



**武汉理工大学**  
wuhan university of technology

# 金属工艺学

多媒体课件



# 第14章 常用的焊接方法

1

14.1 手工电弧焊和埋弧焊

2

14.2 气体保护焊

3

14.3 电渣焊

4

14.4 等离子弧焊与切割

5

14.5 压力焊

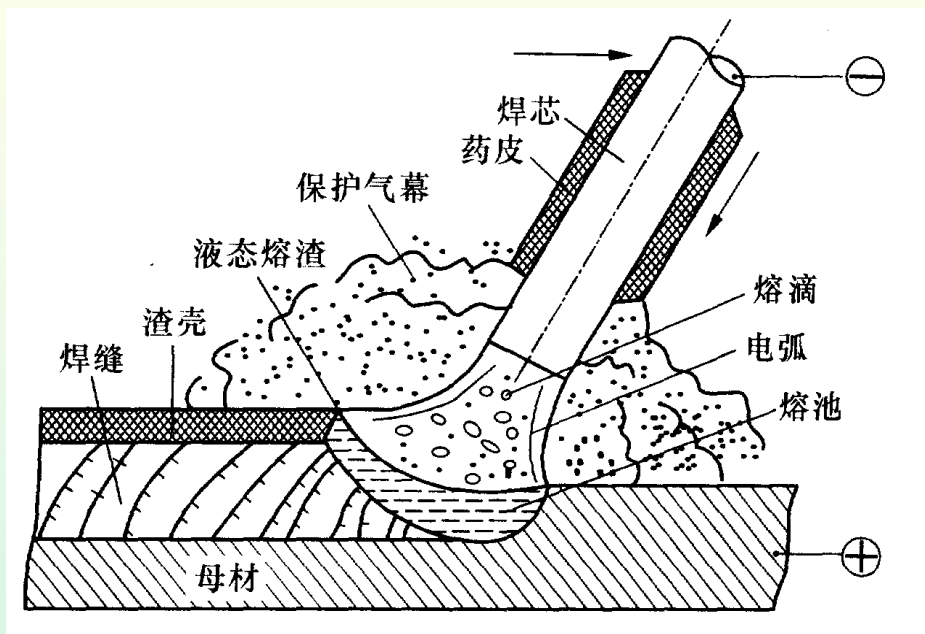
6

14.6 钎焊

## 14.1 手工电弧焊和埋弧焊

### 14.1.1 手工电弧焊（即焊条电弧焊）

**特点：**手工电弧焊具有设备简单，应用灵活方便，可焊各种金属等优点。生产率不如机械化的电弧焊高，焊缝质量也不太稳定。



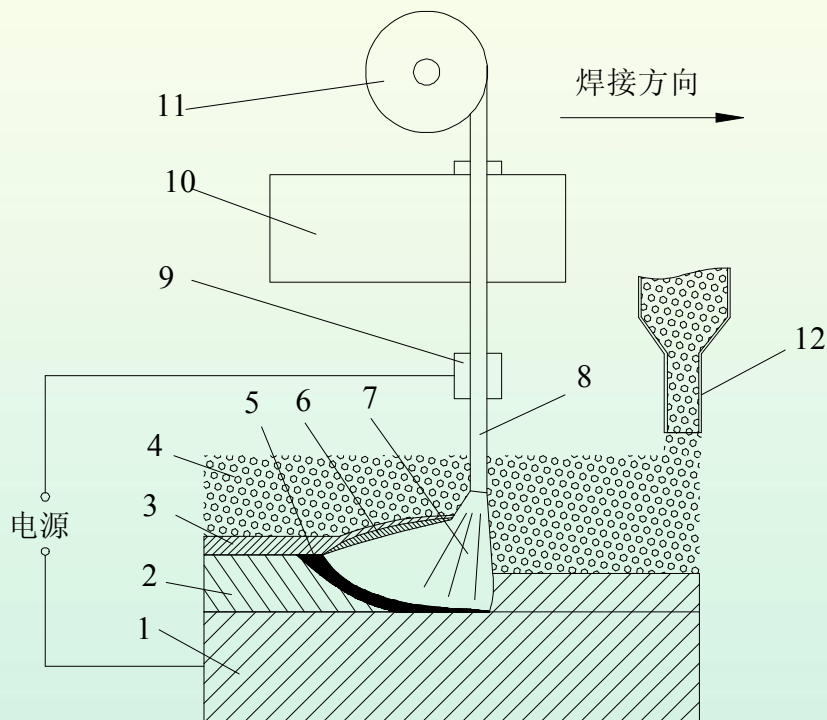
手工电弧焊的原理图

**应用范围和作用：**仍然是目前电弧焊中应用最普遍的方法，尤其适用于操作不便的场合和短小焊缝的焊接，如在修理工作中更为方便。

## 14.1.2 埋弧焊

### 一、埋弧焊的原理及特点

埋弧自动焊是用焊剂进行渣保护，焊丝为一电极在焊剂层下引燃电弧燃烧。

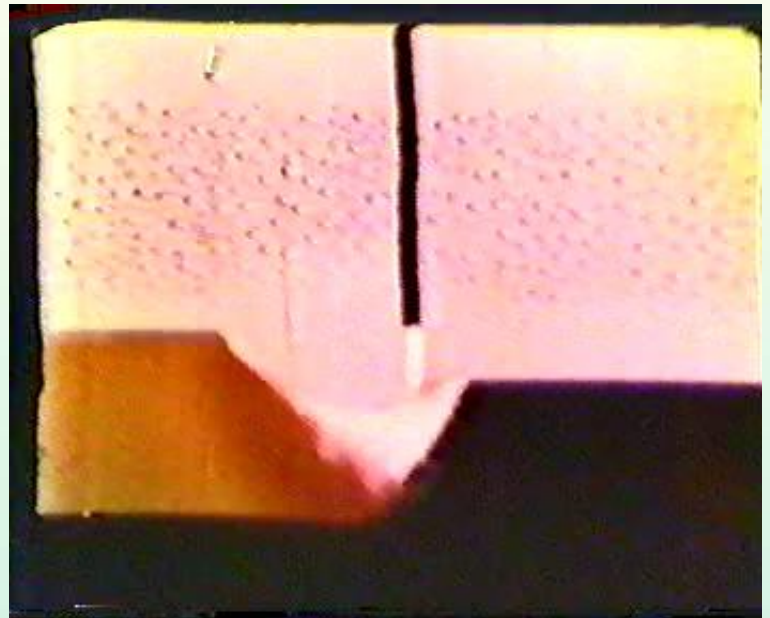
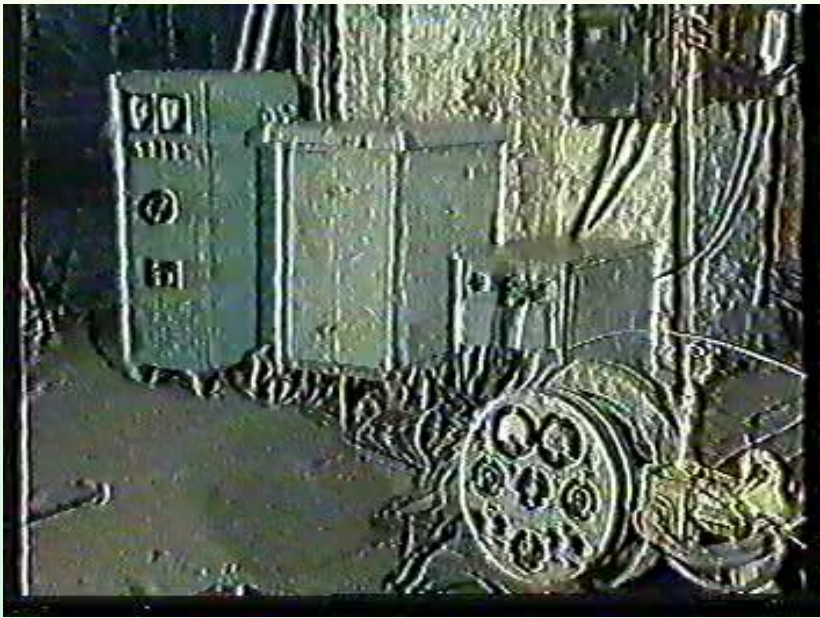


埋弧焊示意图

- 1-焊件 2-焊缝 3-渣壳 4-焊剂 5-熔池 6-熔渣 7-电弧  
8-焊丝 9-导电嘴 10-焊接机头 11-焊丝盘 12-焊剂漏头



因电弧在焊剂包围下燃烧，所以热效率高；焊丝为连续的盘状焊丝，可连续馈电；焊接无飞溅，可实现大电流高速焊接，生产率高；金属利用率高，焊接质量好，劳动条件好。



埋弧焊适于平直长焊缝和环焊缝的焊接。

## 二、埋弧自动焊工序

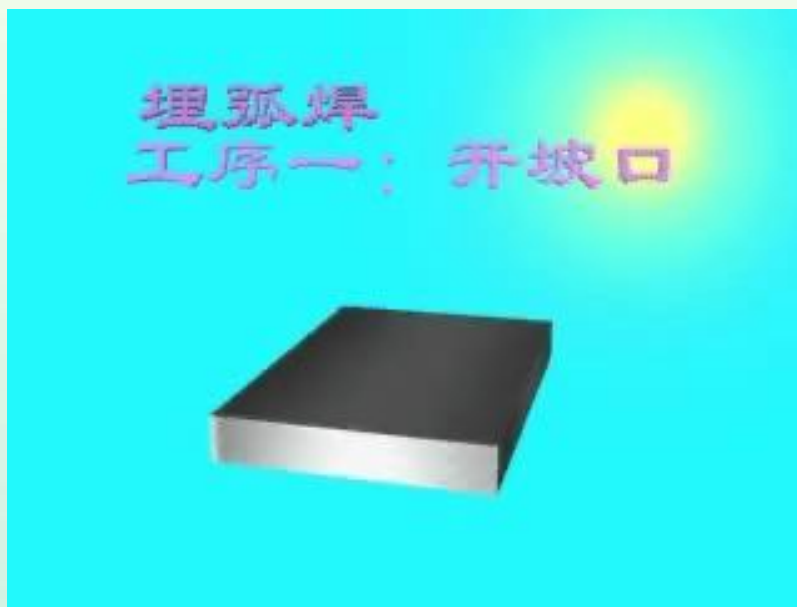
### 焊前准备

板厚小于14mm时，可不开坡口；

板厚为14~22mm时，应开Y型坡口；

板厚为22~50mm时，可开双Y型或U型坡口。

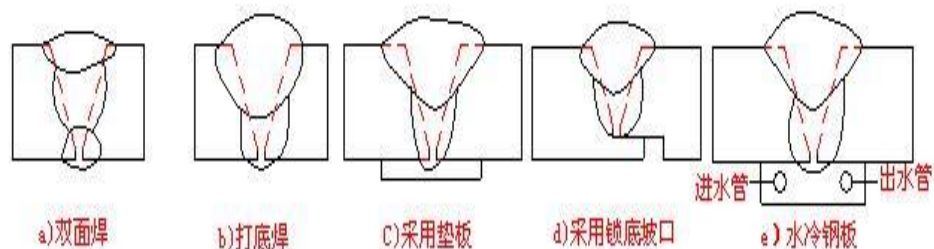
Y型和双Y型坡口的角度为 $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。



焊缝间隙应均匀，焊直缝时，应安装**引弧板**和**熄弧板**，以防止起弧和熄弧时产生的气孔、夹杂、缩孔、缩松等缺陷进入工件焊缝之中。

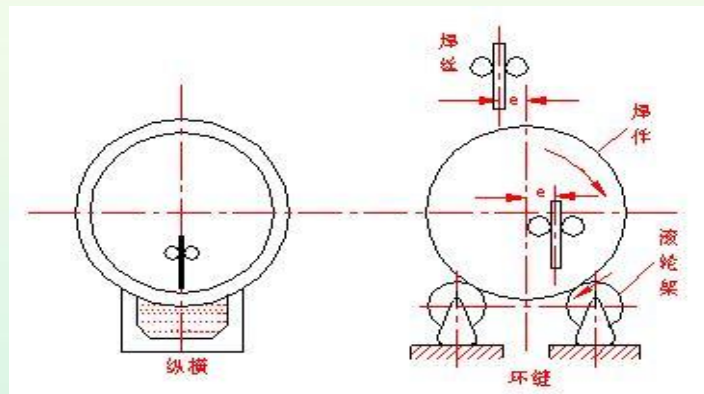
## 平板对接焊

一般采用双面焊，可不留间隙直接进行双面焊接，也可采用打底焊或焊剂垫或垫板。为提高生产率，也可采用水冷铜成型底板进行单面焊双面成型。



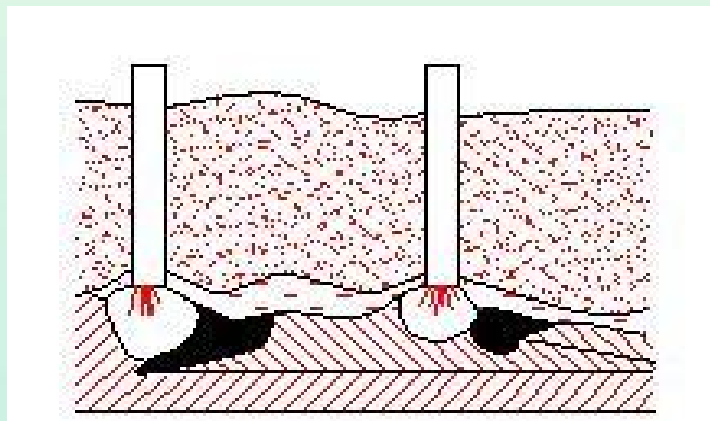
## 环焊缝

焊接环焊缝时，焊丝起弧点应与环的中心线偏离一距离  $e$ ，以防止熔池金属的流淌。一般偏离距离为 20~40mm，直径小于 250mm 的环缝一般不采用埋弧自动焊。



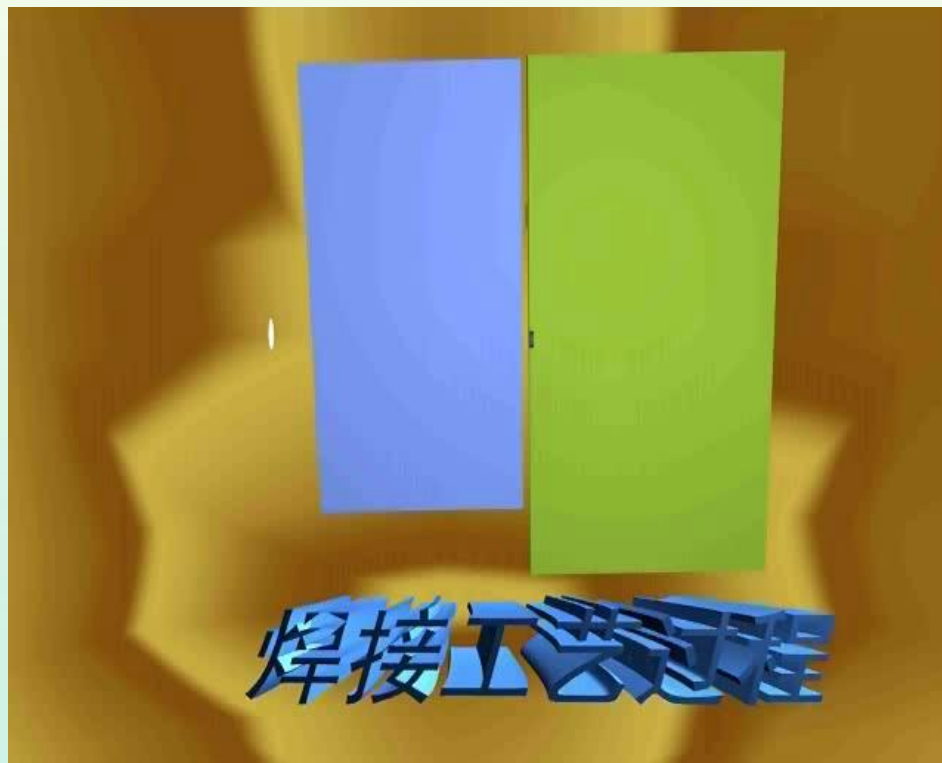
## 多丝埋弧焊

同时有两个以上焊丝起焊接，焊接速度快，焊缝成型好。前一电弧保证熔深，后续电弧调节熔宽，使熔池形状及焊缝成型较为合理。



## ✓ 埋弧焊的应用

埋弧焊主要用于压力容器的**环缝焊**和**直缝焊**，锅炉冷却壁的长直焊缝焊接，船舶和潜艇壳体的焊接，起重机械（行车）和冶金机械（高炉炉身）的焊接。



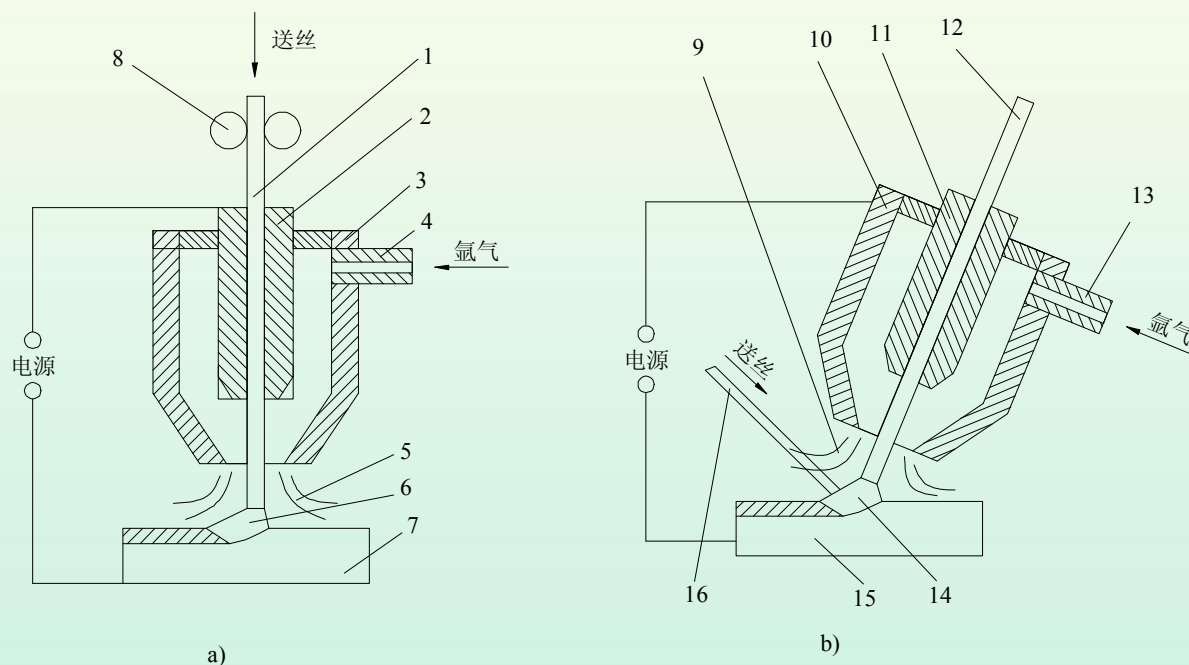


## 14.2 气体保护焊

### 14.2.1 氩弧焊

利用氩气保护电弧热源及焊缝区进行焊接。

氩弧焊按所用电极的不同，可分为钨极氩弧焊和熔化极氩弧焊两种。



氩弧焊示意图

a) 熔化极氩弧焊    b) 钨极氩弧焊

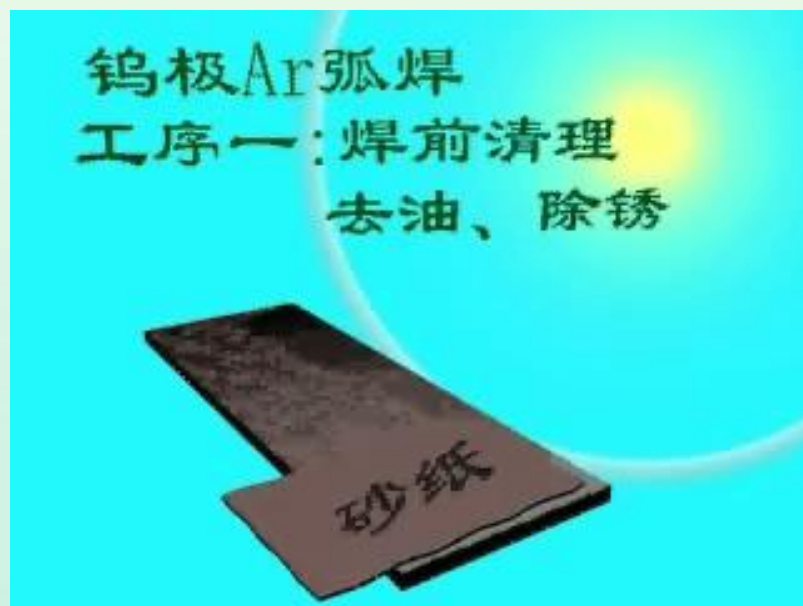
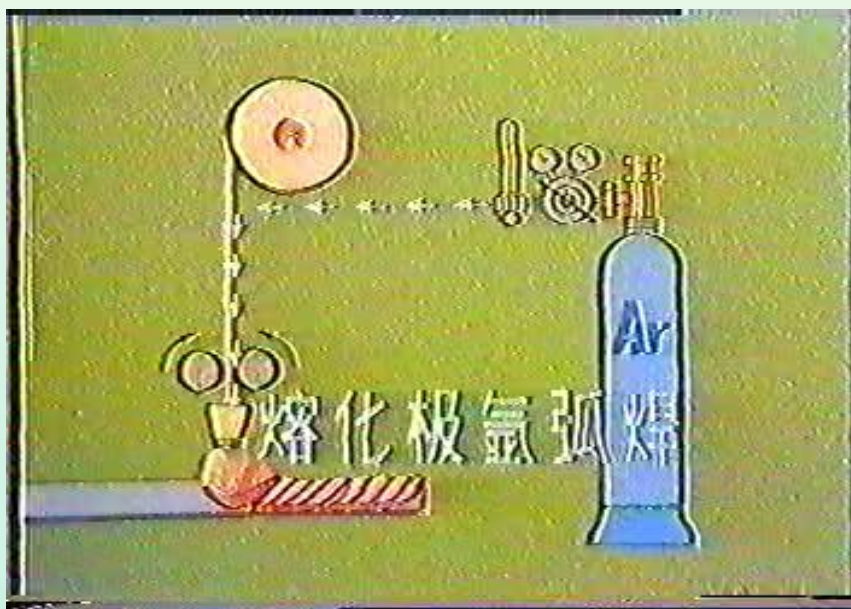
1, 16—焊丝    2, 11—导电嘴    3, 10—喷嘴    4, 13—进气管    5, 9—气流  
6, 14—电弧    7, 15—焊件    8—送丝轮    12—钨棒

## ✓ 钨极氩弧焊

以钨钍合金和钨钨合金为阴极，利用钨合金熔点高，发射电子能力强，阴极产热少，钨极寿命长的特点，形成**不熔化极氩弧焊**。

## ✓ 熔化极氩弧焊

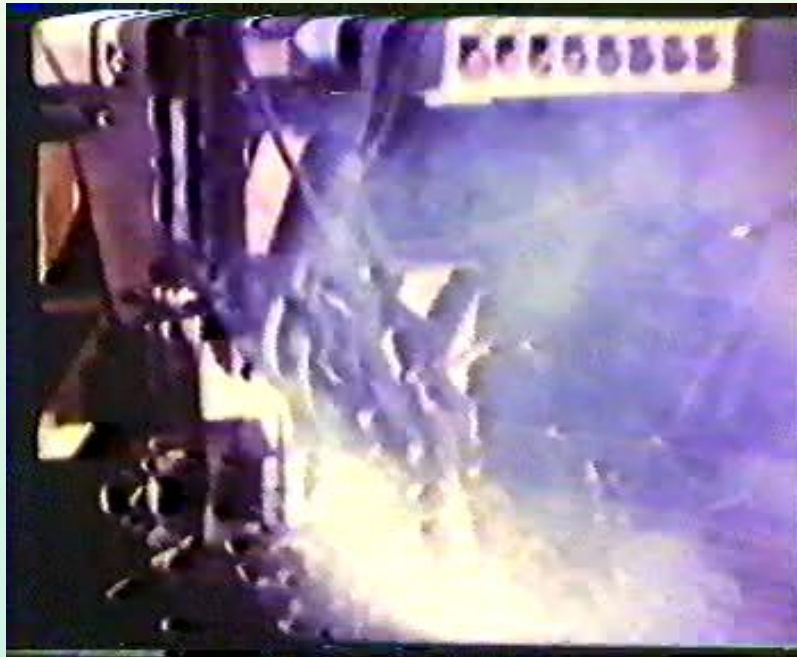
以焊丝为一电极（正极），工件为另一电极（负极），焊丝熔滴通常呈很细颗粒的“喷射过渡”进入熔池，所用电流比较大，生产率高。



## 氩弧焊的特点及应用

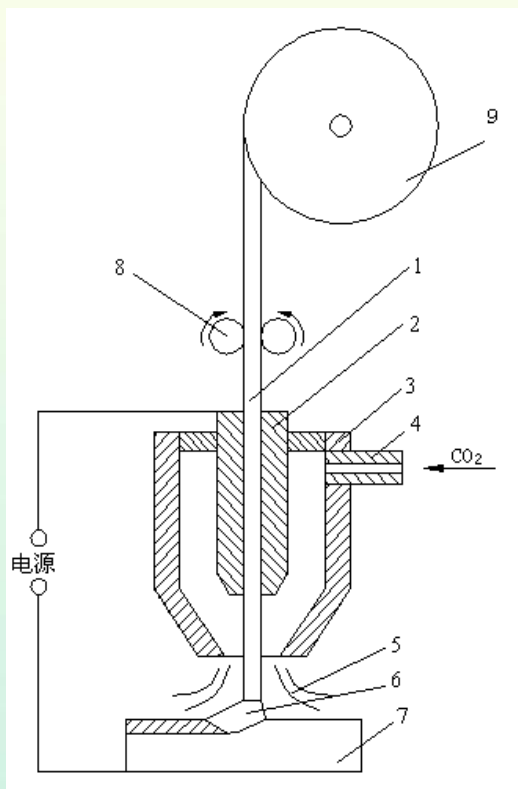
- ✓ 保护效果很好，焊缝金属纯净，焊接质量优良，焊缝成型美观。
- ✓ 电弧稳定，可实现单面焊双面成型。
- ✓ 可全位置自动焊接。
- ✓ 氩气贵，成本高。

氩弧焊主要用于易氧化的有色金属和合金钢的焊接。如铝、钛和不锈钢等。



## 14.2.2 二氧化碳焊

以 $\text{CO}_2$ 为保护气体，用焊丝作电极引燃电弧，靠焊丝和工件之间产生的电弧融化工件金属与焊丝形成熔池，凝固成为焊缝。



$\text{CO}_2$ 气体保护焊

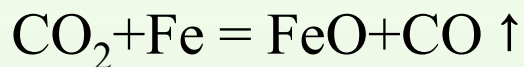
1-焊丝 2-导电嘴 3-喷嘴 4-进气管 5-气流

6-电弧 7-焊件 8-送丝轮 9-焊丝盘

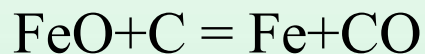


CO<sub>2</sub>气体密度大，高温体积膨胀大，保护效果好。但CO<sub>2</sub>在高温下易分解为CO和O，导致合金元素的氧化，熔池金属的飞溅和CO气孔。焊接用CO<sub>2</sub>纯度要大于99.8%。

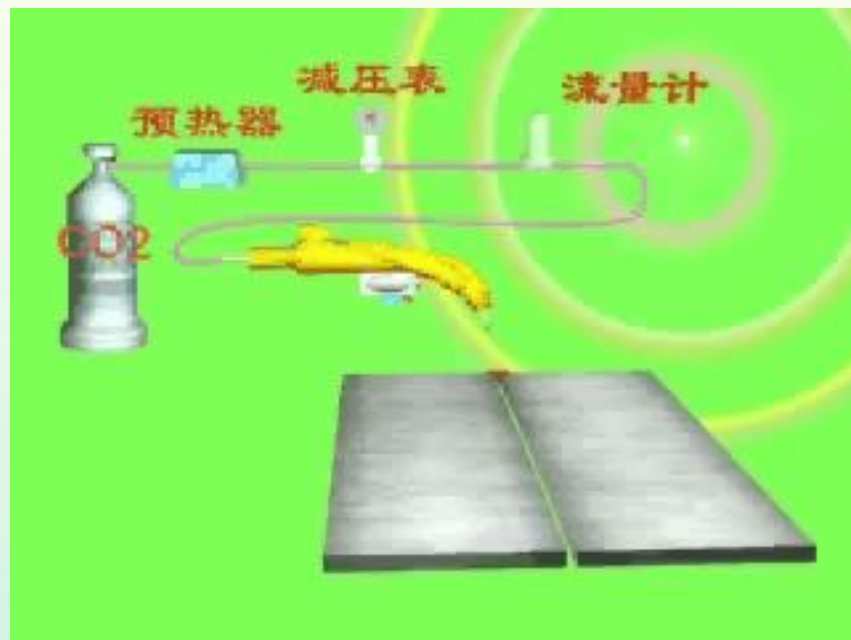
### CO<sub>2</sub>焊时的飞溅：



FeO进入熔池和熔滴，与熔池和熔滴中的碳反应：



生成的CO在熔池和熔滴内体积急剧膨胀而爆破，导致飞溅。



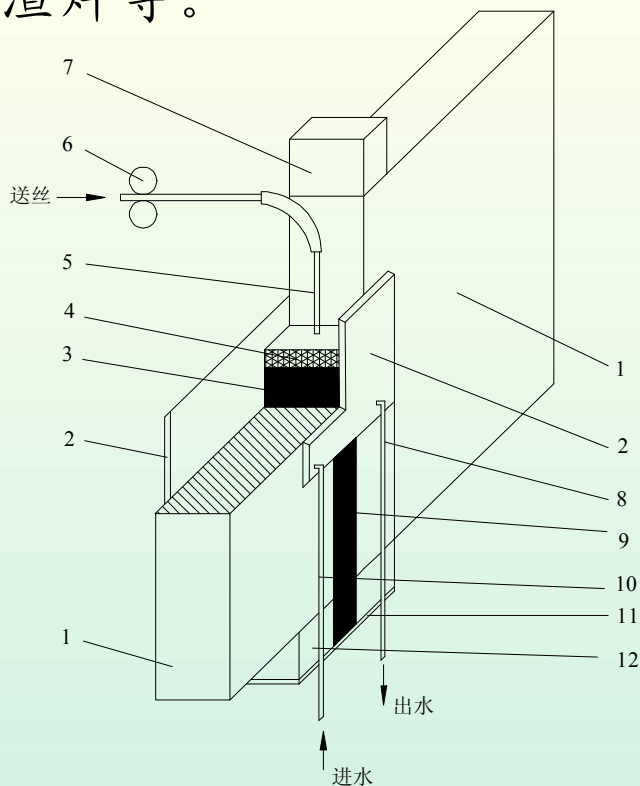


## ✓防止飞溅的措施:

- $\text{CO}_2$ 焊常用H08Mn2SiA焊丝来进行脱氧, 合金化。
- 为使电弧稳定, 飞溅少,  $\text{CO}_2$ 焊采用**直流反接**。
- 采用含硅、锰、钛、铝的焊丝, 防止铁的氧化。
- 采用药芯焊丝。
- $\text{CO}_2$ 焊成本低, 生产率高, 焊缝质量较好, 主要用于低碳钢和低合金结构钢薄板的焊接。

## 14.3 电渣焊

利用电流通过熔渣时产生的电阻热加热和熔化焊丝和母材来进行焊接的一种熔化焊方法。分为丝极、板极、熔嘴电渣焊等。



电渣焊示意图

- 1-焊件 2-滑块 3-熔池 4-渣池 5-焊丝 6-送丝轮  
7-引出板 8-冷却出水管 9-焊缝 10-冷却进水管  
11-引弧板 12-引入板



## ✓ 电渣焊的结晶特点

电渣焊的线能量大，加热和冷却速度低，高温停留时间长，所以电渣焊焊缝的一次结晶晶粒为粗大的树枝状组织，**热影响区也严重过热**。

在焊接低碳钢时焊缝和近缝区产生粗大的组织。为了改善焊接接头的力学性能，**焊后要进行（正火）热处理**。

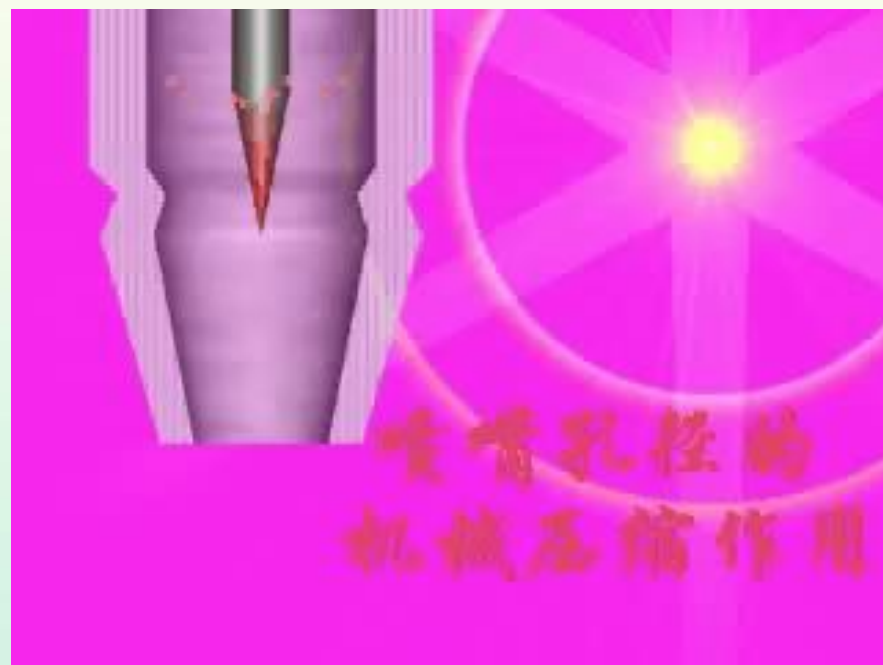
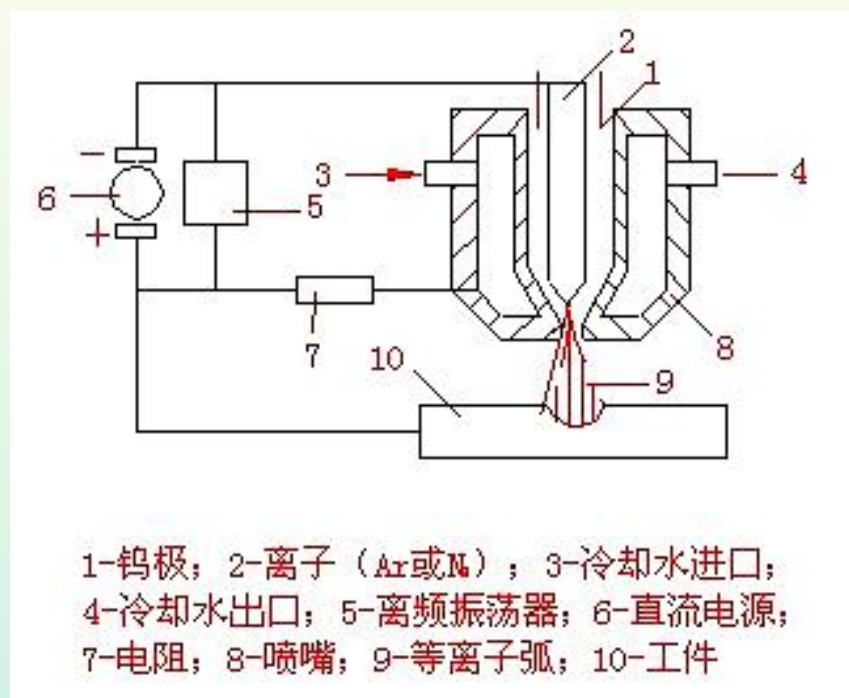
## ✓ 电渣焊工艺特点

- 电渣焊可一次焊接很厚的工件，故焊接生产率高、成本低。
- 电渣焊焊缝产生气孔，夹渣的倾向性较低。电渣焊时金属熔池的凝固速率低，熔池中的气体和杂质较易浮出。
- 电渣焊时，一般不需预热。用电渣焊焊接易淬火钢时，产生淬火裂纹的倾向小。
- 焊后冷却速度慢，焊接应力小。但热影响区宽，晶粒粗大，要进行焊后热处理。

电渣焊的不足之处：只适于厚板和立焊（或近似立焊），焊缝区和较宽的热影响区，晶粒粗大，焊后必须进行热处理。

## 14.4 等离子弧焊与切割

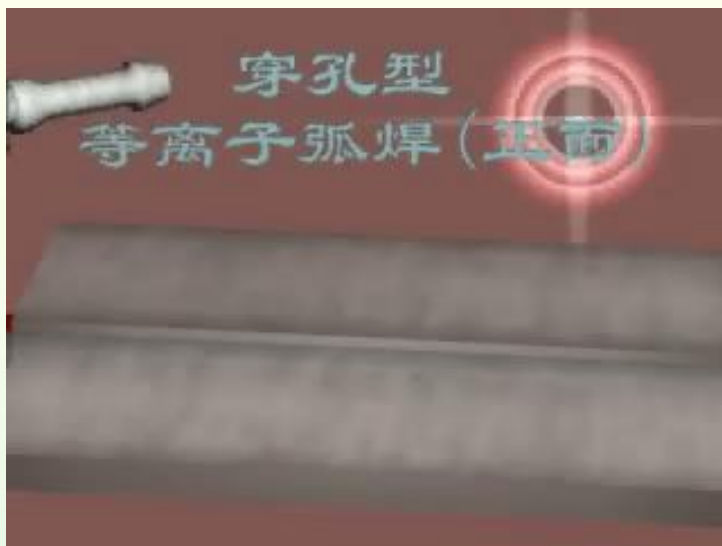
等离子弧是由普通电弧经压缩、集中而获得的温度更高、能量更集中的热源，因此又称压缩电弧，它可以将工件迅速加热到高温，其热能利用率高于普通电弧。



利用机械压缩效应、热压缩效应和电磁收缩效应将电弧压缩为细小的等离子体。

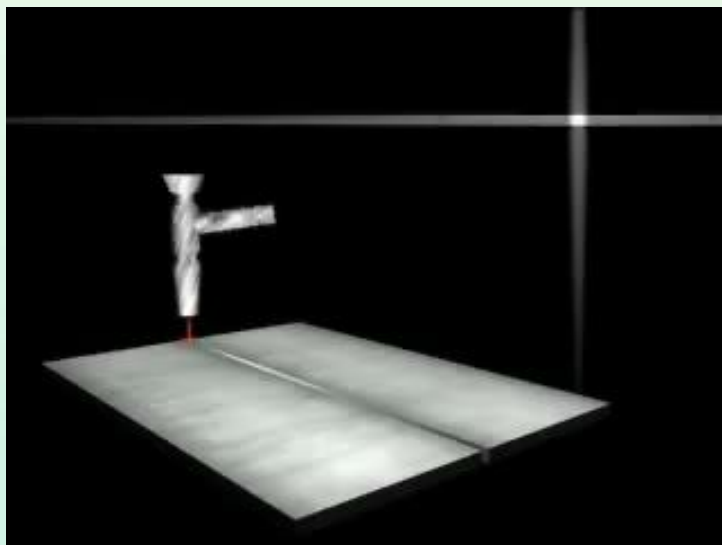


# 等离子弧焊接工艺



## 穿孔型等离子弧焊接

在大电流(100~300A)和大的离子气流量的工艺参数条件下,利用穿孔焊接可在不用衬垫的情况下实现单面焊双面成形。



## 熔入型等离子弧焊接

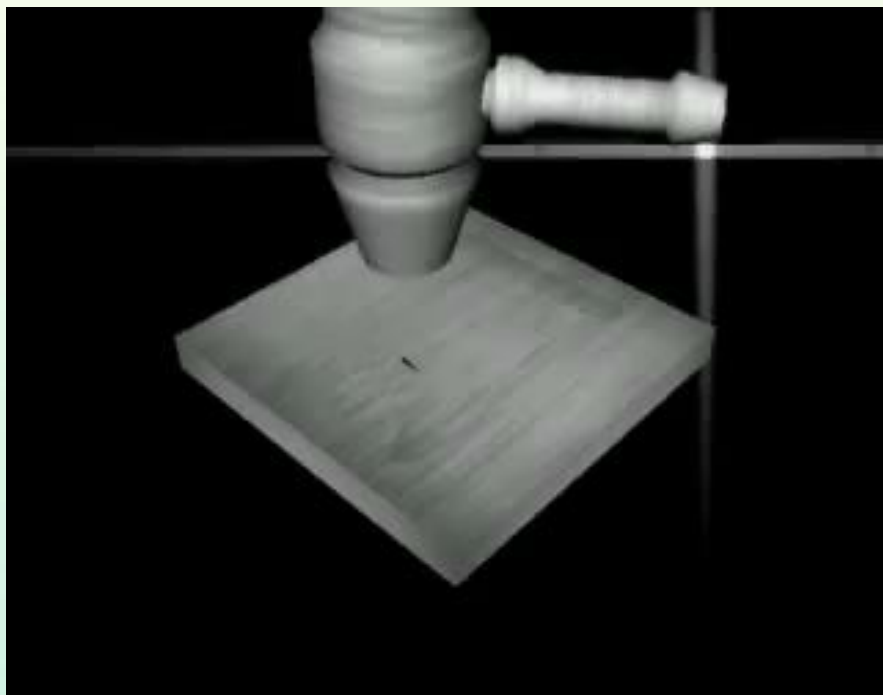
当等离子弧的离子气流量较小时,穿孔效应消失,称为熔入型等离子弧焊。

熔入型等离子弧焊适用薄板,多层焊缝的盖面及角焊缝的焊接,填加或不加填充焊丝,优点是焊速较快。



## 等离子弧切割

等离子弧切割通常采用氮和压缩空气作离子气，将切口金属熔化并吹除。切割速度提高，切口质量也很好。等离子弧切割低碳钢的厚度为0.6~80mm。



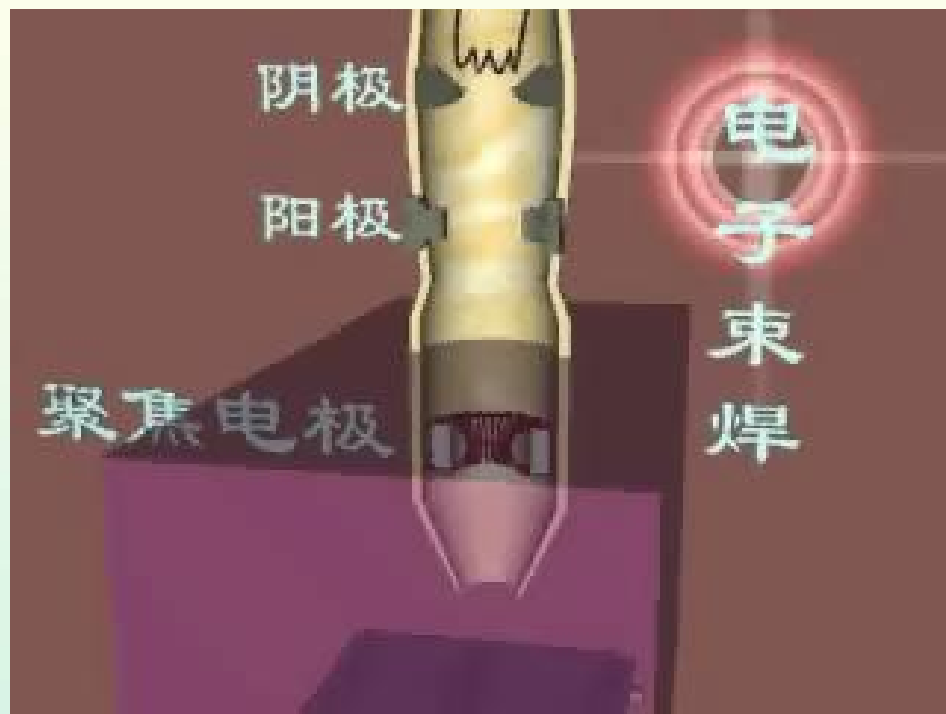
## ✓ 等离子弧焊的特点及应用

- 等离子弧能量密度大，弧柱温度高，穿透能力强。10~12mm厚钢材可不开坡口，一次焊透双面成型，焊接速度快，生产率高，应力变形小。
- 电流小到0.1A时，电弧仍能稳定燃烧，能保持良好的挺直度与方向性，所以可焊接很薄的箔材。
- 等离子弧焊接在国防工业及尖端技术所用的铜合金、合金钢、钨、钼、钴、钛等金属的焊接。如钛合金导弹壳体、波纹管及膜盒、微型继电器、电容器的外壳封焊以及飞机上一些薄壁容器均可用等离子弧焊接。
- 但等离子弧焊接设备比较复杂，气体耗量大，只宜于室内焊接。

# 电子束焊

## ✓ 电子束焊接过程

- 电子束焊是利用高速运动的电子撞击工件时，将动能转化为热能将焊缝熔化进行的熔化焊方法。
- 电子束焊一般不加填充金属，如要求焊缝有突出表面的堆高可在接缝预加垫片。对接缝间隙为0.1倍的板厚，一般不能超过0.2mm。



## ✓ 电子束焊的特点及应用

- 保护效果好，焊缝质量高，适用范围广。
- 能量密度大，穿透能力强，可焊接厚大截面工件和难熔金属。
- 加热小，焊接变形小。
- 电子束焊成本高，主要用于微电子器件焊装、导弹外壳的焊接、核电站锅炉汽包和精度要求高的齿轮等的焊接。

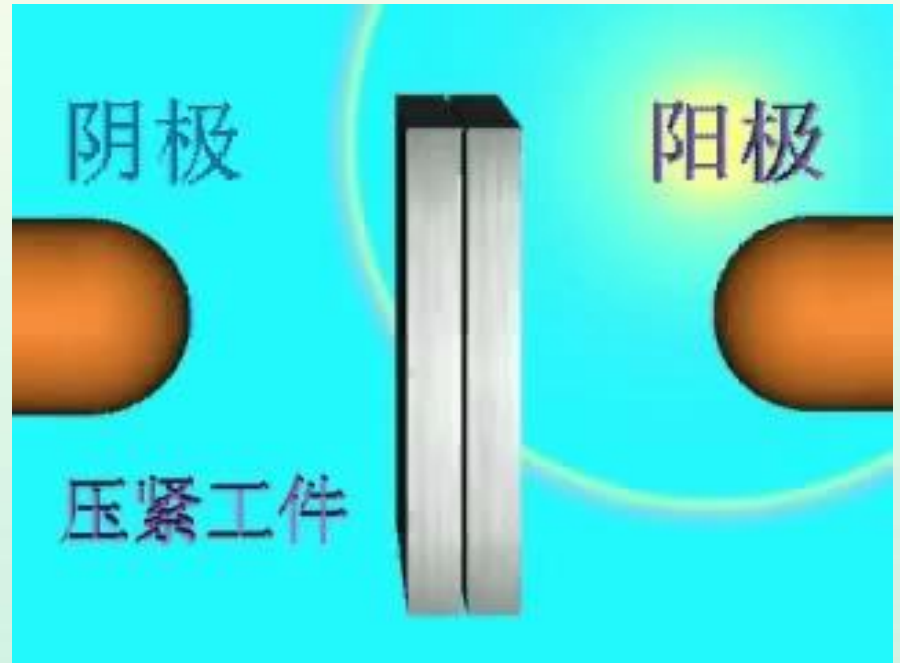
## 14.5 压力焊

**压力焊**是指通过加热等手段使金属达到塑性状态，加压使其产生塑性变形、再结晶和扩散等作用，使两个分离表面的原子接近到晶格距离（ $0.3 \sim 0.5\text{nm}$ ），形成金属键，从而获得不可拆卸接头的一类焊接方法。

**热源形式为：**电阻热、高频热、摩擦热等。

**力的形式为：**静压力、冲击力（锻压力）和爆炸力等。

**压力焊为：**冷压焊、扩散焊和热压焊





## 14.5.1 电阻焊

电阻焊是将焊件组装后通过电极施加压力，利用电流通过接头的接触面及邻近区域所产生的电阻热，把工件加热到塑性或局部融化状态，在压力作用下形成接头的焊接方法。

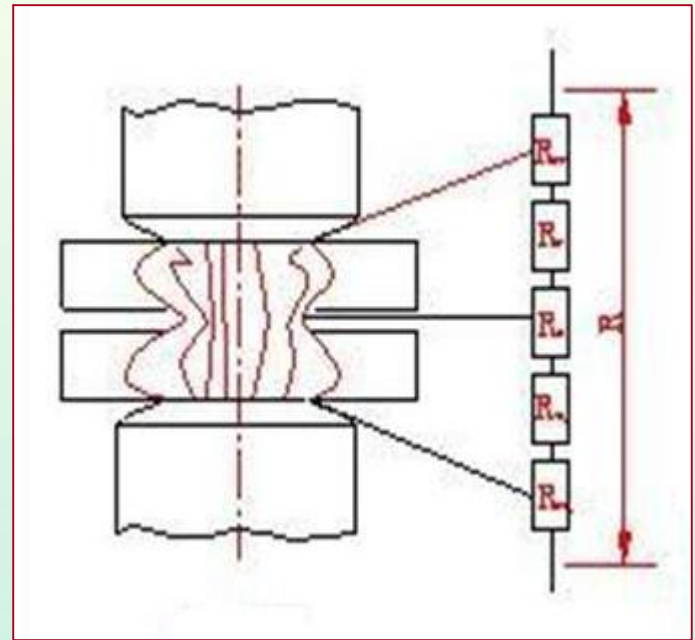
### (1) 热源

电阻热： $Q=I^2Rt$ ，其中电流和时间是外因，而电阻是内因。

焊接区的总电阻为：

$$R=R_c+2R_{ew}+2R_w$$

其中 $R_c$ 为焊件接触电阻， $R_{ew}$ 为电极与焊件间的接触电阻， $R_w$ 为焊件电阻。

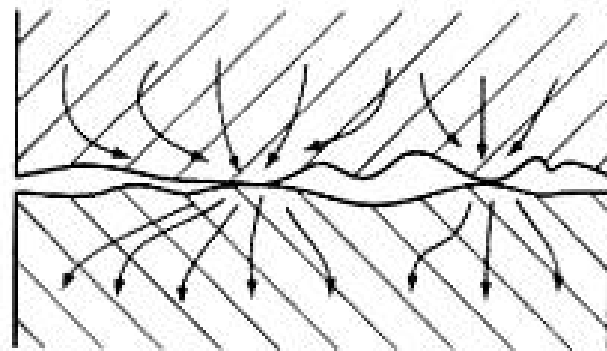


## 影响接触电阻的因素:

**工件表面状态** 表面愈粗糙、氧化愈严重、接触电阻愈大。

**电极压力** 压力愈高、接触电阻愈小。

**焊前预热** 焊前预热将会使接触电阻大大下降。



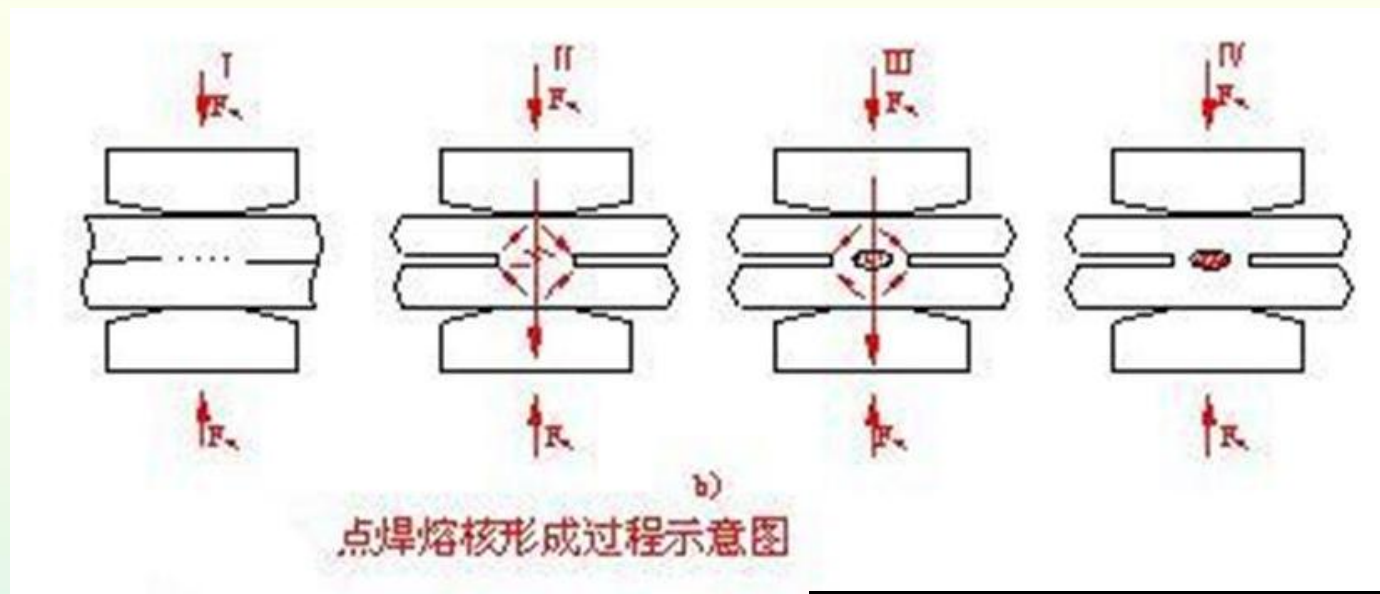
电流流过接触面微观示意图

## (2) 力

静压力用来调整电阻大小，改善加热。产生塑性变形或在压力下结晶。

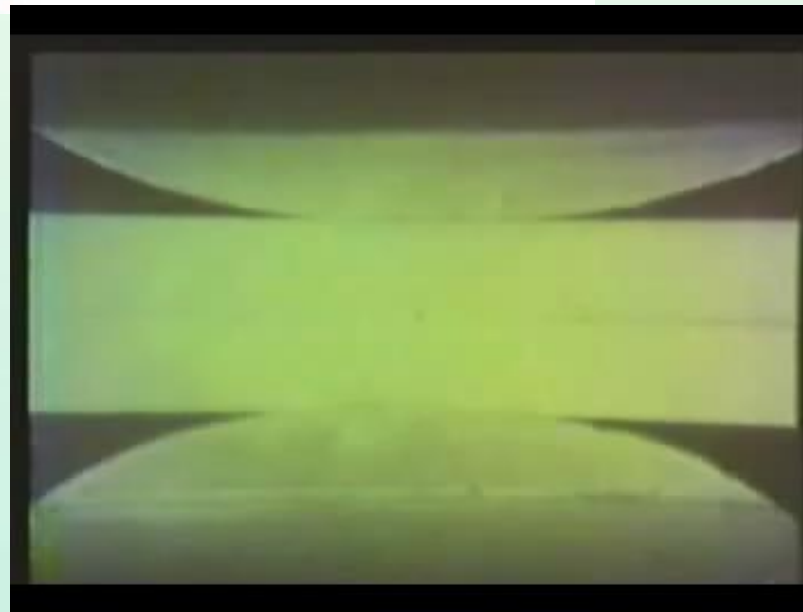
冲击力（锻压力）用来细化晶粒，焊合缺陷等。

## 电阻点焊熔核形成过程



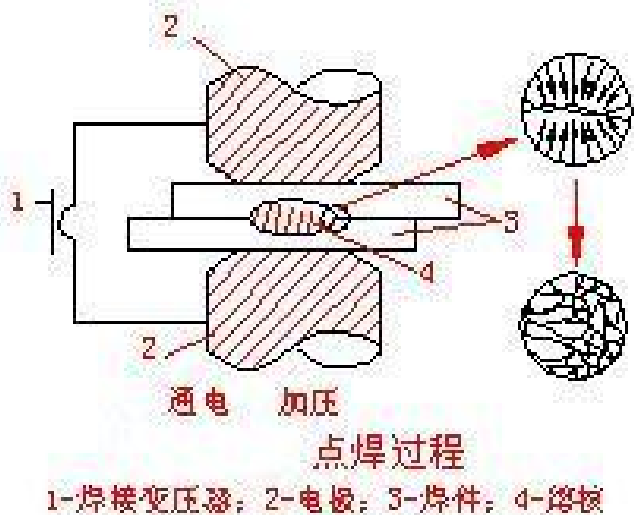
### (3) 电阻焊过程

预压、通电加热、在压力下冷却结晶或塑性变形和再结晶。



## 一、电阻点焊

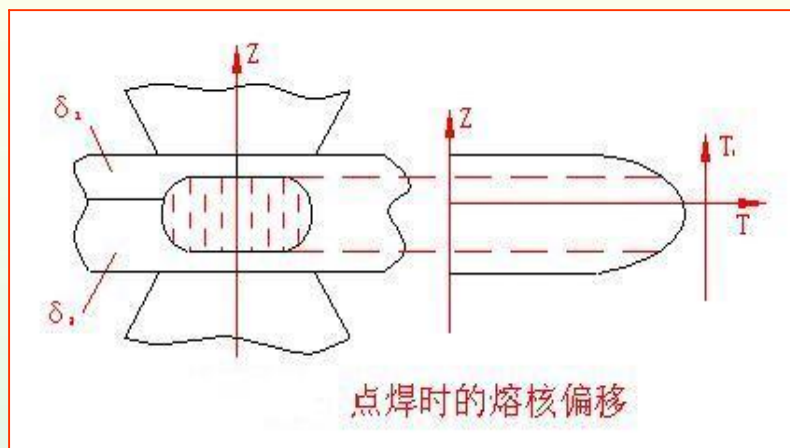
点焊是将工件装配成搭接接头，并紧压在两柱状电极之间，利用电阻热熔化母材金属，形成一个焊点的电阻焊方法。



点焊主要用于汽车、飞机等薄板结构的大批量生产。

## 点焊时的熔核偏移

在焊接不同厚度或不同材料时，因薄板或导热性好的材料，吸热少，而散热快，导致熔核偏向厚板或导热差的材料的现象称为**熔核偏移**。



## 点焊工艺参数

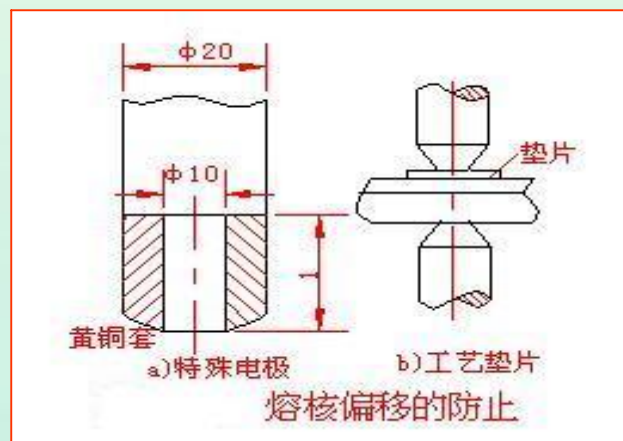
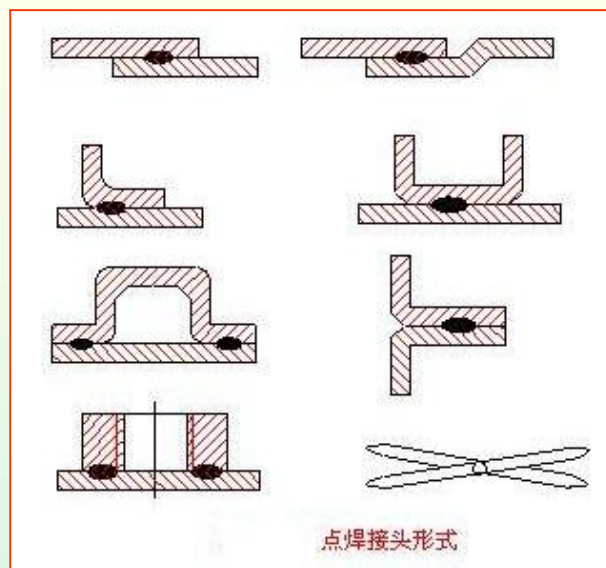
点焊的工艺参数为**电流、压力和时间**。

大电流，短时间称为**强规范**。

小电流，长时间称为**弱规范**。

## 防止熔核偏移的措施

采用**特殊电极**和**工艺垫片**的措施。



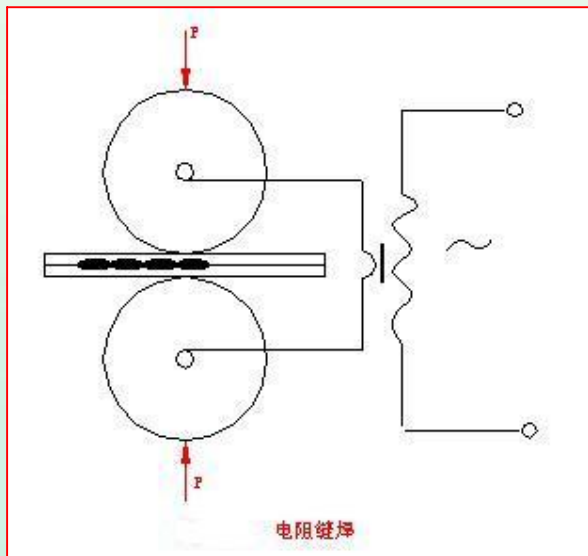


## 二、电阻缝焊

缝焊是连续的点焊过程，它是用连续转动的盘状电极代替了柱状电极，焊后获得相互重叠的连续焊缝。

缝焊分流严重，通常采用强规范焊接，焊接电流比点焊大1.5~2倍。

缝焊主要用于低压容器，如汽车、摩托车的油箱、气体静化器等的焊接。

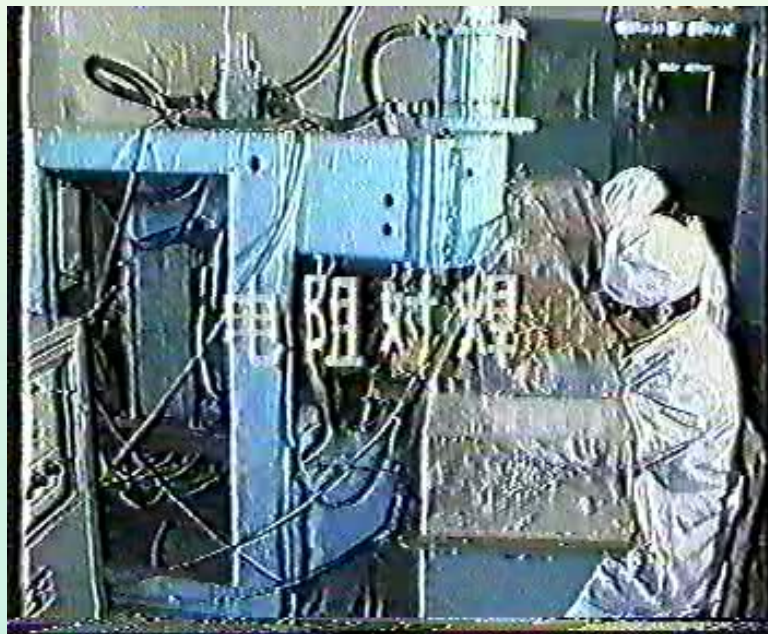
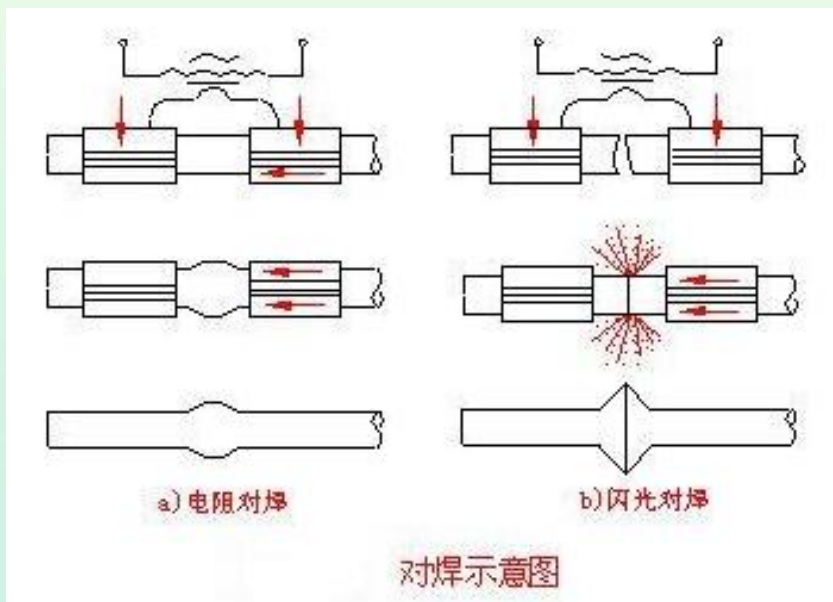


## 三. 对焊

对焊即对接电阻焊，是利用电阻热使两个工件在整个接触面上焊接起来的一种方法。

### (1) 电阻对焊

先将工件夹紧并加压，然后通电使接触面温度达到塑性温度 ( $950 \sim 1000^{\circ}\text{C}$ )。在压力下塑变和再结晶形成固态焊接接头。电阻对焊要求对接处焊前严格清理，所焊截面积较小，**一般用于钢筋的对接焊。**

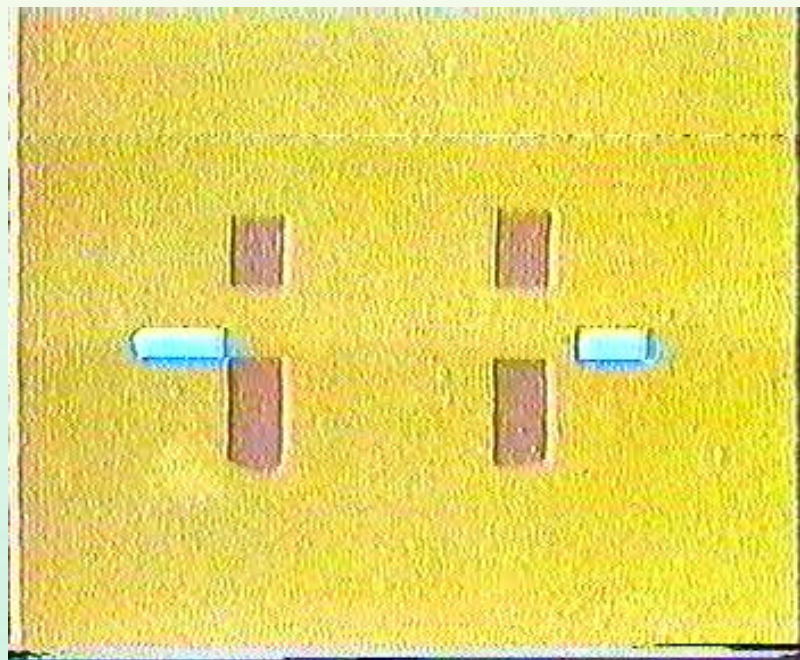




## (2) 闪光对焊

将两工件夹在电极钳口内成对接接头，接通电源并使两工件轻微接触。

因工件表面不平，首先只是某些点接触，强电流通过时，这些接触点的金属即被迅速加热融化，甚至蒸发，在蒸汽压力和电磁力作用下，液态金属发生爆炸，以火花形式从接触处飞出而形成“闪光”。

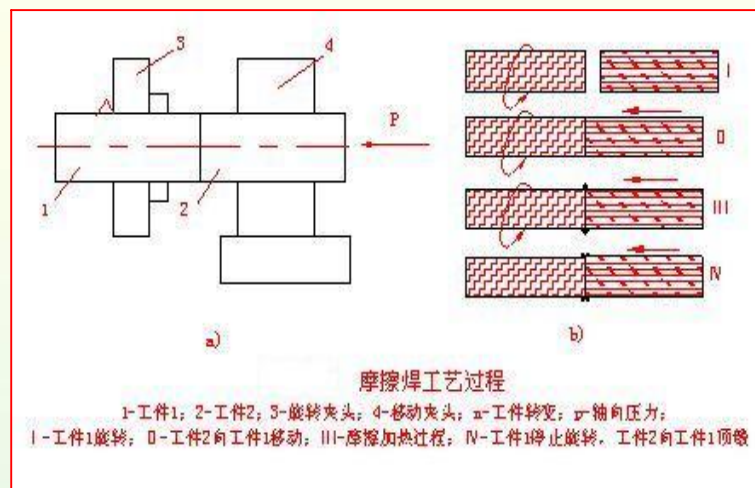


闪光对焊主要用于钢轨、锚链、管子等的焊接，也可用于异种金属的焊接。因接头中无过热区和铸态组织，所以性能高。

## 14.5.2 摩擦焊

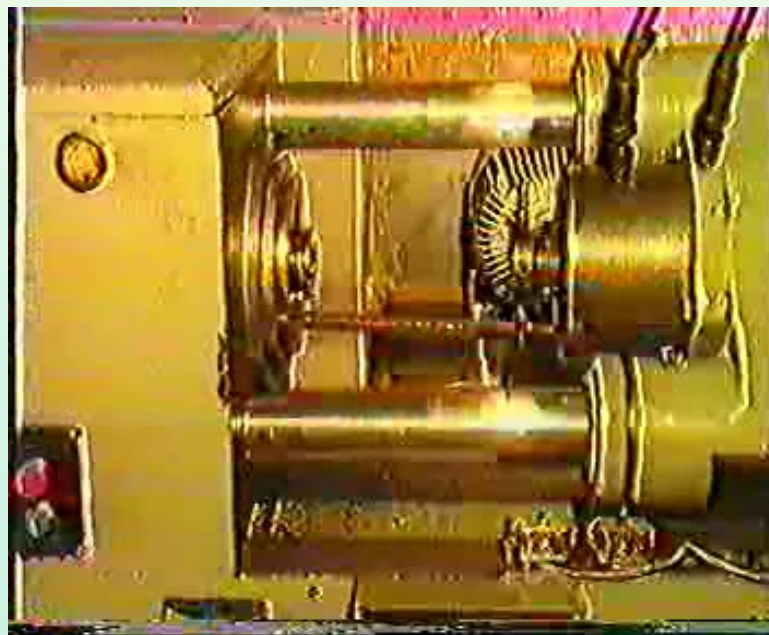
### 1. 摩擦焊的工艺流程原理

摩擦焊是利用焊件接触面相对旋转运动中相互摩擦所产生的热，使端部达到塑性状态，然后迅速顶锻，完成焊接的一种压焊方法。



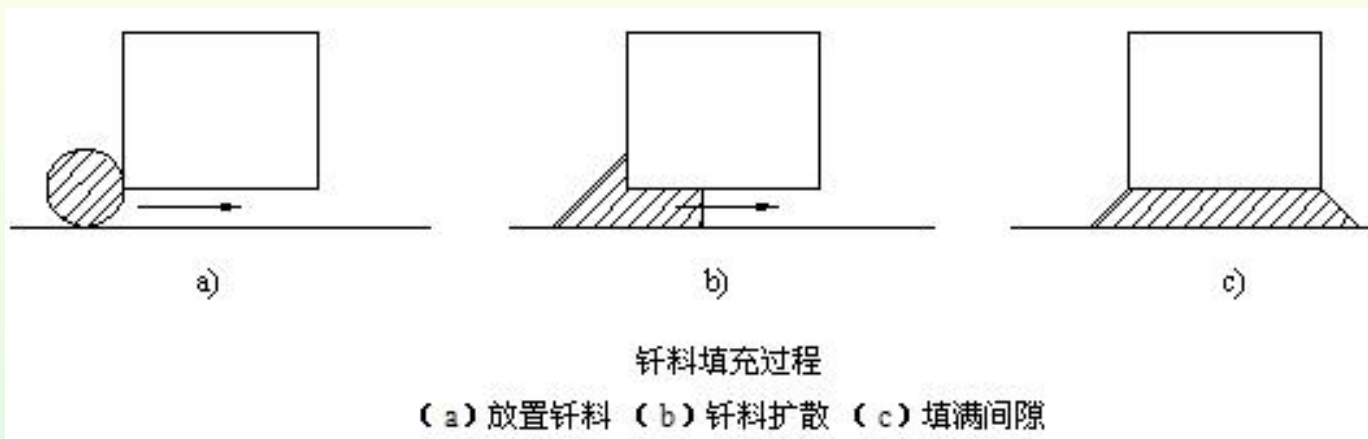
### 2. 摩擦焊具有以下优点:

- 接头的焊接质量好、稳定，其废品率是闪光对焊的1%左右。
- 适于焊接异种钢和异种金属，如碳素结构钢-高速钢、铜-不锈钢、铝-铜、铝-钢等。



## 14.6 钎焊

钎焊与其他焊接方法的根本区别是焊接过程中工件不发生熔化，而依靠熔点低于工件的钎料熔化、填充来完成连接。





通常按照钎料的熔点不同，将钎焊分为软钎焊和硬钎焊。

## 一、软钎焊

钎料的熔点低于 $450^{\circ}\text{C}$ 的钎焊为软钎焊。软钎焊的接头强度低，只适用于受力很小且工作温度低的工件，如电器产品、电子导线、导电接头、低温热交换器等。



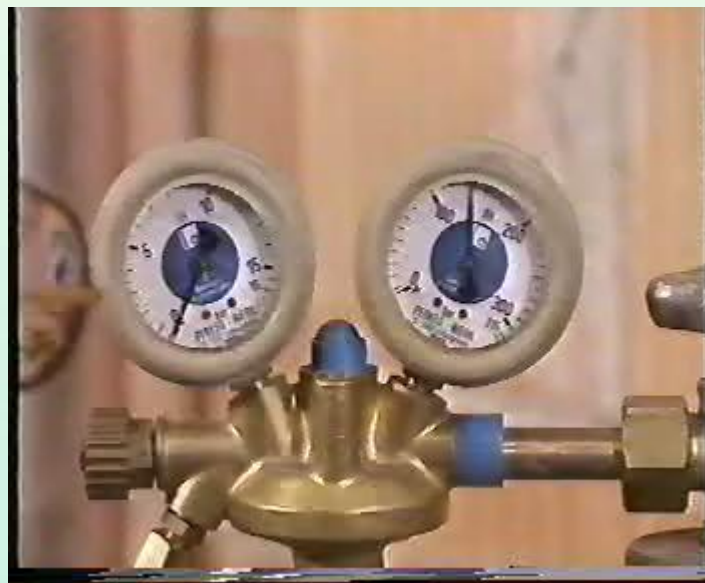
软钎焊常用钎料为锡铅钎料，最常用的加热方法为烙铁加热。

## 二、硬钎焊

钎料熔点在 $450^{\circ}\text{C}$ 以上的钎焊为硬钎焊。硬钎焊的接头强度较高，工作温度也较高，可用于受力部件的连接，如天线、雷达、自行车架等。

硬钎焊常用钎料为银基钎料、铜基钎料、铝基钎料和镍基钎料。

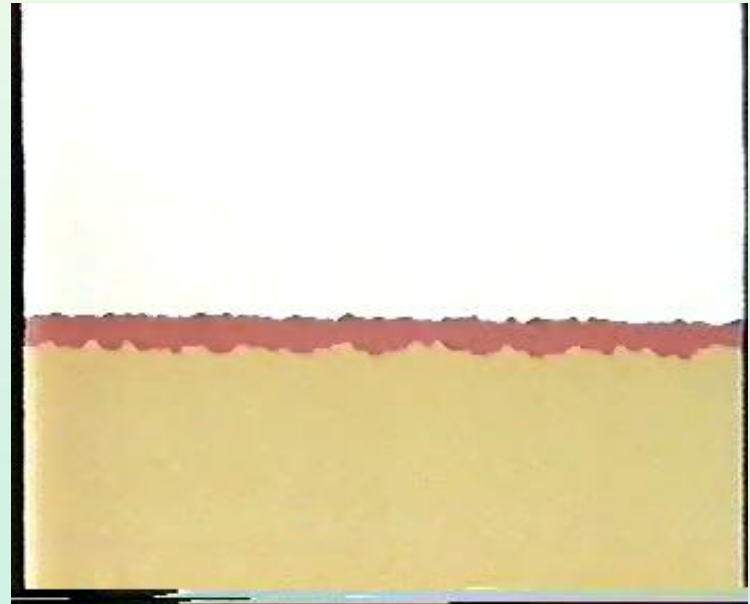
常用的加热方法为火焰加热、炉内加热、盐浴加热、高频加热和电阻加热。



钎焊过程中，一般都需要使用**钎剂**。钎剂的作用是：清除被焊金属表面的氧化膜及其它杂质，改善钎料流入间隙的性能（即润湿性），保护钎料及焊件不被氧化，因此钎剂对钎焊质量影响很大。

**软钎焊时**，常用的钎剂为松香或氯化锌溶液。

**硬钎焊时**，钎剂种类较多，主要由硼砂、硼酸、氟化物、氯化物等组成。



① 钎焊过程中，工件加热温度较低，因此组织和力学性能变化很小，变形也小。接头光滑平整，工件尺寸精确。

② 钎焊可以焊接性能差异很大的异种金属，对工件厚度差也没有严格限制。

③ 对工件整体加热钎焊时，可同时钎焊由多条（甚至上千条）接缝组成的复杂形状构件，生产率很高。

④ 钎焊设备简单，生产投资费用少。

钎焊不适用于一般钢结构和重载动载机件的焊接。

钎焊主要用于制造精密仪表、电气零部件、异种金属构件以及某些复杂薄板结构，如夹层构件和汽车水箱散热器等，也常用于钎焊各类导线与硬质合金刀具。



硬钎焊实例



## 思考题

- \*  $\text{CO}_2$  气体保护效果怎样？为什么  $\text{CO}_2$  气体保护可除氢，而易产生飞溅？
- \* 指出低碳钢和合金钢（退火态）的热影响区的组织有何异同，怎样防止合金钢的焊接裂纹？
- \* 试述热裂纹及冷裂纹的特征，形成原因及防止措施。