

# 第七章 熔化极惰性气体焊

## 基本要求

- 1、了解熔化极氩弧焊的特点及应用
- 2、掌握熔化极氩弧焊的熔滴过渡特点
- 3、掌握熔化极氩弧焊主要工艺的特点及工艺参数的选择原则
- 4、掌握脉冲熔化极氩弧焊的工艺特点
- 5、掌握气体选用原则
- 6、了解熔化极氩弧焊设备特点

## 重点

- 1、熔化极氩弧焊的工艺特点及工艺参数的选择原则
- 2、脉冲熔化极氩弧焊的工艺特点
- 3、混合气体的选择原则

利用气体进行保护，利用焊丝作为电极，根据保护气体的种类可分为：

MIG {  
Ar作保护气体  
Ar+He作保护气体

MAG {  
Ar+O<sub>2</sub>作保护气体  
Ar+CO<sub>2</sub>作保护气体  
Ar+ O<sub>2</sub> CO<sub>2</sub>作保护气体

# § 7-1 MIG/MAG 焊的特点

## 一、熔化极氩弧焊的工艺特点

### 1、适用范围广

MIG焊可焊接铝及铝合金、钛及钛合金、铜及铜合金以及不锈钢的焊接，MAG焊可焊接低碳钢，焊接薄板又可焊接中等厚度和大厚度的板材。

### 2、生产率较高、焊接变形小

使用焊丝作电极，允许使用的电流密度较高，因此熔深大，熔敷速度快；生产率比TIG焊高，厚大焊件变形比TIG焊小。

### 3、焊接过程易于实现自动化

熔化极氩弧焊的电弧是明弧，焊接过程参数稳定，易于检测及控制，因此容易实现自动化。

### 4、对氧化膜不敏感

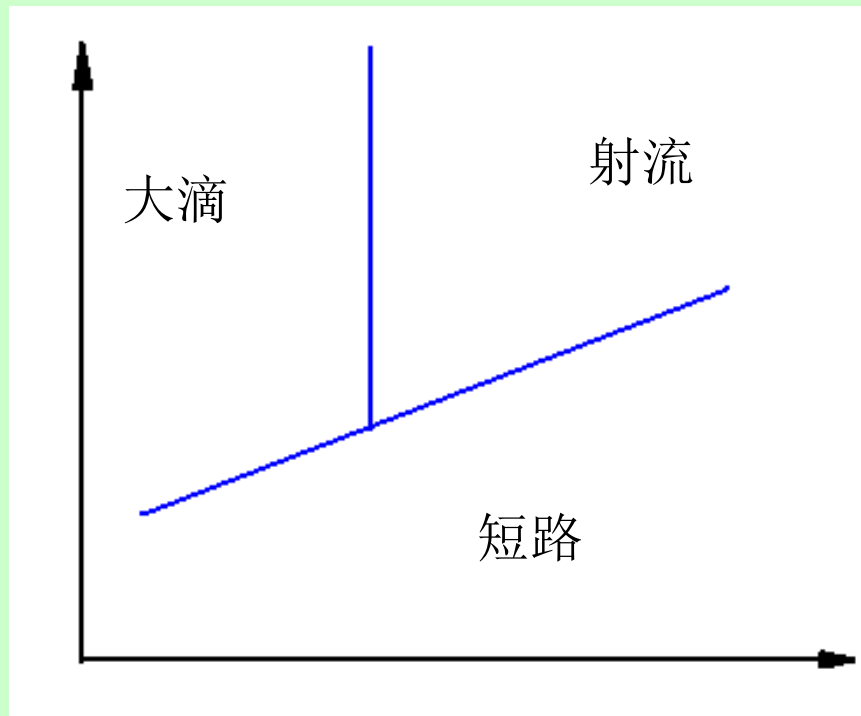
熔化极氩弧焊一般采用直流反接，焊接铝及铝合金时具有很强的阴极雾化作用，因此焊前几乎无需去除氧化膜。

## 二、熔化极惰性气体保护焊的应用

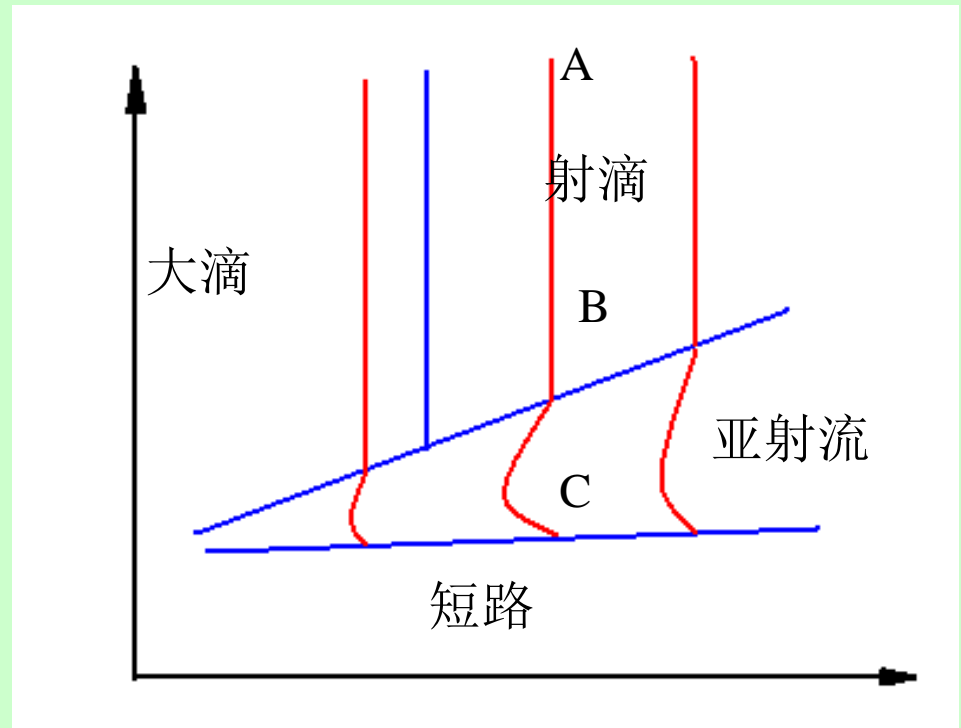
可用于焊接碳钢、低合金钢、不锈钢、耐热合金、铝及铝合金、镁及镁合金、铜及铜合金、钛及钛合金等。可用于平焊、横焊、立焊及全位置焊接，焊接厚度最薄为1mm，最大厚度不受限制。

# § 7-2 MIG焊的熔滴过渡

根据所用焊丝及焊接规范的不同，熔化极氩弧焊有五种熔滴过渡方式：短路过渡、大滴过渡、射流过渡、亚射流过渡及脉冲射流过渡。



钢

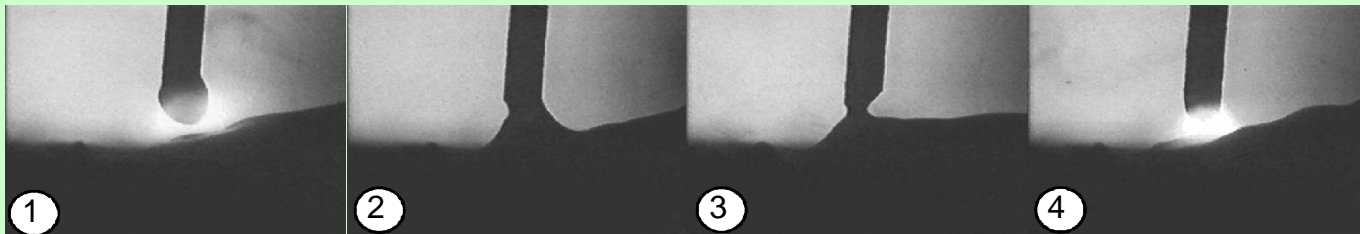
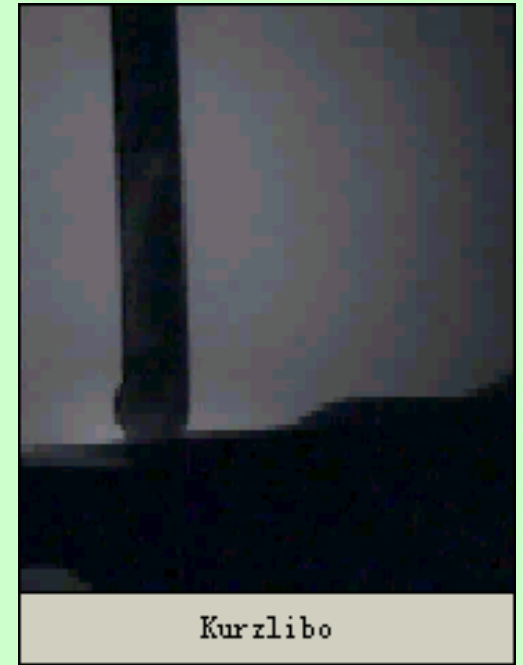
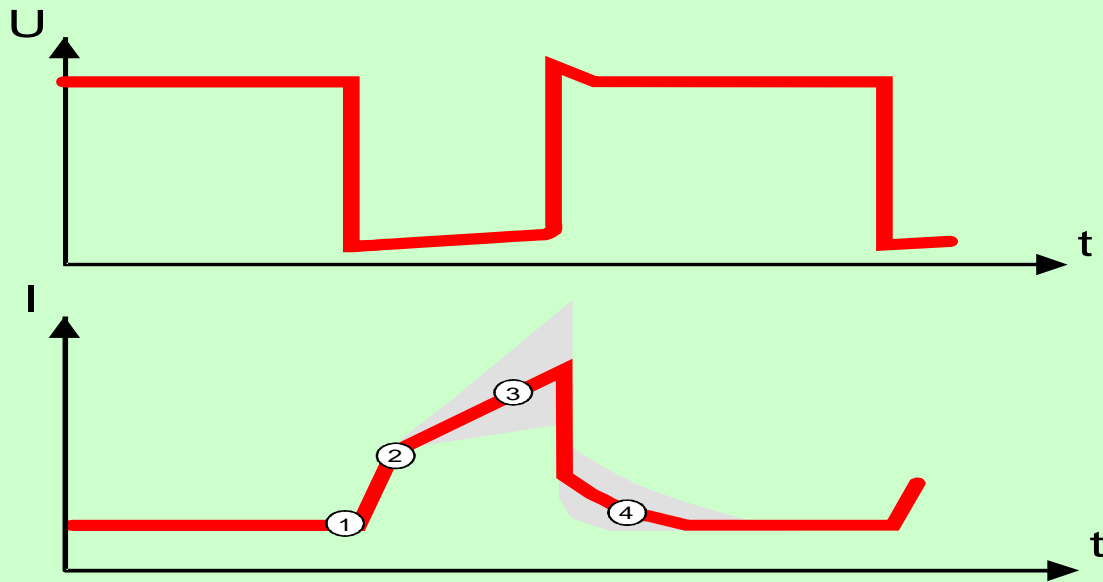


铝

# 一、短路过渡

## 1、条件：

采用细丝，并配以小电流及小电压进行焊接时。这种过渡工艺通常产生一体积小、凝固速度快的熔池，因此适合于薄板、全位置焊接。



## 二、大滴过渡

### 1、条件：

- (1) 电弧电压较高；
- 且(2)焊接电流较小的情况下。

### 2、特点

- (1) 熔滴尺寸较大(直径大于焊丝直径)；
- (2) 以重力加速度过渡；
- (3) 电弧不稳定，易出现熔合不良、未焊透、余高过大



# 三、喷射过渡

## 1、条件

- 1) 电弧电压较高；
- 2) 焊接电流较大。

## 2、特点

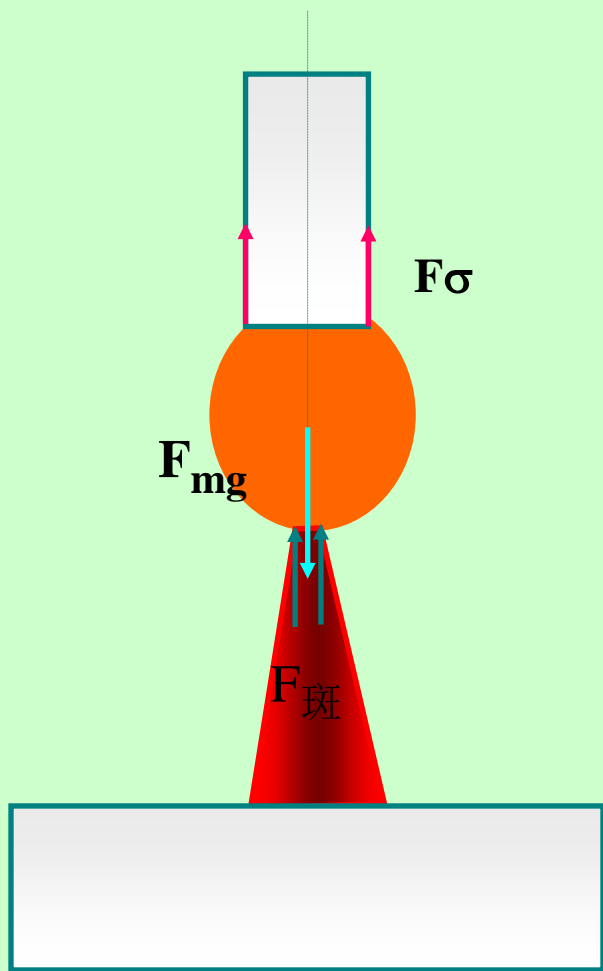
- 1) 熔滴尺寸细小（直径小于焊丝直径）。
- 2) 过渡加速度远大于重力加速度的加速度。
- 3) 沿焊丝轴线向熔池过渡。
- 4) 焊接不同的材料时，喷射过渡的形态是不同的：
  - 低碳钢、低合金钢及不锈钢焊接时的喷射过渡呈束流状，这种喷射过渡又称为射流过渡；
  - 铝及铝合金焊接时的喷射过渡呈滴状过渡，这种过渡称为射滴过渡。

## 3、临界电流：

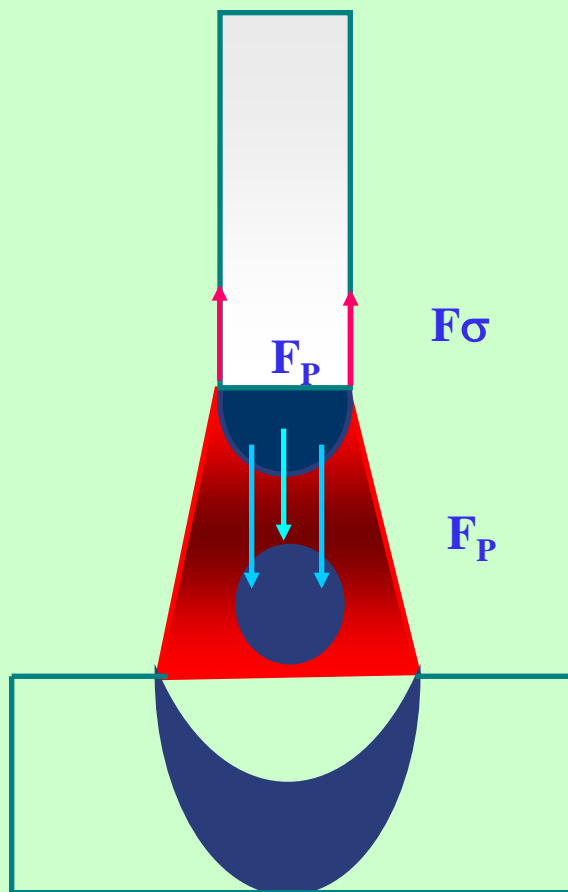
由大滴过渡向喷射过渡转变的最小电流称为喷射过渡临界电流。临界电流的影响因素有：①电弧气氛；②焊丝种类：Al、钢；③焊丝直径：越细，临界电流越小。

但这种过渡易于导致指状熔深。为了避免指状熔深，焊接生产中通常通过采用混合气体进行焊接。

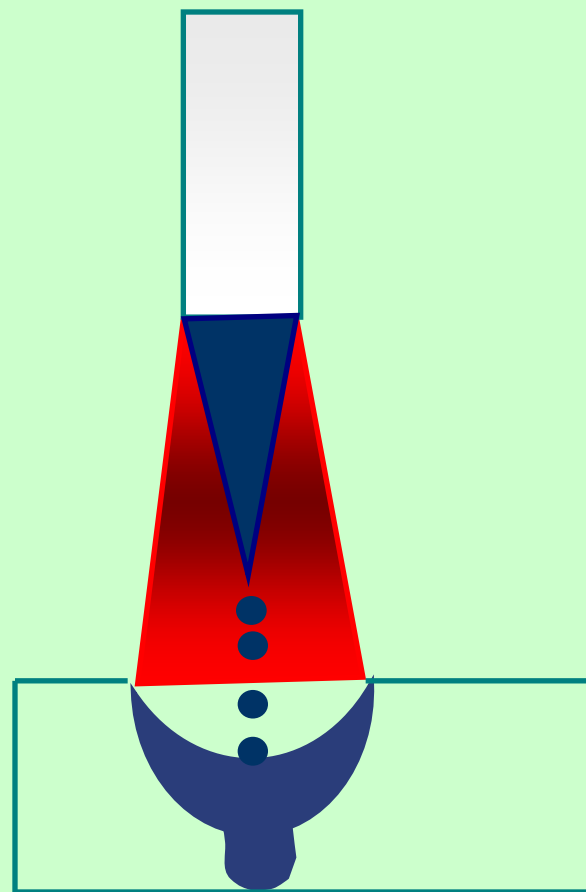




大滴



射滴



射流

## 四、亚射流过渡

亚射流过渡是介于短路过渡与射流过渡之间的一种过渡形式，是铝及铝合金焊接中特有的一种熔滴过渡方式。

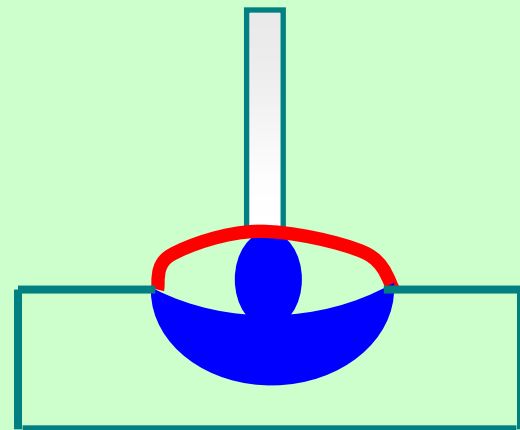
### 1、产生条件：

- 弧长较短，电弧电压较小（BC段）。

由于弧长较短，尺寸细小的熔滴在即将以射滴形式过渡到熔池中时，发生短路，然后在电磁收缩力的作用下完成过渡。

### 2、特点：

- 1) 电弧具有很强的固有自调节作用，采用等速送丝机配恒流特性的电源即可保持弧长稳定，焊缝外形及熔深非常均匀。
- 2) 熔深呈碗形，可避免指状熔深。
- 3) 电弧呈蝴蝶形状，阴极雾化作用强。



# § 7-3 熔化极氩弧焊设备

## 一、熔化极氩弧焊设备的分类

### (一) 按操作方式分类

1、半自动熔化极氩弧焊设备是指焊丝自动送进、焊炬由人工操纵的熔化极氩弧焊设备。

2、自动熔化极氩弧焊设备是指焊丝送进、焊炬行走均能够自动进行的熔化极氩弧焊设备。

### (二) 按所用的电源分类

1、直流

2、脉冲

### (三) 按送丝方式分类

1、等速送丝式

2、均匀送丝式(少见)。

## 二、熔化极氩弧焊设备的组成

通常由弧焊电源、控制箱、送丝机构、焊炬、水冷系统及供气系统组成。自动熔化极氩弧焊设备还配有行走小车或悬臂梁等，而送丝机构及焊炬均安装在小车上或悬臂梁的机头上。

### (一) 熔化极氩弧焊电源

1、利用细焊丝（直径小于1.6mm）焊接时，采用平特性或缓降特性的电源，配以等速送丝式送丝机。

2、利用亚射流过渡工艺焊接铝及铝合金时，一般采用恒流特性的电源，配以等速送丝的送丝机构，依靠电弧的固有自调节作用来保证弧长的稳定。

3、采用粗焊丝（直径大于2.0 mm）进行熔化极氩弧焊焊接时，电弧的自调节作用很弱。为了保证弧长自动调节采用弧压反馈送丝机配陡降特性电源。

## （二）控制箱

控制焊丝的自动送进、提前送气、滞后停气、引弧、电流通断、电流衰减、冷却水流的通断及焊丝的送进等。对于自动焊机，还要控制小车行走机构。

## （三）气路和水路

气路系统由气瓶、减压阀、流量计、软管及气阀组成。利用混合气体进行焊接时，要求利用一配比器，利用配比器可方便地调整混合气体的配比。

水路系统用于冷却焊炬及电缆，通常水路中设有水压开关，当水压太低或断水时，水压开关将使焊机停止工作。

## （四）焊炬

### 1、组成：

主要由导电嘴、喷嘴、焊枪体、帽罩及冷却水套等组成。

### 2、作用：

送丝、导通电流、向焊接区输送保护气体等。

## （五）送丝机

1、根据速度调节方式，送丝机构分为**等速送丝**和**均匀（弧压反馈）送丝**两种。

2、根据送丝滚轮与送丝软管的相对位置，送丝机构可分为：

**1) 推丝式**——送丝滚轮位于送丝软管之后，为一种应用最广泛的送丝机构，其特点是结构简单、焊枪轻便。但焊丝阻力较大，因此主要用于送丝距离小于3m的场合下。

**2) 拉丝式**——拉丝式送丝机构的送丝滚轮和送丝电动机均安装在焊枪上，其特点是送丝稳定、可靠，但焊枪的重量增加，加重了焊工的劳动强度。

**3) 推拉丝式**——推拉丝式送丝机构同时采用推丝电机及拉丝电机，推丝电机提供主要动力，拉丝电机的作用是将送丝软管内的焊丝拉直，送丝距离可达15m左右，但机构较复杂，目前应用较少。

◆送丝软管：①弹簧钢丝绕制，适用各种钢等的焊接；②四氟乙烯或尼龙，适用于铝及铝合金等的焊接。

# § 7-4 熔化极氩弧焊工艺

## 一、工艺参数的选择

### (一) 保护气体

MIG/MAG焊采用的气体以氩气为主。但采用纯氩气时会产生以下问题：

- (1) 易导致指状熔深；
- (2) 焊接低碳钢及低合金钢时，液态金属的粘度高、表面张力大，易导致气孔、咬边等缺陷；
- (3) 焊接低碳钢、低合金钢时，电弧阴极斑点不稳定，易于导致熔深及焊缝成形不均匀。

因此，熔化极氩弧焊一般不使用纯氩气体进行焊接，通常根据所焊接的材料采用适当比例的混合气体。

# 1、铝及其合金

(1) 气体：Ar+(20%~90%)He或Ar+(10%~75%)He

特点：

- 1) 电弧稳定，飞溅小；
- 2) 温度高，熔透能力大，焊缝成形好；
- 3) 随着氦含量的增大，飞溅增大。

(2) 气体：Ar+2%CO<sub>2</sub>

特点：

- 1) 可简化焊前清理工作，电弧稳定，飞溅小；
- 2) 抗气孔能力强，焊缝力学性能好。

# 2、不锈钢及高强度钢

气体：Ar+（1-5%）O<sub>2</sub> 或Ar+（1%~2%）CO<sub>2</sub>

特点：

- 1) 提高熔池的氧化性，降低焊缝金属的含氢量，
- 2) 克服指状熔深问题及阴极飘移现象，可有效防止气孔、咬边等缺陷。利用后者时，焊缝可能会增碳。



### 3、碳钢及低合金钢

(1) 气体： $\text{Ar}+(1\% \sim 5\%)\text{O}_2$  或  $\text{Ar}+20\%\text{CO}_2$

特点：

- 1) 提高熔池的氧化性，
- 2) 克服阴极飘移及指状熔深现象，改善焊缝成形；
- 3) 可有效防止氮气孔及氢气孔，提高焊缝的塑性及抗冷裂能力。

(2) 气体： $\text{Ar}+15\%\text{CO}_2+5\%\text{O}_2$

特点：

- 1) 飞溅小，电弧稳定，成形好，
- 2) 有良好的焊接质量，焊缝断面形状及熔深较理想。

### 4、铜及其合金

(1) 气体： $\text{Ar}+20\%\text{N}_2$

特点：

- 1) 可形成稳定的喷射过渡；
- 2) 电弧温度比纯氩电弧的温度高，热功率提高，可降低预热温度，但飞溅较大，焊缝表面较粗糙。

(2) 气体: Ar + (50%~70%)He

特点: 提高焊缝金属的润湿性、热功率提高, 可降低预热温度

## 5、镍及其合金

气体: Ar+H<sub>2</sub> (<6%)。防止CO气孔。提高电弧温度。

利用TIG焊焊接不锈钢时也可利用4-8%的氢气。

## (二) 焊丝

### 1、焊丝的种类及成分

碳钢、低合金钢: 强度相当的焊丝

铝、高合金钢: 采用与母材成分相近的焊丝。

### 2、焊丝直径

焊丝直径根据工件的厚度、施焊位置来选择, 薄板焊接及空间位置的焊接通常采用细丝 (直径 $\leq 1.6$  mm), 平焊位置的大厚度板及大厚度板焊接通常采用粗丝。

### （三）焊接电流

#### 1、种类：

熔化极氩弧焊通常采用直流反接。其优点是，过渡稳定，熔透能力大且阴极雾化效应大。

#### 2、大小：

焊接电流是最重要的焊接工艺参数。实际焊接过程中，应根据工件厚度、焊接位置来选择焊接电流。利用等速送丝式焊机焊接时，焊接电流的是通过送丝速度来调节的。

### （四）电弧电压

电弧电压主要影响熔宽，对熔深的影响很小。电弧电压应根据电流的大小、保护气体的成分、被焊材料的种类、熔滴过渡方式等进行选择。

## （五）焊接速度

在热输入不变的条件下，焊接速度过大，熔宽、熔深减小，甚至产生咬边、未熔合、未焊透等缺陷。如果焊接速度过慢。不但直接影响了生产率，而且还可能导致烧穿、焊接变形过大等缺陷。

自动熔化极氩弧焊的焊接速度一般为 $25\sim 150\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$ ；半自动熔化极氩弧焊的焊接速度一般为 $5\sim 60\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

## （六）焊丝干伸长度

焊丝的干伸长度影响焊丝的预热，因此对焊接过程及焊缝质量具有显著影响。其他条件不变而干伸长度过长时，等熔化曲线左移，焊接电流减小，易导致未焊透、未熔合等缺陷；干伸长度过短时，易导致喷嘴堵塞及烧损。

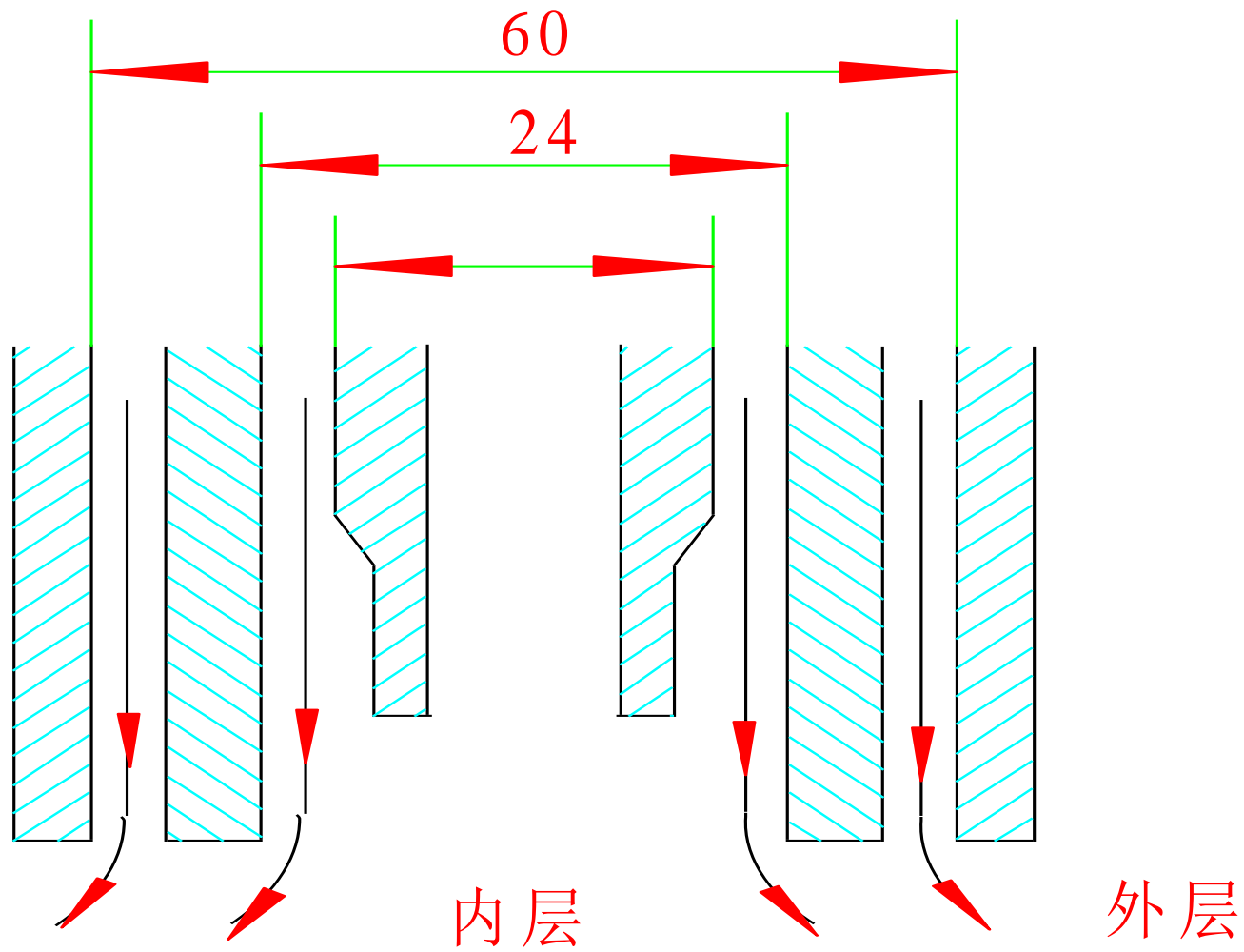
干伸长度一般根据焊接电流的大小、焊丝直径及焊丝电阻率来选择。

焊丝直径/mm	H08Mn2Si	H06Cr19Ni9Ti
0.8	6~12	5~9
1.0	7~13	6~11
1.2	8~15	7~12

(七) 气体流量：与TIG焊相同。

(八) 喷嘴至工件的距离：与TIG焊类似。

电流大小/A	<200	200~250	350~500
喷嘴高度/mm	15~18	15~20	20~25



# § 7-5 熔化极脉冲氩弧焊

## 一、熔化极脉冲氩弧焊的特点

熔化极脉冲氩弧焊具有如下优点：

1) 焊接参数的调节范围增大，可在平均电流小于临界电流的条件下获得射流过渡，因此，即能在高至几百安培，又能在低至几十安培的范围内获得稳定的射流过渡。因此，利用射流过渡工艺，熔化极脉冲氩弧焊既可焊薄板，又可焊厚板。

### 2) 可有效地控制线能量

通过调节脉冲参数可在保证焊透的条件下，将焊接线能量控制在较低的水平，从而减小了焊接热影响区及工件的变形。这对于热敏感材料的焊接是十分有利的。

### 3) 有利于实现全位置焊接

利用熔化极脉冲氩弧焊可在较小的线能量下实现喷射过渡，熔池的体积小，冷却速度快，因此，熔池易于保持，不易流淌。而且焊接过程稳定，飞溅小，焊缝成形好。

### 4) 焊缝质量好

脉冲电弧对熔池具有强烈的搅拌作用，可改善熔池的结晶条件及冶金性能，有助于消除焊接缺陷，提高焊缝质量。



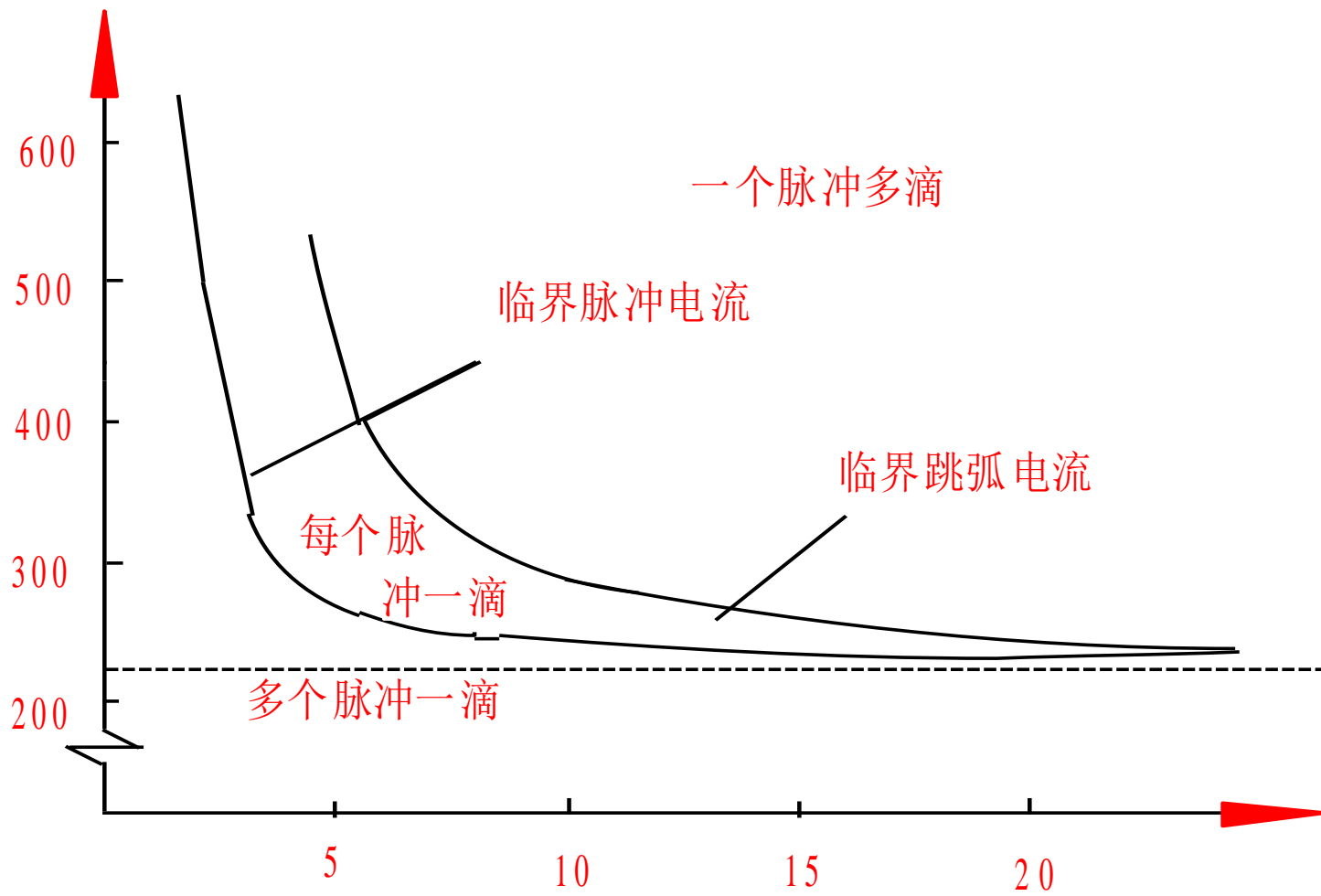
## 二、熔化极脉冲氩弧焊工艺

### （一）熔化极脉冲氩弧焊的熔滴过渡

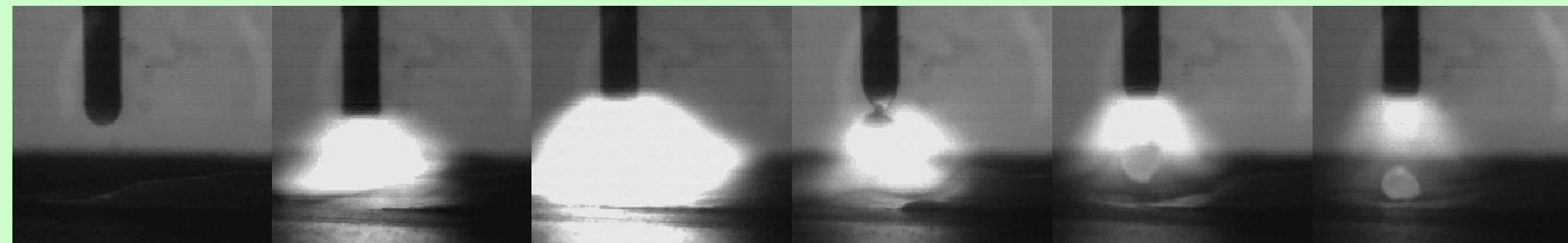
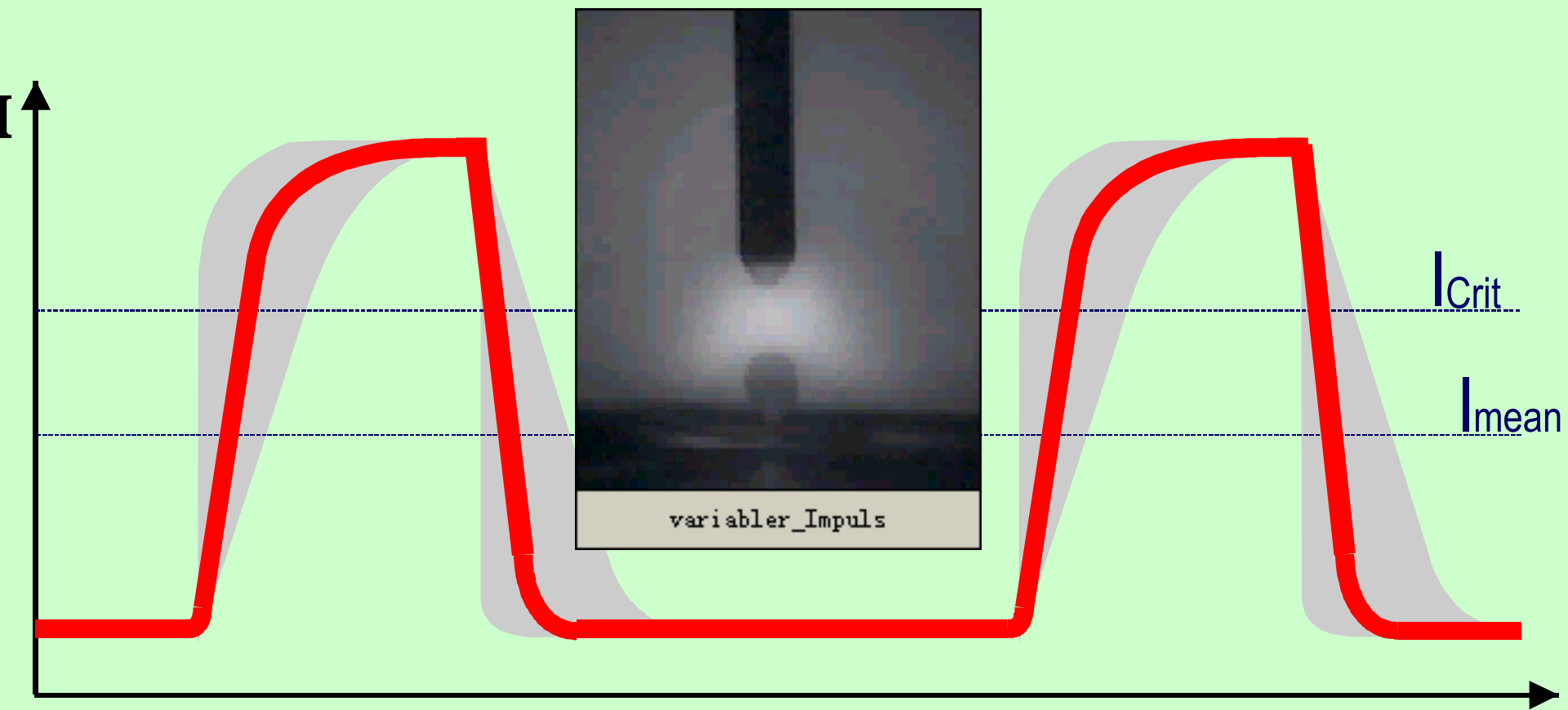
熔化极脉冲氩弧焊有三种过渡形式：

- ① 一个脉冲过渡一滴（简称一脉一滴）；
- ② 一个脉冲过渡多滴（简称一脉多滴）
- ③ 多个脉冲过渡一滴（多脉一滴）。

熔滴过渡方式主要决定于脉冲电流及脉冲持续时间。三种过渡方式中，一脉一滴的工艺性能最好，多脉一滴是工艺性能最差的一种过渡形式。然而，一脉一滴的工艺范围很窄，焊接过程中难以保证，因此，目前主要采用的是一脉多滴及一脉一滴的混合方式。



脉冲电流 参数与熔滴过渡形式的关系



## （二）焊接工艺参数的选择原则

### 1、脉冲电流 $I_p$ 及脉冲持续时间 $t_p$

脉冲电流与脉冲持续时间决定了熔滴过渡方式，这两个参数要适当配合，使 $(I_p, t_p)$ 点应位下图中一脉一滴临界曲线之上。

脉冲电流还影响熔深，在平均电流一定的条件下，脉冲电流越大，熔深越大。选择时，应综合考虑母材类型、板厚、焊接位置及熔滴过渡要求，首先选择平均电流、脉冲电流及脉冲持续时间。

### 2、基值电流 $I_b$

基值电流的主要作用是维持电弧的稳定燃烧，同时预热焊丝及工件。在保证电弧稳定的条件下，尽量选择较低的基值电流，以突出脉冲TIG焊的特点。

### 3、脉冲频率

一般在几十至几百的范围内，频率过低，焊丝易插入熔池。焊接过程不稳定，而频率过高则失去了脉冲焊的特点。脉冲频率通常根据焊接电流的大小来选择，电流较大时，脉冲频率应选得较大一些；焊接电流较小时，频率应选得小一些。

### 4、脉冲频率及脉冲宽比

脉宽比越小，脉冲焊的特征越明显，而脉宽比过小则易导致电弧不稳定，因此，脉宽比一般取25%~50%。全位置焊接、薄板及热敏感材料的焊接均要求脉宽比小一些。