

## 第九章 铝及铝合金 MIG 焊设备和工艺

### 第一节 MIG 焊接工艺的定义

MIG 焊接是目前发展速度最快的一种弧焊工艺，起源于美国，1948 年被首次应用于工业领域。MIG 焊通常被定义为丝状电极的金属极电弧焊，在焊接过程中，惰性气体覆盖住焊接区域，避免熔化金属的氧化。焊接电弧的起弧过程为焊丝接触导电嘴获得电压，和设备地线构成焊接回路，使电弧能够在焊丝端部和工件之间燃烧，焊接保护气体通过喷嘴流出，覆盖住焊接区域，形成焊接冶金过程，原理如图 9-1 所示。

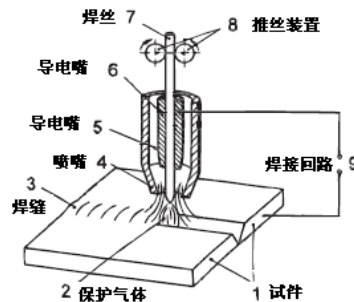


图 9-1 MIG 焊理论定义

### 第二节 MIG 焊接设备

MIG 焊接设备主要由焊接电源、控制器、送丝机、焊枪、封装套管、地线等构成，每部分作用如下：

#### 一、焊接电源

焊接电源的作用是向焊接过程提供焊接能量，它将电网输入的 3 相、380V 高电压、10A 以下低电流转换为 40V 以下低电压和 330A 以下大电流。MIG 焊接电源有三种，抽头式、可控硅式、逆变式。抽头式和可控硅式焊接电源属于低挡次焊接电源，只能做普通碳钢焊接使用。对于焊接铝合金结构，目前普遍使用逆变数字式焊接电源。其可实现焊接输出电流波形任意可调，能精确控制熔滴的过渡，实现平稳焊接。

逆变数字焊机的工作原理不同于常规焊接电源，从电网来的电压首先被整流成直流电，

然后，为了电源转换的需要，通过开关的开通、关断将电流切成窄窄的一段段，这种方法叫时钟控制，也叫斩波。这种快速的开、关控制，是由晶体管的快速电子开关实现的。世界上第一台晶体管逆变器的时钟频率大约在25千赫兹左右，随着今天晶体管的高速发展，100千赫兹以上的开关频率都已经成为现实，可以更加精确地把直流斩成各种方式的方波交流。同时在变压器次级输出交流方波，再进行二次整流，输出焊接电压。在此电流转换过程中，变压器大小，取决于电流变换的频率，频率越高，变压器体积可以做到更小，从而实现轻便电源。

对于数字电源，采用的很多电子元件如整流器、电抗器、电容都是由控制器电子触发的，因此对于数字焊接电源，控制器和功率单元一样重要，电流由斩波器控制，改变电流输入、输出时间的比率，就能改变输出电流。改变电抗器的频率，也能调整电流的大小。为了产生脉冲电流，可以周期性地改变电流输入、输出时间的比率，实现输出脉冲电流的目的，逆变数字焊机的主电路如图9-2所示。

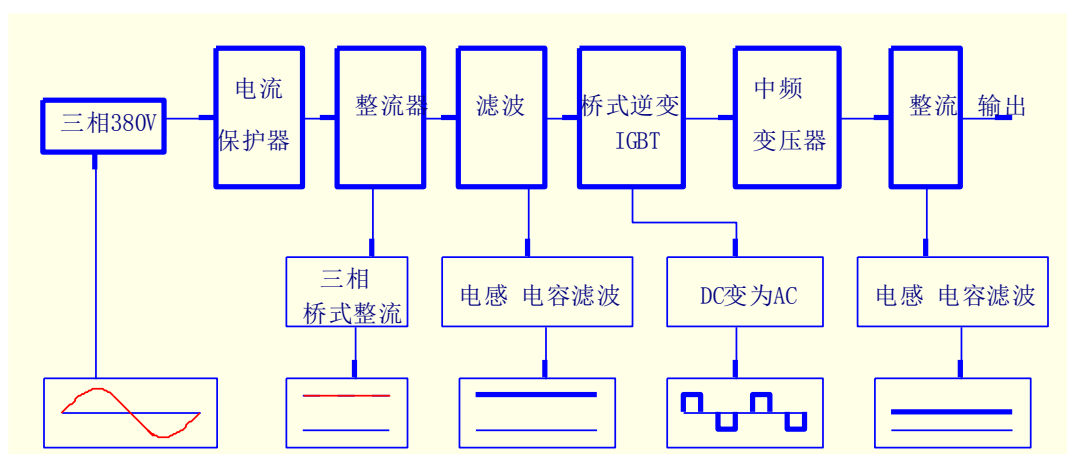


图9-2 逆变MIG焊接设备主电路图

在图9-2中，交流输入电压经380V经三相整流桥整流变为直流电压，整流后的直流电压经滤波电容进行滤波，直流电压经逆变器（IGBT、主变MTr）变成高频交流电压，次级整流二极管将逆变器输出的交流电压变为直流电压，直流电抗器对次级整流后的直流电压进行平滑滤波，焊机（+、-）输出平滑的直流电压（或直流脉冲电压）。

## 二、送丝单元

送丝单元保证焊接过程中，焊丝送进的速度和焊丝的熔化速度相匹配。焊丝从送丝机单元的焊丝导入嘴进入，经送丝轮向前导送焊丝，再经过送丝轮前面的导向嘴，以固定的方向将焊丝送入焊枪软管。送丝轮由一个旋转速度可无极调节的直流马达驱动，如图9-3所示。现代焊接允许控制焊接过程，送丝速度由速度计测量并且根据负载进行控制。MIG焊标准送

丝速度为2-20 米/ 分钟。



图 9-3 带有四轮驱动的送丝单元内视图

送丝单元不允许破坏焊丝的表面。因而送丝轮需要足够的直径来保证作用于焊丝表面的单位压力不至于过大。相对两轮驱动单元，四轮驱动单元可以实现更小的表面压力送丝而不会滑动。如果使用多轮驱动则送丝轮之间的表面压力可以更小。对四轮驱动单元，通常所有驱动轮通过齿轮啮合由公共的齿轮马达驱动，见图9-4。一般一对送丝轮只有一只有梯形槽，另一个为光滑的表面。保护焊丝表面不被破坏是有重要意义的，因为焊丝的碎屑进入封装套管会很快堵塞送丝软管。送丝轮磨损老化也会加剧金属的损伤，因此应该定期检查其状况。

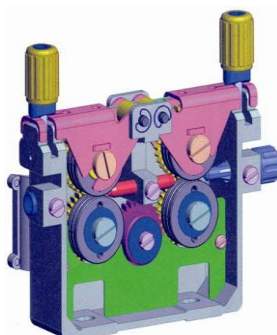


图9-4 一个马达驱动四轮送丝示意图

铝合金焊接，必须要采用四轮驱动来送焊丝，在大多数情况下，送丝轮应采用平稳、光滑的半圆凹槽辊轮。施加在前送丝轮的接触压力要比后端的大，避免堵丝。送丝轮压力过大、过小均会影响焊丝性能。图9-5、图9-6均示意了不合理的送丝轮状态，图9-7示意了理想的送丝轮状态。

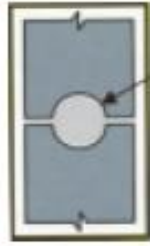


图9-5 辊轮表面太粗糙，将损害焊丝



图 9-6 辊轮的边缘太锋利，将损害焊丝



图9-7 送丝轮理想状态（边缘光滑）

### 三、焊枪

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。

焊枪封装套管包括所有的管线，即焊接电缆，保护气管，送丝管和控制线，以及大电流焊机必须的水冷出水管和回水管。水冷焊枪的焊接电缆位于水冷回水管中，管线的尺寸比无水冷的要小，封装套管也更柔软。对纯钢和非合金钢，送丝管由钢制螺旋管组成。当使用镍铬不锈钢和铝以及其它金属焊丝时，使用低阻尼塑料（如特富龙）制成的送丝管。塑料导管

比钢丝管有更理想的摩擦系数。控制线使焊枪的控制信号能传递到控制器。使用位于焊枪上的焊枪开关来控制焊机的启动和输出。封装套管的末端是焊枪枪柄，下面为一些常用的焊枪类型。图9-8为鹅颈式焊枪，鹅颈式焊枪重量轻且电弧更容易接近工作点。



图 9-8 鹅颈式焊枪

图9-9为鹅颈式焊枪断面图，它清楚显示了钢送丝管、焊丝在导电嘴内的状况，设计结构可以防止焊丝在焊枪前部扭曲。

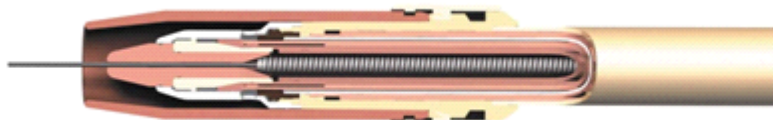


图 9-9 焊枪断面图

图9-10 为推拉式焊枪。推拉开启后，位于焊枪手柄内的送丝马达驱动焊丝送进，同时位于送丝机内的马达也推动焊丝进入封装套管。双重送丝功能，意味着柔软和细的焊丝也能可靠地送丝。当采用直径0.8mm焊丝或4043焊丝时，一般采用该种方式。



图9-10 推拉式焊枪结构示意图

图9-11为另一类焊枪，在数字焊接系统中，焊接参数可以在焊枪上显示，并能在焊枪上实现调节。



图9-11 数显焊接参数焊枪示意

图9-12是自带焊丝推拉式焊枪，该枪直接装有一个微型丝盘，同时枪把装有送丝马达，因送丝管非常短，可以毫无问题地输送柔软且细的焊丝。



图 9-12 自带焊丝推拉式焊枪

#### 四、焊接控制器

焊接系统控制器可以设置不同的功能，其中一些可以经过控制线在焊枪开关上实现。这也包括从焊枪2步方式到4步方式操作的切换。其它功能包括设定焊丝引弧时的软起弧速度和焊接结束时电弧的回烧时间。引弧时焊丝速度可调使引弧过程更安全，这样可以避免在冷材料上刚刚开始燃烧的电弧不会被快速送入的焊丝再度熄灭。设定电弧的回烧时间避免焊丝粘在弧坑里。它是通过焊丝速度的停止略提前于电弧的停止而实现的。如果回烧时间过长，焊丝可能会粘在导电嘴上。另一个作用是防止焊接结束时焊丝末端留有太大的熔球，那样会妨碍引弧。为此在焊接过程结束前，焊丝末端形成的熔球会立即被一个电流脉冲消除掉。后一种功能对全自动焊接尤其重要，当然半自动焊接，焊工可以在重新引弧前剪去焊丝末端。现代MIG/MAG系统可以允许焊接起始时电流斜坡上升和焊缝末端电流类似的下降。

#### 五、焊接地线

焊接地线是将工件和焊接电源用电缆连接起来的实心电缆，地线跟工件的牢固性结合是焊接必须的，接地不牢会导致焊接电压升高。

### 第三节 MIG焊接电弧方式

MIG焊电弧基本分为短弧、长弧、喷射弧和脉冲弧。每种电弧焊丝金属熔滴过渡的方式不同，主要特点如下：

#### 一、短弧

短弧一般出现在低电流、低电压区间，电弧特征是电弧短，在焊接过程中，以短路过渡方式进行焊接。熔滴过渡方式如图9-13所示意。

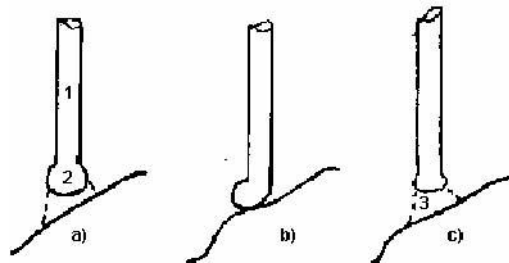


图 9-13 短弧的熔滴过渡

1: 焊丝 2: 熔滴 3: 电弧

由于短弧焊丝端部迅速地接触到熔池，在电弧热量的作用下焊丝的末端形成了一个小熔滴（a），产生了短路电弧熄灭（b），由于熔池的表面张力使熔滴从焊丝的末端脱落；由于电流箍缩效应在熔滴分离的过程中没有明显的作用，然后电弧重新引燃（c）。这个过程根据使用的保护气的不同以每秒20-100次的频率非常有规律地重复。在短路状态，电流升高（短路电流），由于熔滴小，短路的时间很短，因此也不会出现特别大的电流峰值。另外，常规电源焊接电流回路的电抗器也降低了短路电流上升速度，这使得短路之后电弧平稳地重新引燃而不会出现任何大的飞溅。在逆变电源中，控制器设置软件防止电流过分升高，使用短弧焊是一个相对热输入较小的焊接方法，它在薄板及全位置焊接时应用较多。

#### 二、长弧

长弧出现在高电压区，电弧端部没有电磁收缩效应或者几乎不可见，造成焊丝端部熔滴过渡困难，图2-24解释了这种熔滴过渡的类型，首先在重力作用下向工件运动的焊丝的端部产生大粒的熔滴（a），在此过程中，在熔滴和熔池之间形成短路桥（b），通过这种方式，熔滴被转移到熔池里去（c），有时也会转移一些很大的单个熔滴，在这种情况下，由于熔滴

尺寸大，这就产生了非常大的短路电流，其结果是重新引弧时形成很大的飞溅，这个过程发生在较高的电流和电压区间，产生体积大、热量高的熔池，因此仅适于水平焊(图9-14)，全位置焊接几乎不可能实现。

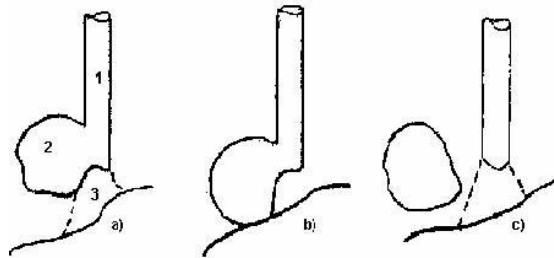


图9-14 长弧焊接过渡示意图

### 三、喷射弧

喷射弧产生在高电压、大电流状态，在焊丝末端，熔滴覆盖整个焊丝端部，电流箍缩效应显著，可以实现无飞溅焊接。图9-15示意了喷射弧的示意。

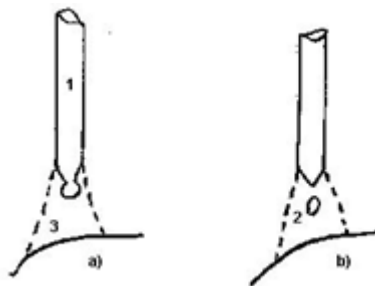


图9-15 喷射弧示意图

1: 焊丝 2: 熔滴 3: 电弧

### 四、脉冲弧

脉冲弧是由一种周期性变化的电流组成，脉冲参数的控制主要由电源控制器提供，脉冲参数包括基值电流、基值时间、脉冲电流、脉冲时间、频率、送丝速度、峰值电压、基值电压等，在脉冲电流峰值阶段，熔滴由于箍缩效应而与焊丝分离，其结果是细的焊接熔滴过渡到金属熔池中。在基值电流（电压）和峰值时间固定的情况下，可以通过改变脉冲频率来调整送丝速度和弧长，达到设置功率的目的，脉冲弧跨越全部的能量区间，均可以实现无飞溅焊接，适合各种焊接位置。铝合金MIG焊接主要是采用脉冲电弧技术。研究表明，设置较低



的基值电流，电压要相应高，保持稳定燃烧，脉冲电流要保持低电压，获得较强的穿透力，如图9-16所示。

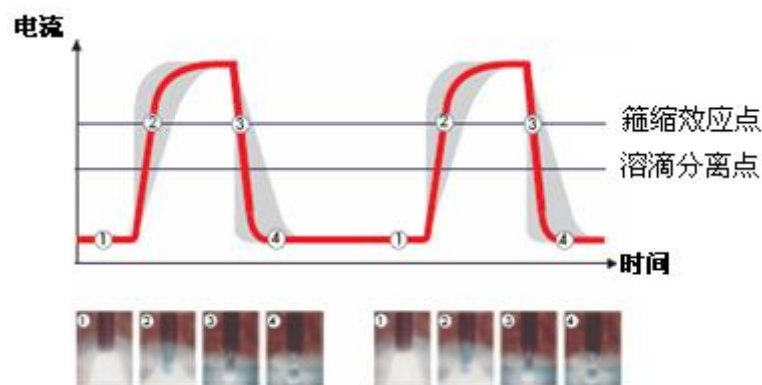


图9-16 脉冲弧的熔滴过渡

脉冲弧优点： 能焊接厚度小的材料(0.8 mm)

能使用较大直径的焊丝

良好位置的焊接性

较低热量耗费

轻度变形

气孔发生概率低

#### 第四节 铝合金焊接的开始、结束、焊接过程

##### 一、铝合金焊接起弧和收弧

铝合金的导热性非常好，在开始起弧时，电弧的热量瞬间被导走，造成起弧处不熔合，为了抵消这一现象，使用焊接起弧程序，在起弧的初始阶段，用大于焊接能量的150%起弧，保证在起弧阶段具有足够的功率损失补偿。在收弧阶段，采用一个衰减的焊接程序，避免能量突然撤离带来的弧坑裂纹问题。图9-17示意了这一工艺过程。

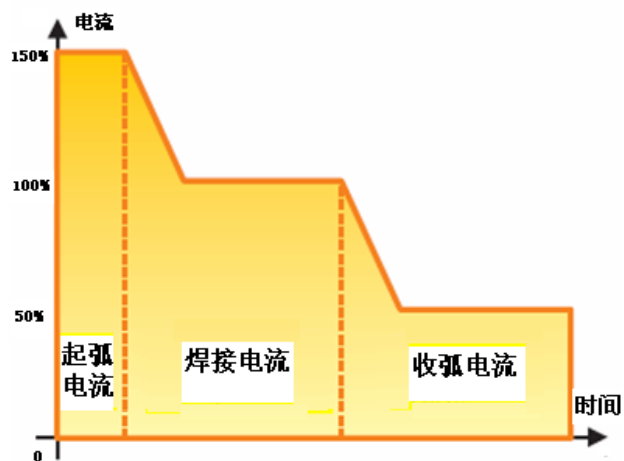


图9-17 铝合金焊接程序功能图

起弧和收弧的设置，取决于材料的厚度，要经过试验来验证，如果焊接电源不能够提供这样的功能，那么必须使用引弧板和收弧板。

## 二、 引弧问题

在引弧阶段时，会出现短路的现象。通过常规引弧，电流在短路期间上升差不多900 A。由于这么高的电流，会通过“爆炸”的方式切断短路现象，从而引起焊接飞溅。此问题能通过无飞溅引弧来防止。引弧通常有常规引弧方式和无飞溅引弧方式：

### 1. 常规引弧

优点：

不需推挽式驱动

当引弧功能良好时，允许较短的启动时间

缺点：

没有重复引弧

飞溅喷出

焊丝直径越大，电弧起动电流越高。

较高的电弧起动电流施加在导电嘴上会减少寿命

### 2. 无飞溅引弧

优点：

无飞溅引弧能使电弧通过无飞溅来引弧。在焊接开始时，焊丝在接触工件表面时送丝速度较慢，只要送丝一触到工件，焊丝马上就停止，接着激活焊接电弧和收缩焊丝，一旦到达准确的电弧长度，将按特殊焊接工艺指定的送丝速度开始送丝。无飞溅引弧可实现无飞

溅引弧和 100%可再生引弧。

### 3. 起弧比较

在高速摄影下,常规引弧和无飞溅引弧如图9-18和9-19所示。



图9-18 常规引弧



图9-19 无飞溅引弧

## 三、铝合金焊接过程

MIG焊接过程是通过移动焊枪来形成焊缝，焊枪应当以一定的速度沿焊缝移动。焊接时使用惰性气体对熔池进行保护，防止焊缝被氧化。在平焊位置上，焊枪指向其运动方向，与垂直方向呈 $5\sim 20^\circ$ 的夹角，焊枪焊丝指向要偏向导热快的一侧。


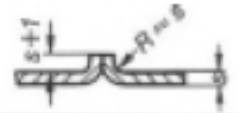



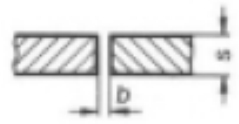



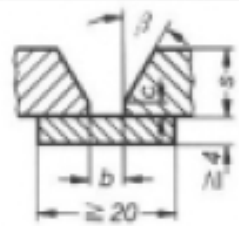

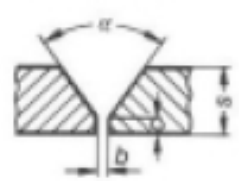

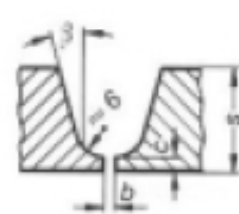

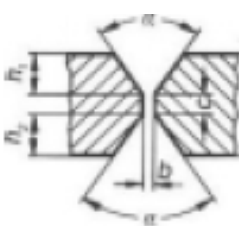
当铝材的厚度大于8mm时，需要多道焊接，焊接打底焊非常重要，铝合金焊接大部分缺陷都出现在焊缝底部，打底焊需要快而焊角小，避免熔化金属盖住焊道根部而形成根部缺陷。

### 第五节 MIG 焊缝坡口设计

焊缝形状大体上是由材料厚度和焊接结构设计决定的。不同的厚度，坡口形状是不同的，铝合金焊缝坡口角度要大于钢材的坡口角度,这是因为铝合金焊接根部缺陷避免非常困难，稍大的坡口会改善焊缝根部焊接的条件，表9-1为坡口形状建议表：

表9-1: MIG 焊的坡口形状

工件厚度[mm]	单面 双面	名称	符号	坡口剖面图	坡口 角度	间隙 b	焊接工艺

0-2	单面	凸缘焊缝			-	-	TIG
0-4	单面	边缘接头 焊缝			-	-	MIG TIG
0-4	单面	对接焊缝			-	0-1	TIG
2-4					-	0-2	MIG
4-16					-	0-3	TIG MIG
4-10	单面 或双 面	V型焊缝			90-10	0-1	TIG
6-20	0				50-90	0-2	MIG
6-30	单面	Y形焊缝			15-30	3-9	MIG
大于10	单面 或双 面	Y形焊缝			60-90	0-4	TIG
					50-90		MIG
大于10	单面	U形焊缝			0-10	0-1	MIG
大于10	双面	双Y形焊缝			50-90	0-2	MIG

## 第六节 MIG 手工焊接规范参考值

MIG 焊规范取决于多种因素，相同的板厚，焊接规范也是不同的，与导热状态、环境温度等等有关，表 9-2 只是一个参考值，在具体结构上要重新试验修正。

表9-2 焊接规范建议表

加工件的 厚度mm	坡口形状	焊丝 mm	焊接电流A	焊接速度 cm/min	氩耗费量 l/min	焊道数目
2	II	1.2	110	80	12	1
3	II	1.2	130	95	12	1
4	II	1.2	160	90	15	1
5	II	1.2	180	90	15	1
6	II	1.2	200	65	15	1
8	V	1.2	240	60	16	2
10	V	1.2	260	60	16	2
12	V	1.2	280	55	18	2
16	V	1.2	300	50	20	3
20	V	1.6	320	50	20	3