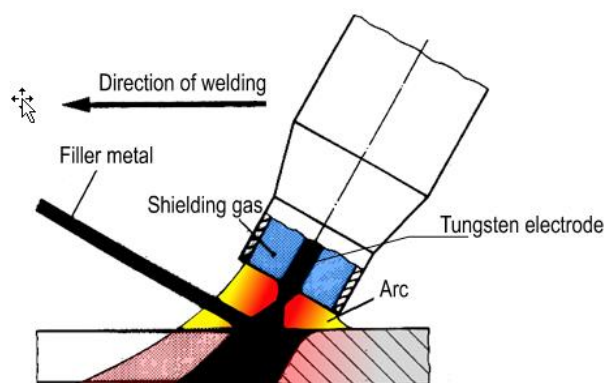


图11-4 TIG焊接操作示意

电弧首先熔化金属形成一个熔池，焊丝从电弧下方送入熔池，焊工要用以前后运动的点动形式送焊丝，在这个过程中，焊丝不能在电弧下移动太远，否则熔深降低。在焊接过程中，焊丝的前端应该在熔池的前部溶化进入熔池，焊工要确保焊丝前端不要撤出焊接气体保护区，否则焊丝前端氧化会进入溶池。

一般在焊接过程中，不需要摆动或轻微一点摆动，但在垂直向上焊接位置，焊枪、焊丝都应该有一点轻微摆动，另外在较宽焊缝上，为添满焊缝，也需要轻微摆动。

### 第五节 TIG 脉冲焊接

当使用脉冲电流进行焊接时，电流、电压随着脉冲频率的节奏变化持续地在峰值和基值之间转换，现在的逆变焊机可以在1HZ--300HZ之间调节脉冲频率，频率越高，金属晶粒越细化，低频脉冲主要用于焊接薄板。峰值电流可以获得很好熔深，并且形成点状熔池由于基值电流作用，熔池从边缘向中心收缩，直到下一个峰值电流再熔化它，与此同时，电弧顺着焊接方向移动，使得焊缝成为连续的焊接重叠焊点，熔池尺寸比恒定电流焊接时小，这意味较难焊接的位置更容易控制，熔深保证更好。脉冲焊接的缺点是焊接速度较慢，尤其是低频脉冲更是这样。

TIG焊推荐的规范如表11-1所示：

表11-1 TIG焊接规范表

母材厚度 (mm)	接头类型	焊接层数	钨极直径 (mm)	焊接电流 (A)
1	I	1	1.6	75
2	I	1	2.0	90
3	I	1	2.4	125
4	I	1	2.4	160
5	V	2	3.2	165
6	V	2	4.0	185

## 第六节 铝及铝合金TIG焊工艺

铝及铝合金焊接通常使用交流焊接电源，特别薄的板可能使用直流电源。熔池表面的氧化层需要处理， $Al_2O_3$  的熔点大约为 $2050^{\circ}C$ ，而材料本身如纯铝的熔点仅为 $660^{\circ}C$ ，然而，即使材料进行了氧化膜打磨清理，铝还是极易与氧气反应形成氧化膜，由于 $Al_2O_3$  的熔点特别高，电弧下的熔化金属未被全部熔化，氧化膜形成夹渣。当直流电（负极）焊接时，多数焊缝表面都覆盖了坚硬的氧化铝层，氧化层使它不可能观察熔池而且很难填充材料。用交流电焊接时，利用电弧的高能密度击破氧化层并去除它。这是因为电子的质量小，没有足够的动能，而离子却可以，图11-5 显示了电弧的去氧化膜过程。

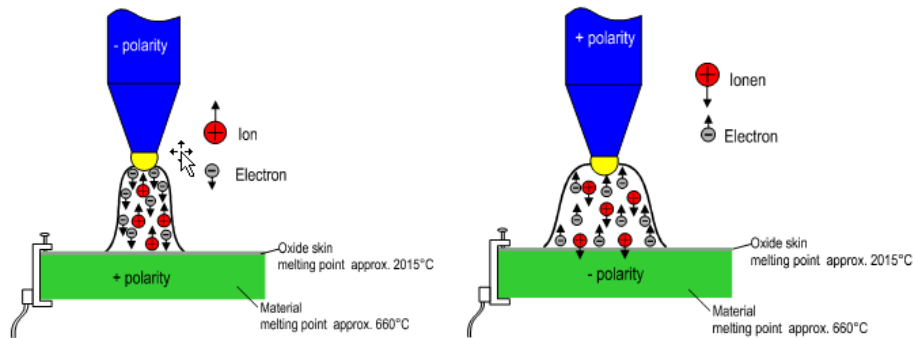


图11-5 氧化膜去除过程

如果采用电极负极接法，电子从电极到工件并且正离子从工件到电极，这时是没有清理效果的。当电极正极接法时，也就是说较重的正离子打向工件表面，正离子的动能能击破氧化层并且去掉它们。在电极正极接法时，由于电极热量较高，电极的电流承受能力较低，这时只能焊接较薄的铝板（最大约 $2.5mm$ ）。交流电可以折衷地解决这一问题。电极处于正半周的波形时，电弧起到清理氧化层的作用。电极处于负半周波形时，电极能得到冷却。与电极负极接法相比，交流电焊接时，电极承受电流能力要低一些，但它比电极正极接法时显著地提高了电流承受力。其实并不需要整个正半周（50%）的清理，只要有20-30%就已足够了。这在现在的焊机上已有应用，利用晶体管的快速通断将直流电源转变为交流方波连接到电极上，这意味着正负半周的平衡可以调节，例如从20%正半周/80%负半周到80%正半周/20%负半周，见图11-6。

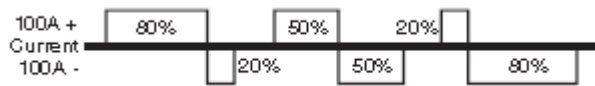


图11-6 交流输出的不同平衡度的波形

正半周的比例越低，电极的承受电流能力就越高，或者说在相同电流下，电极的使用寿命就越长。对于方波电流的频率通常在50Hz-300Hz 之间调节，频率提高后对电极寿命也有好处。方波交流电还有另外一个好处，当电流在正负交替过零点时，波形变化比正弦波要快，重新引弧就更安全，更稳定，但是带有嗡嗡的噪音。近期，一种电极负极接法的TIG焊得到应用，它是应用高含量的氦气（例如90%He/11%Ar）作为保护气，如前所说当在负极接法时，氧化层无法被击穿，但是氦气电弧的热量很高足以将其熔化。TIG 直流负极接法首先应用于修理铝硅合金铸件，以便提高熔深。

铝材的焊接特性因为含氢的缘故，所以很容易产生气孔。焊铝的条件比焊钢苛刻很多，钢在液态变为固态的过程中，对氢有 $8\text{cm}^3/110\text{g}$  的溶解度，而铝却没有，也就是说，氢必须从焊接材料中溢出，否则就会产生气孔。TIG 焊铝时，氢气产生于母材的氧化层，它们吸收湿气，所以在焊接前应该打磨掉氧化层。另一方面，如果有一层氧化薄膜，因为它比纯铝更容易发射电子，所以电弧比较安静。这意味着在稳定电弧和防止气孔之间需要采取折衷的方法，最好的方法是在焊接前先清理掉氧化层，然后再放置一到两个小时，使母材表面产生很薄的氧化层。填充材料表面也会产生氧化层，所以最好要仔细保存并且尽快使用。填充材料过度氧化可能造成焊缝金属发渣和出现密集气孔。