

# 焊 接 工 艺 学

## 第一章 焊 接 电 弧

### § 1 焊接电弧的引燃过程

#### 一、焊接电弧及其形成的基本知识

##### 1. 焊接电弧的概念

在两个电极之间的气体介质中产生的长时间、且有力的放电现象。

2. 气体的电离 中性的气体分子或原子释放电子形成粒子的过程称为“气体电离”。

要使电子从原子中释放出来，就需要克服原子核对它的引力，因而需要供给一定的能量。

供给气体电离的能量有：

电离电位—消耗于使电子与原子核分离的能，称为“电离功”；以“伏特”为单位来表示的电离功叫做“电离电位”或电离势。

激励电位—是平衡电子加速离开平衡位置，与原子核分离的能量称为“激励电位”以“伏特”为单位。

表 2-1 某些元素的电离电位和激励电位

电 位 (电子伏特)*	元 素													
	钾	钠	钡	钙	钛	锰	铁	氢	氧	氮	氯	氟	氖	氩
电 离	4.33	5.11	5.19	6.10	6.80	7.40	7.83	13.5	13.6	14.5	15.7	16.9	21.5	24.5
激 励	1.60	2.10	1.56	1.90	3.30	3.10	4.79	10.2	7.90	6.30	11.6	14.5	16.6	19.7

\* 在原子物理学中，常用电子伏特作为能量单位，1 电子伏特的能量就是一个电子在通过电势差等于 1 伏特的一段路程上所需要或得到的能量(1 电子伏特= $1.6 \times 10^{-19}$  尔格)。

焊接时，能引起气体电离的主要方式有：

(1) 碰撞电离 碰撞电离实质上就是带电质点与中性原子相互碰撞而发生电离的过程。

由于电子质量较小，因此在电场的作用下，运动速度比离子大的多，当这些电子和中性粒子碰撞时，将产生碰撞电离。

一般有阴极发出的电子为一次自由电子，一次自由电子在电场力的作用下，迅速向阳极运动，当和中性粒子碰撞时，将能量传递给中性粒子，将其中的电子激发出来，使其成为正离子，而由中性粒子中发射出来的电子称为“二次自由电子”。这些二次电子仍在电场作用下继续向阳极运动，继续和其他中性粒子发生碰撞，继续电离。形成“雪崩效应”。则使电弧稳定燃烧。

当电弧的长度不变时，两极间的电压越高，则由于电场引力的吸引，带电子粒子的运动速度就越大，则产生碰撞电离的作用就越强烈，电弧越以引燃，燃烧越稳定。

(2) 热电离 对物体加热相当于给物体增加内能，由于内能的提高，原子中的电子加速运动，当电子的内能达到一定程度时，离心力大于原子核的引力，脱离原子束缚，变为自由电子，而中心粒子变为离子。这个过程称为“热电离”。

由于温度越高，则原子获得的内能越大，带电粒子运动的速率越大，越易产生热电离，因此，电弧越易产生，且越稳定。故温度越高，热电离越强烈。

##### 3. 阴极电子发射

阴极的金属表面连续地向外发射电子的现象，称为“阴极电子发射”。阴极电子发射和气体电离一样，都是电弧引出和稳定燃烧的重要条件。缺一不可。

要使电子产生发射必须使电子逸出金属表面，然而，一般电子是不会自由逸出的。要使电子逸出金属表面产生发射，必须给电子增加能量，使它克服电极金属内部正电荷对它的静电引力，电子从阴极金属表面逸出所需要的能量，称为“逸出功”。施加的能量越大，则促使阴极产生阴极发射作用越强烈。

电子逸出功的大小与阴极的成分有关。若施加的能量相同，则逸出功越小的金属其阴极电

子发射程度越大，如电极中或电极表面含有稀土金属、碱金属或碱土金属元素的物质时，都能阴极的电子发射作用。某些元素的电子逸出功如下表：

几种常见元素的电子逸出功

元素名称	电子逸出功（电子伏特）	元素名称	电子逸出功（电子伏特）
钾	2.26	锰	3.76
钠	2.33	铁	4.18
钙	2.90	碳	4.34
钛	3.92	镁	3.74
铝	4.25	钨	5.36

产生电子发射的方法有以下几种：

（1）热电子发射 热电子发射就是电极（阴极）由于高温的作用而使电子逸出电极表面的一种过程。

电极加热温度越高，则从其表面逸出电子数目也就越多，从而促使碰撞电离也越剧烈，因此也越有利于电弧的稳定燃烧。

（2）场致电子发射 场致电子发射就是由于电场强度增大而产生的电子发射。

场致电子发射既决定于电极材料，还决定于电场强度。也就是说，材料的电子逸出功越低、电场强度越高，则场致电子发射越容易。发射也越强烈。

（3）撞击电子发射 撞击电子发射就是，当运动速度较高，且能量较大的阳离子撞击阴极表面时，将能量传递给阴极而产生电子发射的现象。

实际上，在焊接时几种发射可能同时起作用，也可能两种以上的发射起作用。

如：引弧时，热电子发射和场致电子发射起主要作用。电弧稳定燃烧时，若用高熔点电极材料做电极，则热电子发射作用显著，而用低熔点材料做电极时，则撞击电子发射和场致电子发射产生主要影响，用钢做电极时，则和三种发射都有关系。

## 二、焊接电弧的引燃过程

电弧引燃：将造成两电极之间的气体介质，发生电离及产生阴极电子发射，而引起电弧燃烧的过程称为“电弧的引燃”。

电弧的引燃方法大致分为两大类：

（1）脉冲高压引弧：

将两电极互相靠近至 1~2mm 的间隙，然后施以脉冲高压（大于 1000v），在强电场的作用下引起场致电子发射，造成空气中气体放电而形成电弧。

由于脉冲电压很高，较危险故常在自动焊中引用，而手弧焊应用较少。（如：氩等离子弧自动切割、TIG 焊等。）

（2）接触引弧：

将两电极先接触，然后迅速提起 3~4mm，距离来引燃电弧（点击法、擦滑法）。

接触法引燃电弧的机理：

1 短路电流突然增大，引起接触面温度突然增高，致使接触部分金属突然气化。

$$(Q = 0.24 I^2 R t)$$

2 在热与电场的作用下，使高温气体引起碰撞电离、热电离等复杂过程。使两电极之间的气体介质中，充满了带电指点，电子、阳离子及少量的阴离子，因此就具备了电弧燃烧的条件。

3 磁、电能转换，使两极间的电压迅速恢复，达到引燃电弧的要求（18~24v）。

在电压恢复的瞬间，由于两极间电场强度很大，于是场致电子发射作用立即产生，而热电子发射、撞击电子发射也随之产生。这样，阴极不断发射电子，两极之间气体微粒连续发生电离和中和的过程，并在电场作用下，带电质点各自定向运动，电弧便燃烧起来了。

电源电压由短路时的零值增高到引燃电弧的电压值所需的时间称为“电压恢复时间”。

电压恢复时间对引燃电弧以及维持电弧的稳定燃烧具有重大的实际意义。这个时间的长短

取决于电焊机的外特性。

电弧焊时，电弧电压恢复时间要求越短越好，一般不超过 0.05 秒。如果电弧电压恢复时间过长，则电弧就不容易引燃且不易稳定。

焊接电弧引燃的顺利与否，还取决于焊接电流强度、电弧中的电离物质浓度、电源的空载电压以及电源的特性等。

§ 2 焊接电弧的构造及其特性

一、焊接电弧的构造及温度

焊接电弧是由阴极区、阳极区、弧柱区三个部分组成的。

1.阴极区 阴极区是贴近阴极表面的极薄的一个区域（大约  $10^{-5}\sim10^{-6}$  厘米）。

在阴极区的阴极表面有一个明亮的斑点，称为阴极辉点。在阴极辉点中，电子在电场的作用下，得到足够的能量而逸出。因此，阴极辉点是一次电子的发源地，也是阴极区中温度最高的部分。

实际上，阴极发射出来的电子，受电场的作用迅速向阳极移动，电弧中被电离的微粒—阳离子则向阴极移动。由于阳离子的质量比电子的质量大的多，因此阳离子的运动速度比电子要慢的多，结果在阴极表面附近的区域（大约  $10^{-5}\sim10^{-6}$  厘米）每一瞬间运动的阳离子的浓度比电子的浓度大的多，就使得阴极表面附近所有阳离子的正电荷总和大大超过所有电子的负电荷的总和，所以在阴极表面附近的区域形成了一层阳离子层。这样从阴极表面到阳离子层之间就形成较大的电位差，这部分电位差称为“阴极电压降”。由于阴极电压降的存在，使阴极区造成局部的强电场（约为  $10^5\sim10^6/\text{cm}$ ），加速了阴极表面的电子发射，同时也使阳离子加速进入阴极。

阴极获得的能量主要有：阳离子到达阴极表面与电子复合成中性微粒时放出的热量；阳离子撞击阴极表面析出的能量。这些能量都使阴极温度升高。

阴极消耗的能量有：阴极发射电子消耗的能量；阴极金属材料加热、熔化和蒸发消耗的能量。

2.阳极区 阳极区是贴近阳极表面的极薄的一个区域（大约  $10^{-3}\sim10^{-4}$  厘米）。

电弧中的电子受阳极的吸引向阳极移动，运动着的电子在阳极表面的区域相应的浓度较大，形成一个空间电场，形成电位差，这部分电位差称为“阳极电压降”。

由于电子的质量小，运动速度大，所以电子在阳极表面附近聚集的浓度比阳离子在阴极表面附近聚集的浓度相应要小，因此阳极电压降通常低于阴极电压降（2.5 伏/厘米）。

在阳极上也有明亮的斑点，称为“阳极辉点”，它是由于电子撞击阳极表面而形成的。阳极获得的能量主要是：

电子对阳极撞击时析出的能量和电子到达阳极发生复合时放出的能量

在一般情况下，由于阳极的能量只消耗在阳极材料的熔化和蒸发，而不需要消耗于发射电子的能量，因此在和阴极材料相同时，阳极辉点的温度略高于阴极辉点。

当工艺参数一定的条件下，两极区的温度取决于电极材料的沸点，而且两极的温度会低于材料的沸点。

下表为阴极区、阳极区温度以及各种焊接方法的阴阳极区的温度比较：

表 2-8 阴极区和阳极区的温度			
电 极 材 料	材 料 沸 点 (°K)	阴 极 区 温 度 (°K)	阳 极 区 温 度 (°K)
碳	4640	3500	4100
铁	3271	2400	2600
铜	2580	2300	2450
镍	3173	2370	2450
钨	6200	3000	4250

注：1. 电弧中气体介质为空气。  
2. 阴极和阳极为同种材料。

一般手工电弧焊的阳极区温度高于阴极区温度，TIG 焊一般用钍钨、钨钨电极，可以在较低的温度下发射电子，故阴极的温度低于阳极区。

气电焊时，由于采用的电流密度较大，故阴极的温度高于阳极。焊接生产率较高。

在埋弧自动焊过程中，由于焊剂中含有大量的  $\text{CaF}_2$ ，极易形成阴离子，影响电弧的稳定性，要求阴极具有更强的发射电子的能力，而且这些阴离子和阳离子在阴极附近复合释放出大量的热量，使得阴极的温度高于阳极。

表 2-4 各种焊接工艺方法的阴极与阳极温度比较					
工 艺 方 法	一般的手工电弧焊	钨 极 氩 弧 焊	熔化极氩弧焊	$\text{CO}_2$ 气体保护焊	埋 弧 自 动 焊
温 度 比 较	阳极温度>阴极温度		阴极温度>阳极温度		

3.弧柱区 弧柱区是在两个电极之间的气体形成的间隙部分。

表 2-5 不同气体介质中的弧柱温度			
电极材料	气 体 介 质	电 流 (安)	弧 柱 温 度 ( $^{\circ}\text{K}$ )
钢	空 气	280	$6100\pm200$
	$\text{Na}_2\text{CO}_3$ 蒸气	280	$4800\pm200$
	$\text{K}_2\text{CO}_3$ 蒸气	280	$4300\pm200$

弧柱，主要是自由电子、阴离子向阳极转移，以及阳离子向阴极转移的通道，时又发生中性粒子的电离和电子及阴、阳离子的复合等作用。因此，弧柱中的反映较复杂。

弧柱的温度，主要受气体介质和焊接电流的影响，一般弧柱的温度高于两极的温度。

弧柱的温度在径向上是不均匀的，弧柱中心电离度高，带电质点密度大，导电性好，温度可达  $6000\sim8000\text{oK}$ ，越向外则温度越低。但弧长方向上，温度是均匀的

以上是直流电弧的热量和温度分布情况，而交流电弧由于电源的极性是周期性变化的（50Hz），所以两个极区的温度趋于一致（近似它们的平均值）。

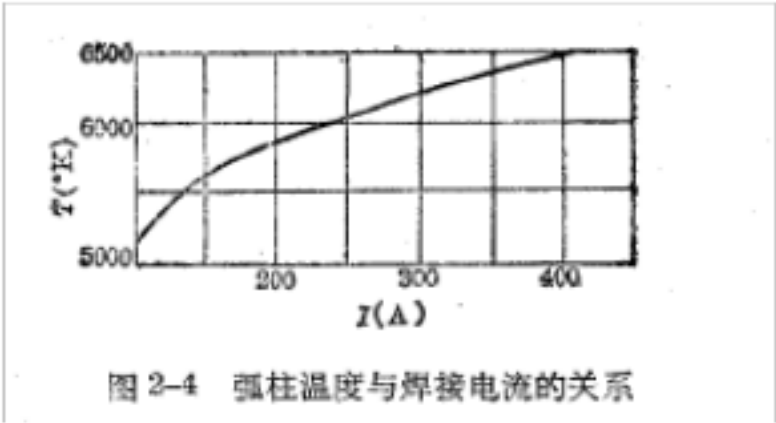


图 2-4 弧柱温度与焊接电流的关系

4.电弧电压 电弧电压包括阴极区电压降、阳极区电压降以及弧柱区电压降三部分。

当弧长一定时，电弧电压如右图。

电弧电压可用下式表示：

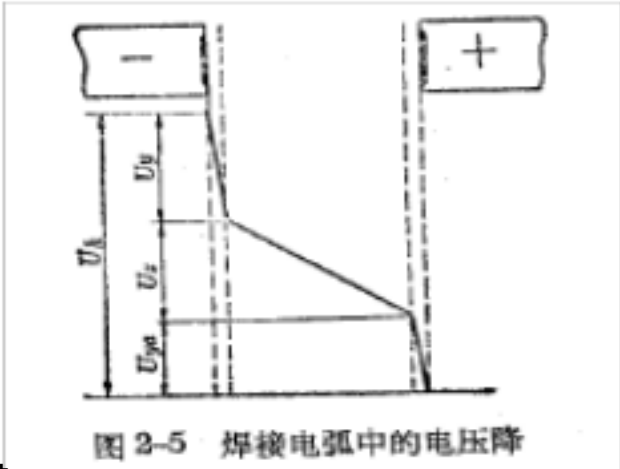


图 2-5 焊接电弧中的电压降

$$U_h = U_y + U_{ya} + U_z + a l_h$$
  
其中： $U_h$  —— 电弧电压（伏）； $U_y$  —— 阴极电压降（伏）；  
 $U_{ya}$  —— 阳极电压降（伏）； $U_z$  —— 弧柱电压降（伏）；  
 $a$  ——  $a = U_y + U_{ya}$ ； $b$  —— 单位长度的弧柱压降，约 20~40 伏/厘米；  
 $l_h$  —— 电弧长度（厘米）；

二、焊接电弧的静特性

焊接电弧是焊接回路中的负载，它起着把电能转变成热能的作用。

当电弧长度一定时，电弧两端的电压与电弧电流之间的关系，称为“电弧的静特性”。

普通电阻的静特性，符合欧姆定律（ $U = I R$ ），即电阻两端的电压降和通过该电阻的电流成正比，而且其比值基本不变。

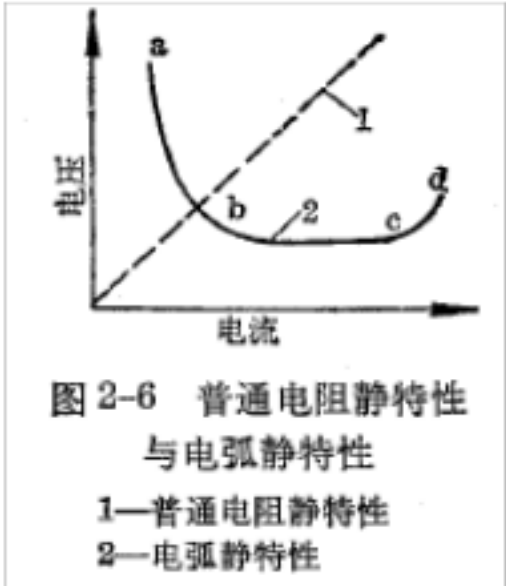


图 2-6 普通电阻静特性与电弧静特性  
1—普通电阻静特性  
2—电弧静特性

焊接电弧的静特性大体分为三个阶段。首先，当焊接电流较小时（ $< 30\sim 50\text{A}$ ），随着焊接电流的增加，焊接电压下降。这是因为在这个范围内，随着焊接电流的增加，气体的电离程度增加，其导电的能力增加。其次，焊接电流在一定的范围内（几十~几百安培），和焊接电压无关，即焊接电流增加电弧两端的电压不变。这是因为焊接电流达到一定数值以后，随着焊接电流的增加，电弧的直径增加，而此时焊接电弧的电压随着电弧的长度发生变化。其后当焊接电流特别大时，由于焊条直径的限制，电弧直径达到极限值，气体的电离程度趋于饱和，不再发生变化，所以再增加焊接电流时，焊接电弧两端的电压必然随之增高。因此，焊接电弧的静特性呈“U”字形。即“稳定燃烧的电弧，其两端的电压和焊接电流无关，而和电弧长度成正比（ $U_h = a + b l_h$ ）”。

### 三、焊接电弧燃烧的稳定性的

焊接电流的稳定与否，对焊接质量的影响极大。电弧的稳定性除与焊接电源外特性、电弧静特性有关外，还与焊接电流的大小、电流的种类及药皮成分、电弧长度等因素有关。

焊接电流越大，电弧温度越高，则电弧气氛中的电离程度越高，电弧燃烧越稳定。

实验结果表明，随着电流的增大，引弧电压降低，自然断弧长度增大。所以焊接电流的增大电弧越稳定。

电源种类。直流电弧较交流电弧稳定。

加入易电离元素的氧化物，电弧稳定性增加。

提高空载电压电弧稳定性增加，但安全性下降。故不宜采用。

药皮中加入氯化物、氟化物成分，电弧的稳定性下降。

弧长过长，电弧的摆动性增加，电弧的稳定性下降。

另外，电弧的长度增加，空气熔已进入电弧区，是使焊缝中易产生气孔，且焊缝质量下降，飞溅增大，焊缝成型不良。

因此，正常的弧长一般认为应是焊条直径的  $0.5\sim 1.1$  倍，用算式表示如下：

$$l_h = (0.5 \sim 1.1) d \quad (\text{mm})$$

式中： $l_h$ ：弧长；

$d$ ：焊条直径。

### § 焊接电弧的极性和偏吹

#### 一、焊接电弧的极性及应用

1. 焊接电弧的极性 直流电弧的极性，直流正接、直流反接。  
交流电弧不存在正接和反接。
2. 焊接电弧极性的应用 用酸性焊条焊接时，采用直流正接焊接，熔深增大，故厚板焊接时，采用直流正接，以增加熔深、增加生产效率。薄板焊接时，采用直流反接，以防止烧穿材料。

用碱性焊条焊接时，必须采用直流反接，其原因是：

- （1）直流正接时，由于  $\text{CaF}_2$  的存在，产生阴离子团，影响电弧的稳定性。
- （2）直流正接时，阳离子向阴极流动，阻碍熔滴过渡。
- （3）直流反接时，氢离子和电子结合，形成氢原子，减少氢气孔。

综上所述，碱性焊条必须用直流反接，若用交流焊接，则必须在药皮中加入易电离元素。（6型焊条）

直流焊机极性辨别：

- （1）盐水法

将焊接电源的两极插入盐水中，气泡多的一端是负极，另一端则为正极。

- （2）直流电压表判定法

在焊接回路中接入一块电压表，就可判别电极的正、负。

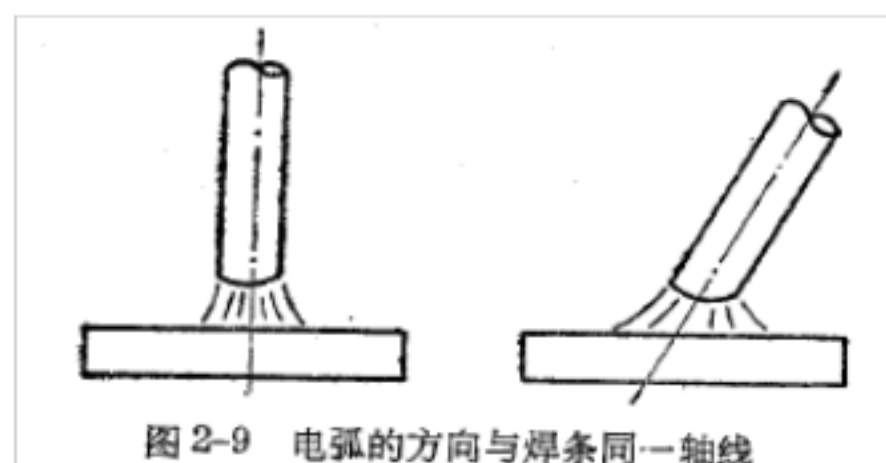


图 2-9 电弧的方向与焊条同一轴线

### (3) 经验法

当焊极为直流正接时，电弧燃烧不稳定，爆裂声和飞溅较大。如果接较平稳，电弧燃烧稳定，声音平静均匀飞溅较小，则为直流反接。

## 二、焊接电弧的偏吹

在焊接时，电弧的轴线不能保持和焊条的轴线，而偏向一边，这种现象称为“电弧的偏吹”。

电弧偏吹的现象有时可以引起电弧强烈摆动，甚至熄灭。为了保证焊接过程的正常进行，应尽可能减少电弧的偏吹。

引起电弧偏吹的原因：

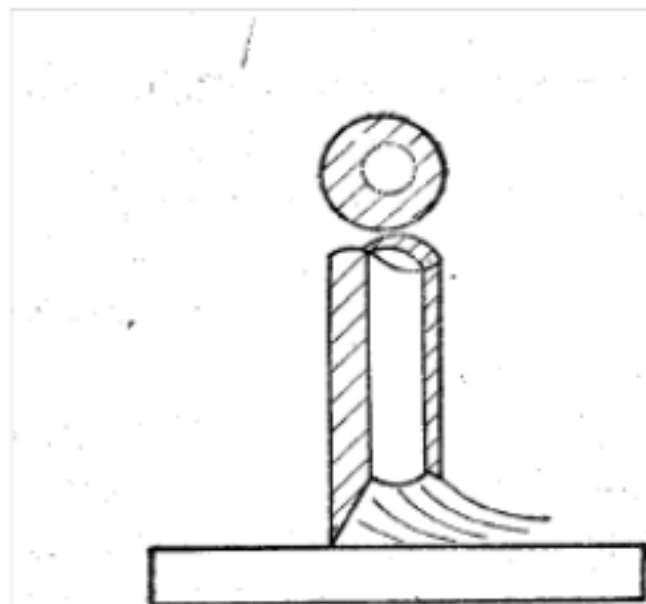


图 2-10 偏心度过大的焊条

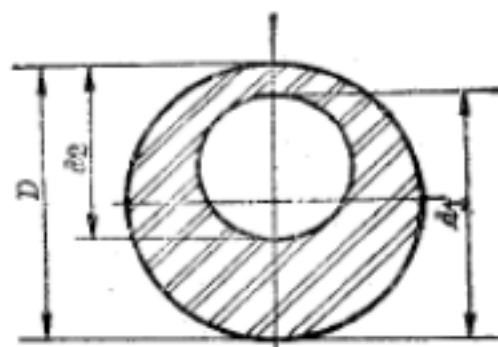


图 2-11 焊条偏心度

1. 焊条偏心度过大 这主要取决于焊条质量

$$\text{焊条偏心度} = \frac{d_1 + d_2}{D} \times 100\%$$

当焊条偏心度较大时，药皮一面厚，一面薄，厚的一面药皮熔化时，需要吸收更多的热量，因此，化速度比薄的一面慢，故使电弧外露，迫使电弧偏

此原因引起的电弧偏吹，可以用调整焊条运行倾斜角度来解决，但如果偏心度过大时，则无法调一般要求焊条的偏心度不大于 3%。

2. 电弧周围气体流动过强 由于电弧周围的气体动也会把电弧吹向一侧。引起偏吹。

可以用挡板来遮挡，以减小流动的气流，继而减吹。

3. 焊接电弧的磁偏吹 使用直流焊机焊接时，由直流电所产生的磁场在电弧周围、分布不均匀，引起弧产生偏吹的现象，称为“电弧的磁偏吹”。

造成磁偏吹的原因有：

- (1) 接地线位置不正确，引起的偏吹。

右图为由于接线不正确引起的磁偏吹。

当焊接电流从“+”流经焊件，通过电弧到焊条再入接点“-”时，沿途产生的磁力线分布在电流通路四周，但电流流经焊件，拐弯导电弧时，在电弧的两侧的磁力线分布酒极不均匀，电弧左侧（在接点方向的一边）的磁力线更密集，结果造成电弧左侧的磁场强度大于右侧的磁场强度，使电弧向磁场强度较弱的右侧偏吹。从而，产生磁偏吹现象。

- (2) 铁磁物质引起的磁偏吹

由于铁磁物质的导磁能力远远大于空气，当焊接电弧周围有铁磁物质存在时，接近铁磁物质一侧的磁力线大部分通过铁磁物质形成封闭回路，是电弧同铁磁体之间的磁力线变得稀疏，

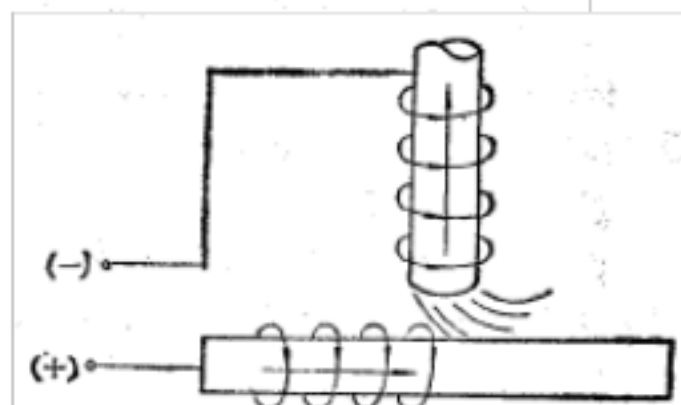


图 2-12 接地线位置不正确引起的电弧偏吹

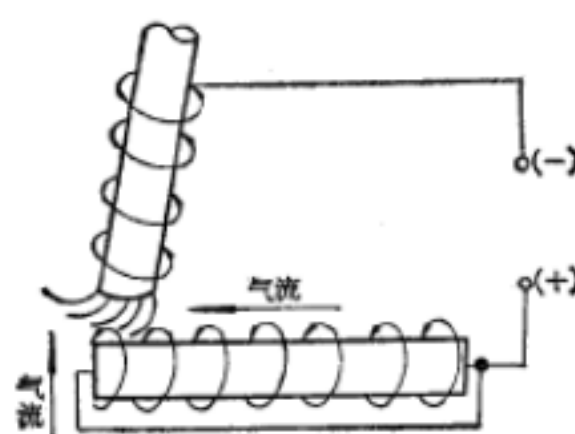
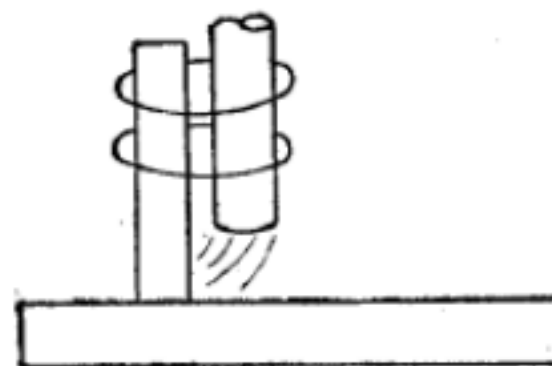


图 2-14 焊缝起头时的电弧偏吹

较熔吹。的整。

的流少偏

于电

进的侧



而使电弧另一侧的磁力线密集，因此电弧就向铁磁体一侧偏移，形成磁偏吹。

### (3) 焊条和焊间的位置不对称引起的电弧偏吹

在靠近焊渐边缘焊接时，由于电弧周围的磁力线不对称，也将产生电弧的偏吹。

如右图，在焊件边缘电弧的起始处进行焊接电弧左侧使空气，而右侧是铁磁物质，且电源时通过右侧接通焊件，因此电弧右侧的磁力线明显比左侧密集，因此电弧将向左侧偏吹。

焊接电弧的磁偏吹和焊接电流有关，焊接电流越大，磁偏吹现象越严重，当电流大于800~1000A 是电弧的偏吹将使焊接工作无法进行。

总之，磁偏吹现象在使用直流电源焊接时比较严重，而交流电源焊接时，几乎没有磁偏吹现象。

### 三、减少或防止焊接电弧偏吹的方法

- (1) 焊接时，在条件允许的情况下尽量使用交流电源焊接。
- (2) 露天焊接时，尽量用当板遮挡，对电弧进行保护。管子焊接时，堵住管子的一端减小过堂风。
- (3) 焊接间隙较大的对接焊缝时，可在下面家垫板，防止热对流引起的电弧偏吹。
- (4) 在焊缝两端各家一块附加钢板（引弧板及熄弧板），使电弧两侧的磁力线分不均匀，并减少热对流的影响，以克服电弧的偏吹。
- (5) 采用短弧焊，减少焊接过程中的偏吹现象。
- (6) 操作使改变焊条角度，是焊条的偏吹方向转向熔池。
- (7) 适当地改变焊件上的接地线的部位，尽可能使电弧周围的磁力线分布均匀。

质量允许的条件下，减小焊接电流也是减少磁偏吹得右下方法之一。

## § 4 电弧焊的熔滴过渡

焊接过程中，焊条熔化后，液体金属以颗粒状离开焊条末端，过渡到熔池中去，这个过程称之为“熔滴过渡”。

### 一、熔滴过渡的作用力

1. 熔滴所受的重力 焊条朝下时，为熔滴过渡的动力，反之为阻力。

例如：仰焊时即为阻力。

2. 液体的表面张力 在焊条端时，是熔滴过渡的阻力，过渡到熔池以后为动力。

例如：仰焊时，则可保持熔池金属不滴落。

短路过渡条件下，可对液滴过渡产生拉力有利于熔滴过渡。

影响表面张力的因素：

焊条直径越大，则其端部液体所受的表面张力越大，

液体金属的温度越高，表面张力越小。

保护气氛中的氧化性气体（Ar — O<sub>2</sub>、Ar — CO<sub>2</sub>）可以明显的降低液体金属的表面张力，有利于液体金属向熔池过渡。

- 3.电磁力 始终是有利于熔滴向熔池过渡的力。

在载流导体中若两导体相近，且两导体中的流体方向相同，则两导体相吸。这种相吸的立即电磁力。

焊接中，我们可以把导线和电弧看成许多相近的载流导体，各导体中都通有方向相同的电流，在电流的作用下，焊条以及其末端都承受了指向焊条中心的电磁力。称为“电磁压缩力”。

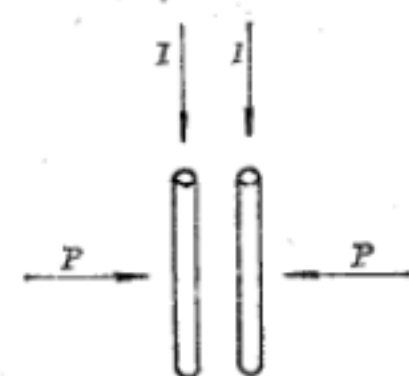


图 2-16 通有同方向电流的两根导线的相互作用力

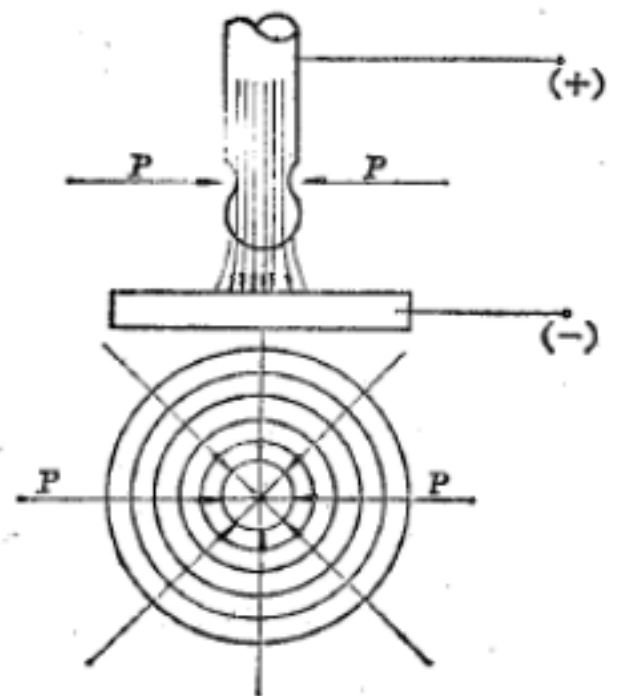


图 2-17 磁力线在熔滴上的压缩作用  
P—电磁压缩力

焊条端部熔化以后，在该电磁压缩力的作用下，沿焊条端部向内收缩，使液滴脱离焊条向熔池过渡。

电磁力的大小和两根导体通过的电流的乘积成正比，因此，焊接电流越大，则电磁力越大。

在熔滴过渡中，当焊接电流较小时，电磁力较小，主要是表面张力和重力向弧作用，熔滴尺寸较小时，表面张力将之控制在焊条端部，随着熔滴的长大，重力不断增加，当重力大于表面张力时，熔滴脱离焊条端部，坠入熔池。实现熔滴过渡。这种情况下，往往熔滴尺寸较大，易形成大滴过渡，使电弧短路，产生较大的飞溅，且电弧燃烧不稳定。

当焊接电流较大时，电磁力较大时，电磁力大于重力，熔滴尺寸减小，液体熔滴主要是在电磁力的作用下，以较小的熔滴向熔池过渡，而且方向性较强，总是沿着电弧的轴线向熔池过渡。

4.极点压力 在焊接过程中，带电粒子向两极运动，撞击在两极辉点表面，产生机械压力，这个压力被称为“极点压力”。

极点压力主要是来自弧柱取的，阳离子和电子流，阳离子流向阴极运动，最后撞击阴极辉点中和，电子流向阳极运动，最后撞击阳极辉点中和。阳离子流的质量远大于电子流，故阴极辉点的压力大于阳极辉点。两者都是液滴过渡的阻力。

当直流正接时，阳离子流阻碍液滴的过渡能力大，而反接时，电子流的压力较小。故直流反接可以产生细颗粒过渡，而正接时则不容易，这就时极点压力不同的缘故。

5.电弧气体的吹力 由焊接使造气剂产生的气体在药皮套管的导向下，吹向熔池而形成的吹力。

在手工电弧焊时，焊芯的熔化速度快于药皮的熔化速度，故药皮形成易喇叭口，而药皮中的造气剂产生的气体，在该喇叭口的引导下吹向熔池。形成电弧气体的吹力。

熔滴在这种吹力的作用下，吹向熔池。

因此，电弧气体的吹力始终是有利于熔滴过渡的力。

## 二、影响过渡熔滴大小的因素

1. 电流强度的影响 电流增大，金属的温度增加，减小熔滴的表面张力，致使熔滴尺寸变小。

2. 焊丝成分的影响

焊丝中含碳量增加，CO 的含量增加，在气体的压力下，是熔滴爆破成许多细小的熔滴。

随着金属中含碳量的增加，金属的熔点及粘性均下降，也增加了过渡金属的流动性，使液滴变为细小的熔滴。

3. 药皮成分的影响

高温时，药皮中一些活性金属被氧化成熔渣，包围在熔滴的表面，这些氧化物能减小熔滴的表面张力，致使熔滴变小。

## 三、熔滴过渡形式

1.射流过渡 焊接电流增大到一定数值后，即出现“射流过渡”。

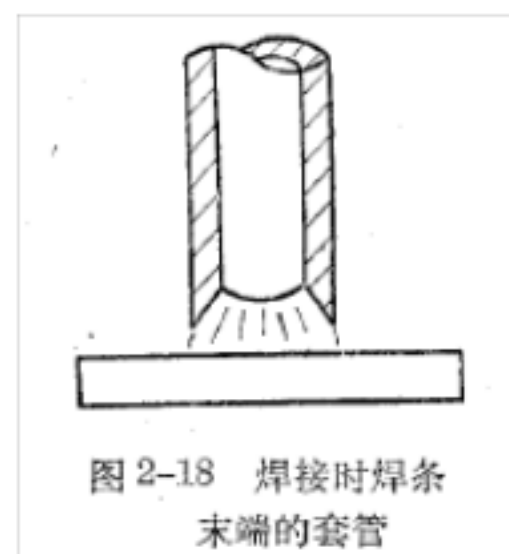
射流过渡的特点是：

液体金属以极细小的颗粒，很高的频率沿着电弧的轴线自焊丝射向熔池。

（需要指出的事，射流过渡除需要较大的电流以外，还需要一定得弧长，如果弧长过短，弧压过低，即使再大的电流也不能形成射流过渡。）

射流过渡的特点：

电弧稳定、没有飞溅、电弧熔深大、焊缝成型好、生产效率高。





## 2. 短路过渡

短路过渡时，熔滴过渡情况如右图所示，在电弧的作用下，熔滴首先在焊条端部形成，在重力的作用下，熔滴的颈部变细变长，熔滴颈部电流密度增大，在电磁力的作用下，促使颈部继续线下延伸，当熔滴接触熔池的

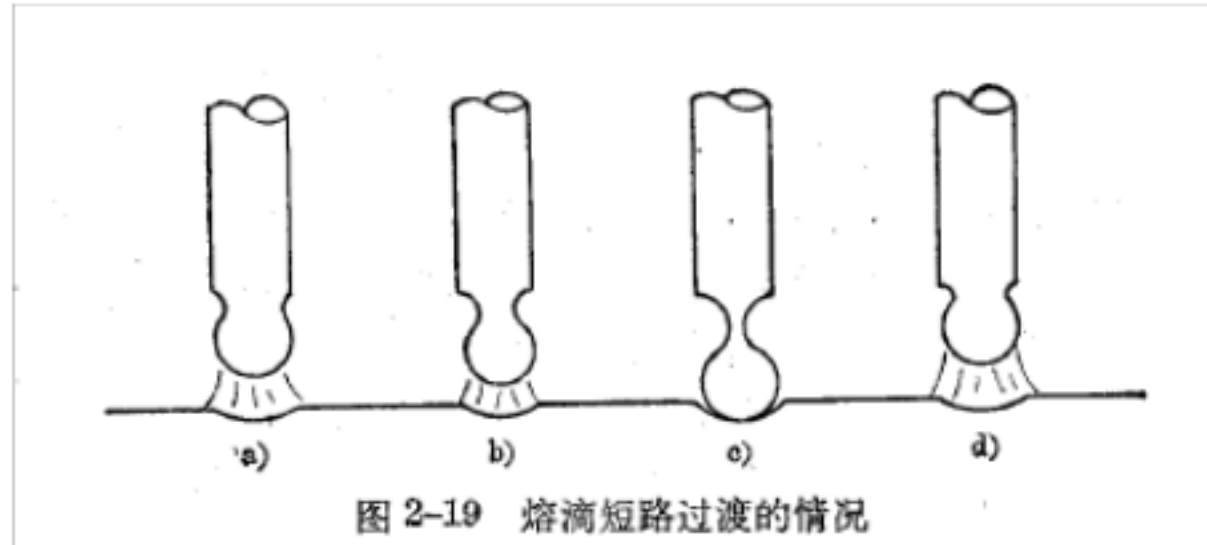


图 2-19 熔滴短路过渡的情况

时，发生短路，电弧熄灭，这时短路电流急剧增加，电磁收缩力增大，使熔滴缩颈部分变得更细，电流密度更大，同时在电磁收缩力及熔池的表面张力的共同作用下，熔滴进一步被拉向熔池，颈部变得更细。当电流达到一定数值之后，在强电流的作用下，颈部迅速气化，熔滴和焊条脱离，进入熔池，完成熔滴过渡。

当第一滴熔滴和焊条端部脱离的瞬间，电弧再次被点燃，形成第二滴熔滴，继续向熔池过渡。重复上述过程。

短路过渡可以在小功率（小电流、低电弧电压）条件下，实现稳定的金属熔滴过渡和稳定的焊接过程。所以适合于薄板或需低热能输入的情况下的焊接。

## 复 习 题

1. 什么叫焊接电弧？
2. 什么叫做气体电离？产生气体电离的原因有哪些？为什么？
3. 什么脚印及电子发射？引起阴极电子发射的原因有哪些？
4. 试用气体电离和阴极电子发射的知识，分析电弧引燃过程。
5. 焊接电弧的构造级温度分布如何？电弧电压时有哪几部分组成的，它与电弧长度有什么关系？
6. 焊接电弧静特性曲线为什么呈 'U' 形？
7. 焊接电弧的极性，接法有哪几种？它们的应用如何？
8. 造成焊接电弧偏吹的原因是什么？防止的方法如何？
9. 影响熔滴过渡的理由哪几种？它们在焊接过程中的作用如何？
10. 熔滴过渡的形式有哪几种？影响过渡熔滴大小的因素有哪些？

## 第二章手工电弧焊技术

### § 1. 焊接接头形势和焊缝形式

#### 一、焊接接头形式

GB985—67 规定焊接接头分为四种形式，即：对接接头、T 字接头、角接接头、搭接接头。

##### 1. 对接接头

右图为对接接头，对接接头在生产中较为常见，通常，没有特殊要求时，6mm 以下的对接接头开坡口。6mm 以上的可以开坡口。

开坡口的主要目的是：

保证电弧能深入焊缝根部，便于清除熔渣，获得较好的焊缝成型。坡口还可以起到调节基本金属和填充金属比例的作用。

通常，坡口都留有钝边，钝边时为了防止烧穿，但钝边的尺寸要保证第一层焊缝能焊透，间隙也是为了保证根部能焊透。

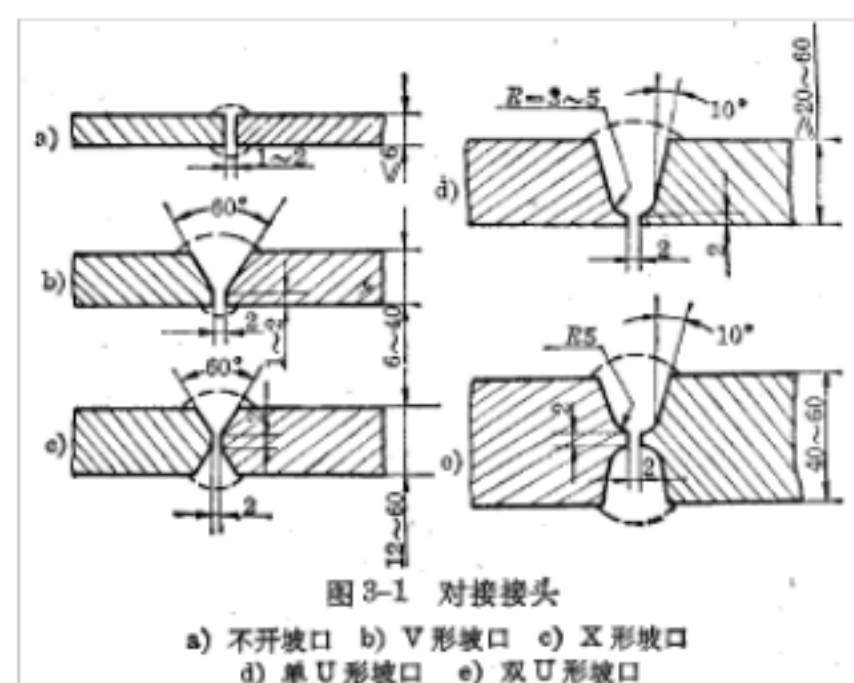


图 3-1 对接接头

a) 不开坡口 b) V 形坡口 c) X 形坡口  
d) 单 U 形坡口 e) 双 U 形坡口

选择坡口形式时，主要考虑：是否能保证焊缝焊透；坡口形状是否利于加工；尽可能提高生产率、节省焊条；焊后焊件变形尽可能小。

坡口形式有：不开坡口、V形坡口、X形坡口、单U形坡口、双U形坡口。

通常，V形、X形坡口易于加工，但金属的焊着量较大，而且变形较大。而U形坡口或双U形坡口焊着量较小，且焊件变形量较小，但加工较困难。因此经常重要的构件中才使用。

对于不同厚度的板料对接时，应注意两个板材之间的厚度差，如果不超过下表的范围则可按较厚的一方制定焊接规范。

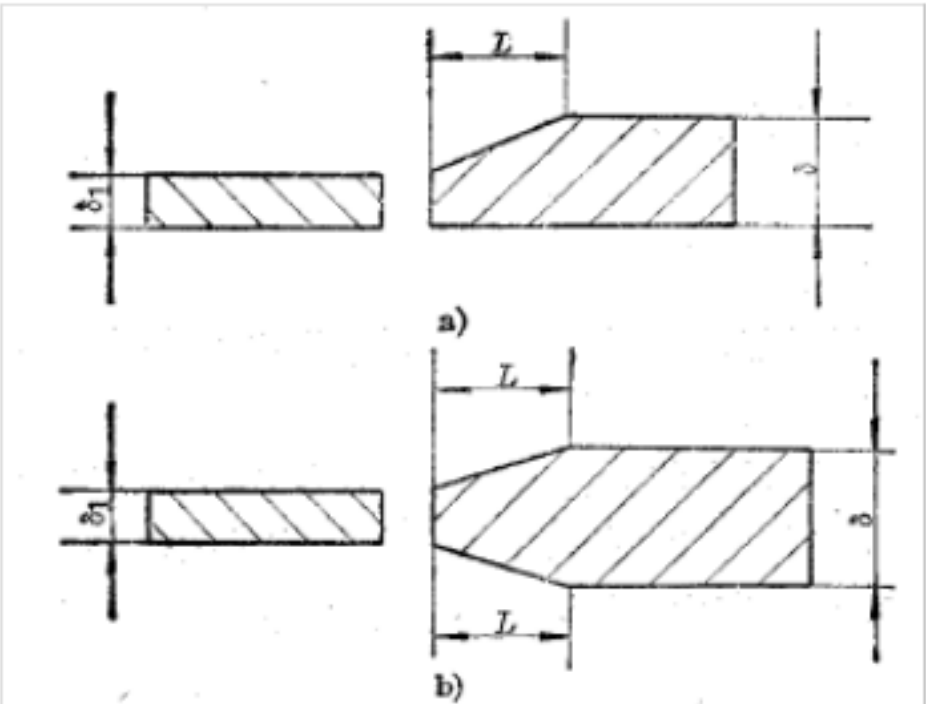


图 3-2 不同厚度板的对接

表 3-1 厚度差范围表

较薄板的厚度(毫米)	2~5	6~8	9~11	≥12
允许厚度差( $\delta-\delta_1$ )	1	2	3	4

如果，厚度差大于允许值，或在双面超过了  $2(\delta-\delta_1)$ ，则按右图加工成过渡形式。

2. T 字接头

T 字接头形式如下图：

T 字接头在生产中应用也较广泛，尤其造船业，70%以上的接头为“T 字接头”。作为一般焊缝，T 字接头钢板厚度在 2~30mm 时，可不开坡口，也不需要精确的坡口准备。

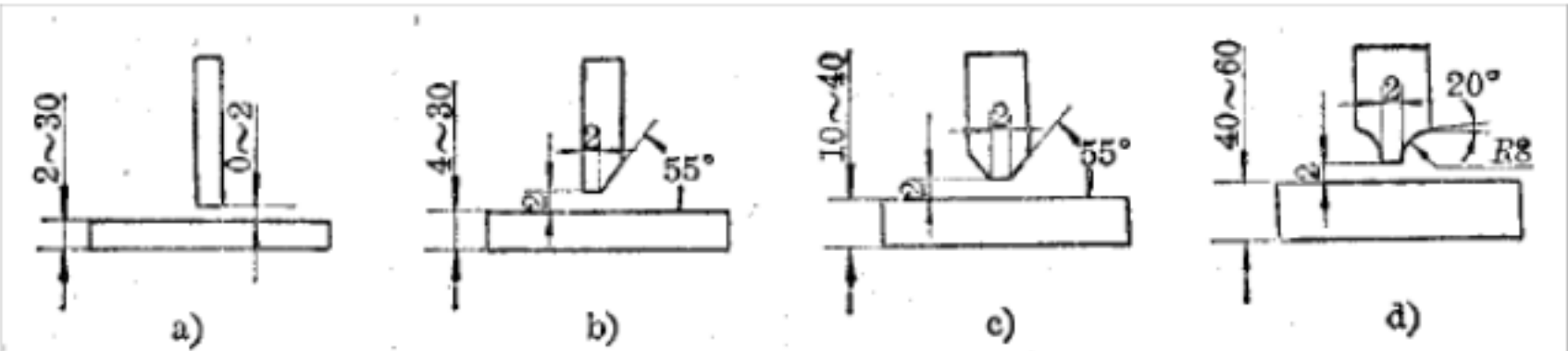


图 3-3 T 字接头

a) 不开坡口 b) 单边 V 形坡口 c) K 形坡口 d) 双 U 形坡口

若焊缝要求承受载荷，则按照钢板的厚度和对结构强度的要求，分别开上述 [坡口。使接头能焊透，以保证接头强度。

3. 角接接头

角接接头的形式如上图：

角接接头通常不用开坡口，特殊情况下也可按上图开单边 V 形坡口、V 形坡口、K 形坡口

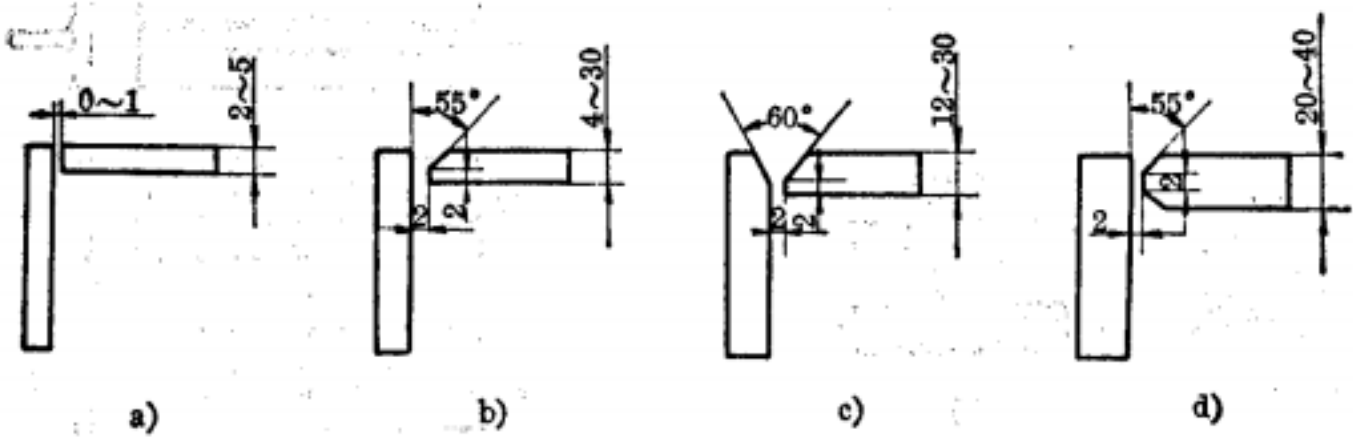


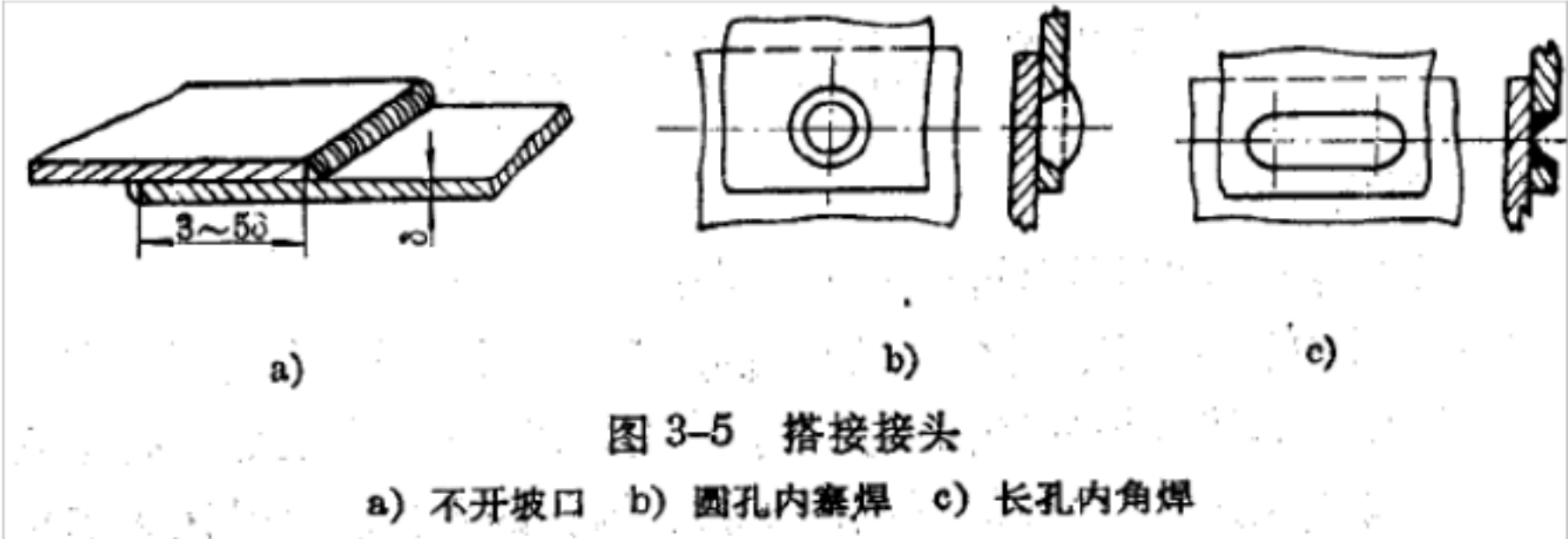
图 3-4 角接接头

a) 不开坡口 b) 单边 V 形坡口 c) V 形坡口 d) K 形坡口

等。尺寸要求见上图。

4. 搭接接头

搭接接头形式如下图：



搭接接头根据其结构形式和对强度的要求，可分为不开坡口、圆孔内塞焊、以及长孔内角焊三种形式。

12mm 板厚以下的一般结构搭接接头不开坡口，但要求搭接长度（重叠部分），3~5 倍的板厚，并要求双面焊接。

搭接部分面积较大时，为了保证结构强度，（或有其他要求）可根据需要分别选用圆孔内塞焊或长孔内角焊的方法。圆孔和长孔的大小和数量要根据板厚和对结构的要求而定。

各种焊接接头、坡口形式、焊缝形状、以及图样标注符号可查焊工手册。

二、焊缝形式

- 1. 按焊缝在空间位置的不同可分为平焊缝、立焊缝、横焊缝、仰焊缝四种。
- 2. 按焊缝的结合形式不同可分为对接焊缝、角接焊缝及塞焊缝三种。
- 3. 按焊缝断续情况可分为连续焊缝和断续焊缝两种。

对接焊缝的主要尺寸以焊缝高度（加强高） $e$ 、焊缝宽度  $b$  和熔深  $h$  表示；

角接焊缝主要尺寸为焊角表示。

断续焊缝只适用于强度要求不高，以及不需要密闭的焊接结构。

断续焊缝又可分为交错式焊缝和链状式焊缝两种，表示其尺寸时，除了要表明焊角  $K$  以外，还应注明断续焊缝中每一段焊缝的长度  $l$  和间距  $t$ ，以符号“ $/$ ”表示断续或链状焊缝（ $K-l/t$ ）；符号“ $Z$ ”表示交错式（ $K-lZt$ ）。

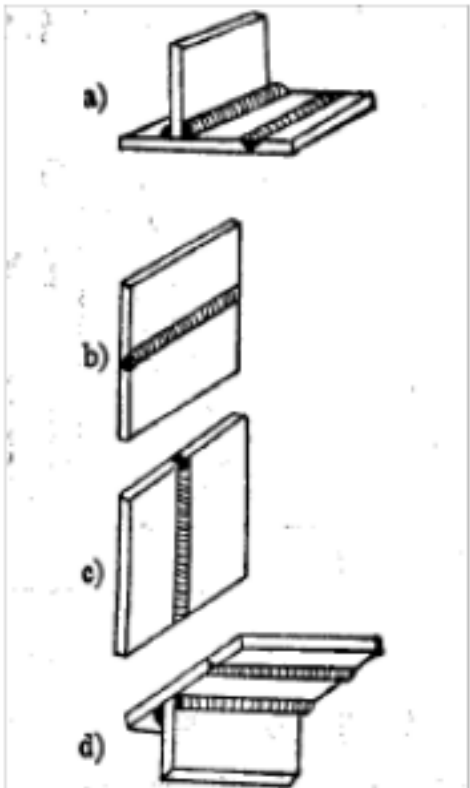
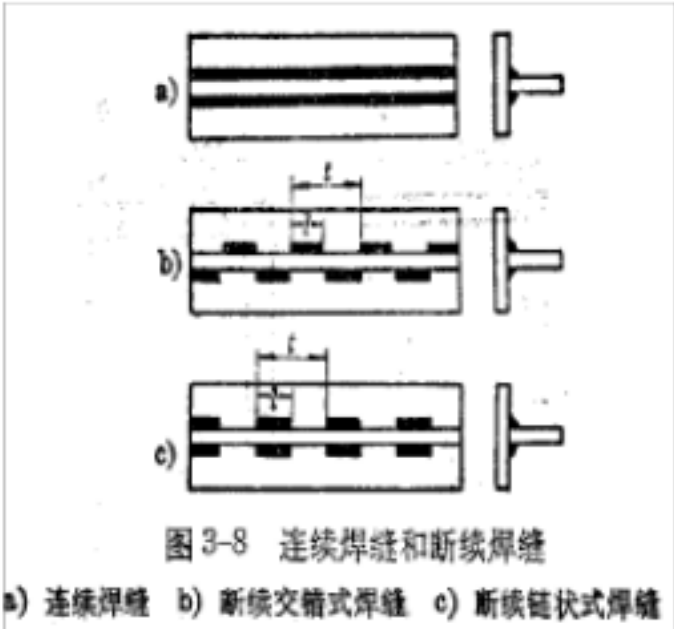


图 3-6 各种空间位置的焊缝  
a) 平焊缝 b) 横焊缝  
c) 立焊缝 d) 仰焊缝

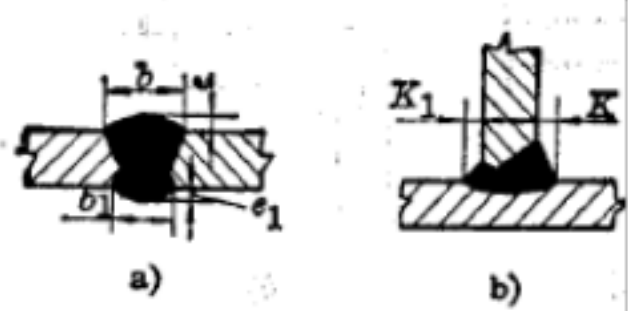


图 3-7 焊缝尺寸表示法  
a) 对接焊缝 b) 角焊缝

§ 2 焊接规范

手工电弧焊的焊接规范主要是：焊条牌号、焊条直径、电源种类及极性、焊接电流、电弧电压、焊接速度和焊接层数等。

主要的是：焊条直径和焊接电流的选择，电弧电压和焊接速度在手工电弧焊中有焊工凭经验确定。

焊接规范会严重影响焊件质量，故应与重视。

一、焊条直径

- 1. 根据焊件的厚度选择焊条直径 厚板选大直径焊条，反之选小直径焊条。

- 根据焊缝位置选择焊条      平焊应尽量选大直径的焊条，以增加生产率。立焊最大不超过 5mm，仰焊和横焊部超过 4mm，一防止熔池中的铁水下淌。
- 根据焊接层数选择焊条      第一层选小直径焊条，其它各层根据焊件厚度选较大直径的焊条。

在一般情况下，焊条直径与焊件厚度之间的关系可参照下表：

表 3-3 焊条直径选择的参考数据						
焊件厚度(毫米)	≤1.5	2	3	4~5	6~12	≥13
焊条直径(毫米)	1.5	2	3.2	3.2~4	4~5	5~6

### 二、焊接电流

增大焊接电流能提高生产率，但电流过大易造成焊缝咬边、烧穿等缺陷，同时金属组织也会因过热而发生变化；电流过小易造成夹渣、未焊透等缺陷，降低了焊接接头的机械性能，所以要适当地选择焊接电流。

焊接电流主要和焊条直径和焊缝位置有关。

#### 1. 焊接电流和焊条直径的关系

焊接电流和焊条直径的关系一般可根据下面的经验公式来选择：

$$I = k \cdot d$$

I—焊接电流

d—焊条直径

K—经验系数

焊条直径 d 和经验系数 K 的关系如下表：

表 3-4 焊条直径与经验系数的关系			
焊条直径(d)	1~2	2~4	4~6
经验系数(K)	25~30	30~40	40~60

该公式只是一个大概值，具体的焊接电流还要通过实验来决定，因为它还和其他因素有关。

#### 2. 焊接电流和焊缝位置的关系

平焊时，应尽量选择较大的焊接电流，以提高生产效率。

其它位置焊接时，为了避免熔化金属从熔池中流出，应使熔池尽量小些。因此，焊接电流应比平焊时小一些。

使用碱性焊条时，焊接电流应比酸性焊条小一些。

实际工作中，可以通过观察焊接情况来判断焊接电流是否合适。

(1) 看飞溅      电流大，电弧吹力大，飞溅大，大铁水颗粒向熔池外飞溅。

焊接时爆裂声大；电流小时，电弧吹力小，熔渣和铁水不易分清。

(2) 看焊缝成型      电流过大时、熔深大、焊缝低、两边容易咬边；电流小时，焊缝窄而高，且两侧与基本金属熔和不好；电流适中时，焊缝两侧与基本金属熔和的好。

(3) 看焊条熔化状况      电流过大时，焊条烧了大半根时其余部分均以发红；电流过小时，电弧燃烧不稳定，焊条容易粘在焊件上。

### 三、电弧电压

电弧电压时有弧长决定的。电弧长，弧压高。电弧短，弧压低。

焊接过程中，弧压不宜过高，否则，电弧燃烧不稳定，飞溅增多。熔深减小，易咬边，而且容易产生气孔。故焊接过程中，通常采用短弧焊（弧长小与焊条直径）。

### 四、焊接速度

焊接速度关系到焊接生产率，焊接速度过快焊缝质量下降，故应在保证焊接质量的条件下，尽量提高焊接速度。

复 习 题

- 1. 焊接接头的形式有几种？各有什么特点？
- 2. 开坡口的目的是什么？有几种坡口形式？各有什么特点？
- 3. 选择坡口形式时应考虑哪些因素？
- 4. 怎样正确选择手工电弧焊的焊接规范？
- 5. 怎样在焊接时判断所选用的焊接电流正确与否？

第三章 电 焊 条

§ 1 焊条及其组成

一、对焊条的要求

- (1) 容易引弧，保证电弧稳定，在焊接过程中飞溅少，尽可能交直流两用。
- (2) 焊条药皮熔化速度应均匀，且稍慢于焊条芯的熔化速度。
- (3) 熔渣的比重应小于熔化的金属，凝固的温度也应稍低于金属。具有掺合金和冶金处理的作用。
- (4) 具有掺合金和冶金处理作用。
- (5) 应适用于各种位置的焊接。

由于焊条的直径以及焊条芯的材料的不同，所以决定了焊条能通过的电流密度也不同，因而对各种不同的焊条，在长度上应给与一定的限制。

上表给出了国标对于焊条长度的规定：

表 4-1 焊条长度的规定							(毫米)	
焊 条 直 径	低碳、低合金钢焊条		钼和铬钼耐热钢焊条		不 锈 钢 焊 条		堆 焊 焊 条	
	焊 条 长 度	允许偏差	焊 条 长 度	允许偏差	焊 条 长 度	允许偏差	焊 条 长 度	允许偏差
1.6	200或250	±2	—	—	150、200、250	±2	—	—
2.0	250、300	±2	250、300	±2	200、250、300	±2	—	—
2.5	250、300	±2	250、300	±2	250、300	±2	—	—
3.2	350、400	±2	350、400	±2	300、350	±2	300、350	±2
4.0	400、450	±2	400、450	±2	350、400	±2	350、400、450	±2
5.0	400、450	±2	400、450	±2	350、400	±2	350、400、450	±2
6.0	{ 400、450 500、550	±2	400、450	±2	350、400	±2	400、450	±2
7.0	—	—	—	—	—	—	400、450	±2
8.0	—	—	—	—	—	—	400、450	±2
国家标准	GB981-76		GB982-76		GB983-76		GB984-76	

注：堆焊焊条直径为  $\phi 4$ 、 $\phi 5$  的铸造焊芯，焊条长度为 250、400，允许偏差为  $\pm 5$ 。

二、焊条芯

焊条芯的作用是：

导电以及引出电弧，填充金属。

为保证焊缝质量，焊条芯的成分直接关系到焊缝成分，故焊条芯的成分国家有严格限制。

1. 焊条芯中各合金元素的作用

(1) 碳 (C) 碳是钢中的主要元素，在焊条芯中，降低含碳量，可以提高焊缝的塑性。减少碳化物的存在，并可降低钢的硬度。

焊缝中含碳量增加可以明显增加钢的强度，但也明显降低钢的塑性。

碳是一种良好的脱氧剂，它在高温下，具有很强的脱氧作用。但焊条量过高，已引起飞溅，同时降低钢的熔点，对仰焊不利。

关于碳含量的问题主要还是强化焊缝的作用，因为焊缝强度过高将引起开裂。因此焊接材

料的含碳量一般不超过 0.2%，常用的第碳钢焊条，低于 0.1%。

(2) 锰 (Mn) 锰是钢中主要合金剂，也是脱氧、脱硫的主要元素。

含锰量小于 2%，随着焊锰量的增加，钢的强度增加，塑性、韧性亦增加。过高则淬火倾向增加。

含锰量在 0.4~0.6% 之间时，脱氧效果最好，过高则熔渣的流动性增加。

锰是好的脱硫剂，是抑制热裂的主要元素。

通常，碳素钢钢芯中的锰含量为：0.6~0.55%，合金结构钢钢芯中为 0.8~1.1% 或更高。

(3) 硅 (Si) 硅也是钢中的主要合金剂、脱氧剂。

但焊接过程中，硅含量过高，易形成  $\text{Si}_2\text{O}$ ，由于石英的熔点过高将时熔渣变稠，已造成熔渣粘度过高，脱渣困难。

还会引起飞溅增加。并容易造成夹渣及降低焊缝的塑性。

一般在焊芯中含硅量应尽量少，要求在 0.03% 以下。(合金钢例外)。

(4) 铬 (Cr) 铬合金钢中的主要元素，通常用以配置合金钢和不锈钢，可以提高钢的硬度、耐磨性和耐蚀性。含铬量小于 1.5% 还可提高钢的塑性。

但在焊接中，对于低碳钢来说，是一种杂质，因为  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  熔点很高，不仅增加熔渣的粘度，且易造成夹渣。

一般碳素钢焊条芯中的铬含量小于 0.2%。

(5) 硫 (S) 硫是钢中的有害杂质，易引起热裂缝。

脱硫的主要手段是加入锰。

一般钢焊芯中的含硫量小于 0.04%，高级优质焊芯中含硫量小于 0.03%。

(6) 磷 (P) 磷也是有害杂质，易引起冷裂缝。特别是降低了钢的冲击韧性，增加钢的冷脆性。材料脱磷主要靠氧化 ( $\text{P}_2\text{O}_5$ )。

一般焊芯中磷含量小于 0.04% 高级优质焊芯中磷含量小于 0.03%。

2. 焊条钢芯的分类及牌号 焊条钢芯根据国标“焊接用钢丝” (GB1300—77) 的规定，分为三类，即碳素结构钢、合金结构钢、不锈钢。

以“H”位字头，代表焊条用钢，结尾有“A”字代表高级优质，以“E”字结尾，代表特级钢材。

### 三、药皮

1. 焊条药皮的作用 要克服光焊条在焊接过程中可能产生的问题，焊条药皮应起到如下的作用：

(1) 提高焊接电弧的稳定性。

(2) 防止空气对熔池的侵入

(3) 保证焊缝金属顺利脱氧、脱硫、脱磷。

(4) 掺加合金元素保证焊缝成分，提高焊缝力学性能。

(补充烧损的合金元素，调整焊缝成分，保证焊缝的力学性能不低于母材)。

(5) 提高焊接生产率 由于药皮熔化速度低于钢芯的熔化速度，因而，在焊接过程中焊条端部形成一喇叭口，使热量更加集中，减少了有飞溅而引起的金属损失，提高了焊条的熔敷系数，继而提高了焊接生产率。

另外，药皮中加入一定量的铁粉，以提高铁的过渡效率，这就是“铁粉高效焊条”。

2. 焊条药皮的组成物及其作用

(1) 焊条药皮组成物的分类 焊条药皮的组成物大体可以分成四类：

第一类 矿物类 各种矿石，如：大理石、石英石、金红石、白云石、萤石、花岗岩等。

第二类 铁合金和金属类 锰铁、硅铁、钛铁、以及铝粉、铁粉、金属锰、金属铬等。

第三类 有机物类 木粉、淀粉、糊精、面粉、纤维等。

第四类 化工产品类 钛白粉、钾碱、碱面、钾硝石、高锰酸钾、水玻璃等。

(2) 焊条药皮组成物的作用

1) 稳弧剂 改善引弧性能，提高电弧稳定性。常用的稳弧剂由碳酸钾、碳酸钠、钾硝石、水玻璃及大理石、石灰石、花岗石、长石、钛白粉等。



- 2) 造渣剂 形成具有一定物理、化学系更的熔渣，在焊接过程中，产生良好的机械保护作用，和物理冶金作用。主要有菱苦土、钛铁矿、赤铁矿、金红石、长石、大理石、花岗石、莹石、锰矿、钛白粉等。
- 3) 造气剂 造成保护气氛、同时有利于熔滴过渡。主要有大理石、菱镁矿、白云石、和有机物，（木粉、淀粉、纤维素）等。
- 4) 脱氧剂 对熔渣和焊缝金属脱氧。主要有硅铁、锰钛、钛铁、铝铁、石墨等。 ]
- 5) 合金剂 主要作用是：向焊缝金属掺加必要的合金元素，以补偿烧损或蒸发的合金元素，补加特殊性能要求的合金元素。常用的有：铬、钼、锰、硅、钛、钨、钒的铁合金和金属铬、金属锰等纯金属。
- 6) 稀渣剂 作用是：将滴熔渣的粘度，增加熔渣的流动性。常用稀渣剂有：莹石、长石、钛铁矿、钛白粉、金红石、锰矿等。
- 7) 粘结剂 作用是：将药皮牢固的粘结在焊芯上。常用粘结剂为水玻璃或树胶等。
- 8) 增塑剂 主要作用：改善涂料的塑性和滑性，是指易于用机器压涂在焊芯上。常用的增速极为：云母、白泥、钛白粉等。

表 4-4 常用药皮原材料的组成与作用

药皮原材料 名称	基 本 组 成	主 要 作 用									
		稳弧	造渣	造气	脱氧	合金	稀渣	粘结	增塑	氧化	增氢
钛铁矿	$\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$	○	○				○			○	
金红石	$\text{TiO}_2$	○	○				○				
赤铁矿	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	○	○							○	
锰矿	$\text{MnO}_2$	○	○				○			○	
大理石	$\text{CaCO}_3$	○	○	○						○	
菱苦土	$\text{MgCO}_3$	○	○	○						○	
白云石	$\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$	○	○	○						○	
石英砂	$\text{SiO}_2$		○								
长石	$\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{K}_2\text{O}$	○	○				○				
高岭土	$\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		○						○		○
白泥	$\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$		○						○		○
云母	$\text{S} \cdot \text{O}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot \text{H}_2\text{O}$	○	○						○		○
花岗石	长石、石英、云母	○	○						○		○
萤石	$\text{CaF}_2$		○				○				
碳酸钾	$\text{K}_2\text{CO}_3(\text{H}_2\text{O})$	○							○		○
纯碱	$\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{H}_2\text{O})$	○							○		○
木粉	C、O、H			○					○		○
淀粉	C、O、H			○					○		○
钠水玻璃	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	○	○					○			○
钾水玻璃	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	○	○					○			○
铝粉	Al				○						
合金	锰、硅、钛、铬、钼等的铁合金				○	○					
纯金属	金属锰、金属铬等				○	○					
钛白粉	$\text{TiO}_2$	○	○				○		○		

### 3. 焊条药皮类型

#### 1) 氧化钛型 药皮中含氧化钛大于或等于 35%

该类药皮的焊条，由于药皮套管端部具有导电性，故该焊条再引弧性能强，熔深较浅，渣

覆盖良好，脱渣熔易，飞溅少，焊波美观，适用于全位置焊接。特别适用于，薄板和短焊缝、断续焊缝的焊接。但熔敷金属塑性及抗裂性较差。适于交、直流两用。

2) 氧化钛钙型            药皮中焊氧化钛 30%易上，钙或镁的碳酸盐矿石 20%以下。

      此种焊条电弧较稳定，熔审一般，熔渣流动性良好，脱渣熔易，非减少，焊波美观，适用于全位置焊接。适于交、直流两用。

3) 钛铁矿型            含钛铁矿大于或等于 30%

      熔渣流动性良好，电弧稍强，熔深较深，渣覆盖良好，脱渣容易，飞溅一般，焊波整齐，适于全位置焊接。适用于交、直流两用。

4) 氧化铁型            药皮中含有多量的氧化铁和较多的锰铁脱氧剂。

      此种焊条熔化速度快，焊接生产率高，电弧稳定，再引弧熔易，熔深较深，飞溅稍多，最适宜中、厚度易上钢板的平焊。立焊、仰焊操作性能差，而熔敷金属抗裂性较好。适于交、直流两用。

5) 纤维素型            药皮中含 15%以上的有机物和 30%以上的氧化钛。

      这种焊条电弧强、熔深深、熔化速度快，熔渣少，脱渣熔易，飞溅一般，适用于全位置焊接，特别适用于立焊和仰焊，压可进行力向下焊，并可用作深熔焊接。适于交、直流两用。

6) 低氢型            药皮中主要含有碳酸盐矿石和莹石。

      熔渣流动性好，焊接工艺性能一般，焊波较高，适用于全位置焊接。焊接时要求焊条药皮很干燥，电弧很短。熔敷金属中扩散氢焊量在 10ml/100 以下，焊缝具有特别良好的抗裂性能和机械性能，能用于焊碳含硫较高的钢材的焊接工作。适用于直流焊接。（如果在药皮中加入足够数量的易电离元素也可交、直流两用）

7) 石墨型            药皮中含有较多量的石墨，使焊缝金属获得较高的游离碳或谈话物。

      石墨型药皮配以低碳钢焊芯，焊接工艺型能较差，飞溅较多，烟雾较大，熔渣极少。而且只能是用于平焊；但配以有色金属焊芯一般焊接工艺性能较好，飞溅极少，熔深较浅，熔渣少，适用于全位置焊接。

      石墨性药皮焊条引弧熔易，药皮强度较差。焊缝抗裂性较差，焊条尾部容易发红，故施焊时一般采用小规范为宜。

      通常这类药皮用于配制部分铸铁焊条和堆焊焊条。

8) 盐基型            这类焊条药皮主要以氯化物和氟化物组成。

      这类焊条熔点低，熔化速度快一般采用羧甲基纤维素做粘结剂。但焊条焊接工艺差，药皮吸潮性强，熔渣具有腐蚀性，故焊前焊条药严格烘干，焊接时要求短弧，焊后要仔细清理工件以防继续腐蚀工件。通常这类药皮用以配制铝及铝合金焊条。直流专用。

      在上述各类药皮的基础上，若药皮中含有 30%以上的铁粉，则按造基本类型的不同，分别称为“铁粉××型焊条”，例如：铁粉低氢型焊条。

      在焊条药皮中加入铁粉后，有改善工艺性能和提高熔敷效率的作用，但铁粉加入量较多的焊条，不再是用于力焊或仰焊操作。

（2）焊条药皮的选碱性            对于钢焊条来说，焊条药皮形成的熔渣中酸性氧化物多于碱性氧化物，整个熔渣呈酸性，这类药皮的焊条称为“酸性焊条”。反之称为“碱性焊条”。

      上述药皮中，氧化钛型、氧化钛钙型、钛铁矿型、氧化铁型、纤维素型、都是酸性焊条，而低氢行为碱性焊条。一般酸性焊条都可以交、直流两用，碱性焊条多位直流专用。但有时在低氢型焊条中加入足够量的易电离元素后，也可交、直流两用。

      通常酸性焊条工艺性较好，但焊缝的抗裂性较差，而碱性焊条的公益性较差，抗裂性较好。

§ 2 焊条的分类、选用及管理

表 4-5 焊条牌号末尾数字表示的药皮类型及适用电源种类					
牌号末尾数字	焊条药皮类型	焊 接 电 源	牌号末尾数字	焊条药皮类型	焊 接 电 源
0	不属已规定的类型	不规定	5	纤维素型	交流或直流
1	氧化钛型	交流或直流	6	低氢型	交流或直流
2	氧化钛钙型	交流或直流	7	低氢型	直流
3	钛铁矿型	交流或直流	8	石墨型	交流或直流
4	氧化铁型	交流或直流	9	盐基型	直流

## 一、焊条的分类及结构钢焊条的牌号编制

### 1. 焊条的分类 按 GB980—76 规定，焊条分九大类：

#### (1) 低碳钢和低合金高强度钢焊条（简称“结构钢焊条”）

这类焊条的熔敷金属，在自然气候环境中具有一定的力学性能。

#### (2) 钼和铬钼耐热钢焊条

这类焊条的熔敷金属，具有不同程度的高温工作能力。

#### (3) 不锈钢焊条

这类焊条的熔敷金属，常温、高温或滴稳中具有不同的抗大气或腐蚀介质腐蚀的能力。和一定的力学性能。

#### (4) 堆焊焊条

这类焊条为用于金属表面层的对焊焊条，其熔敷金属在常温或高温中具有一定程度的奶不同类型的磨耗或腐蚀等性能。

#### (5) 低温焊条

这类焊条的熔敷金属，在不同的低温介质条件中，具有一定的低温工作能力。

#### (6) 铸铁焊条

这类焊条是指专用做焊补或焊接铸铁用的焊条。

#### (7) 镍及镍合金焊条

这类焊条用于镍及镍合金的焊接、焊补或堆焊。某些焊条可用于铸铁焊补、异种金属的焊接。

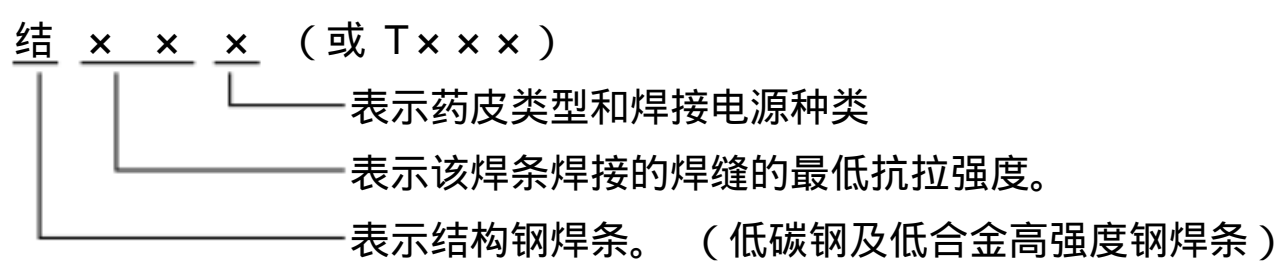
#### (8) 铜及铜合金焊条

这类焊条用于铜及铜合金的焊杰、焊补或堆焊。某些焊条可用于铸铁焊部、异种金属的焊接。

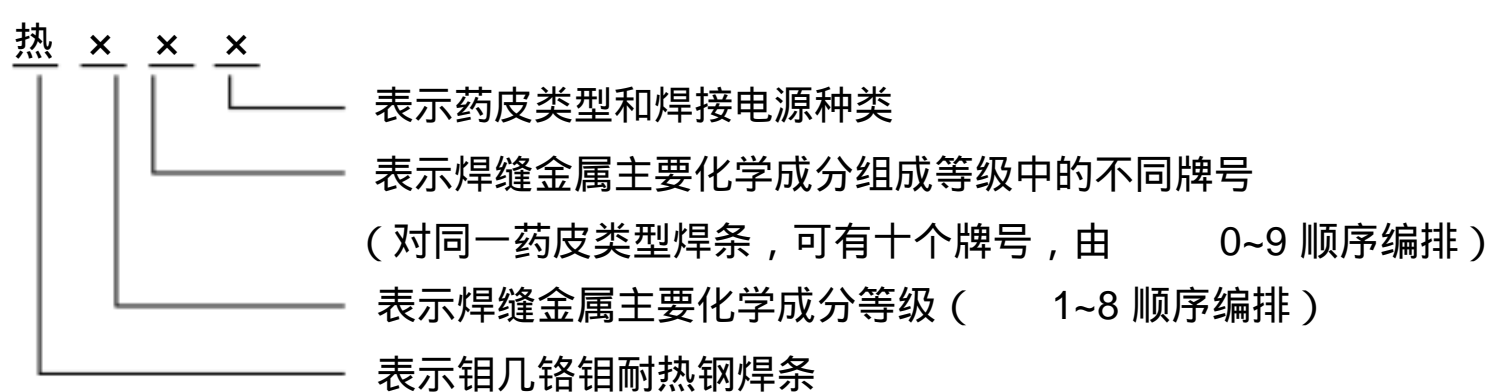
#### (9) 铝及铝合金焊条 这类焊条用于铝及铝合金的焊杰、焊补或堆焊。

### 2. 结构钢焊条及其它各类焊条的牌号编制

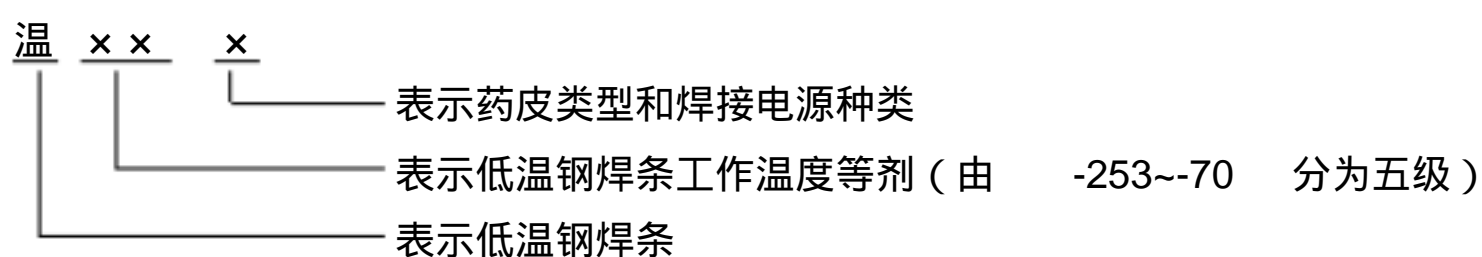
#### 1) 结构钢焊条



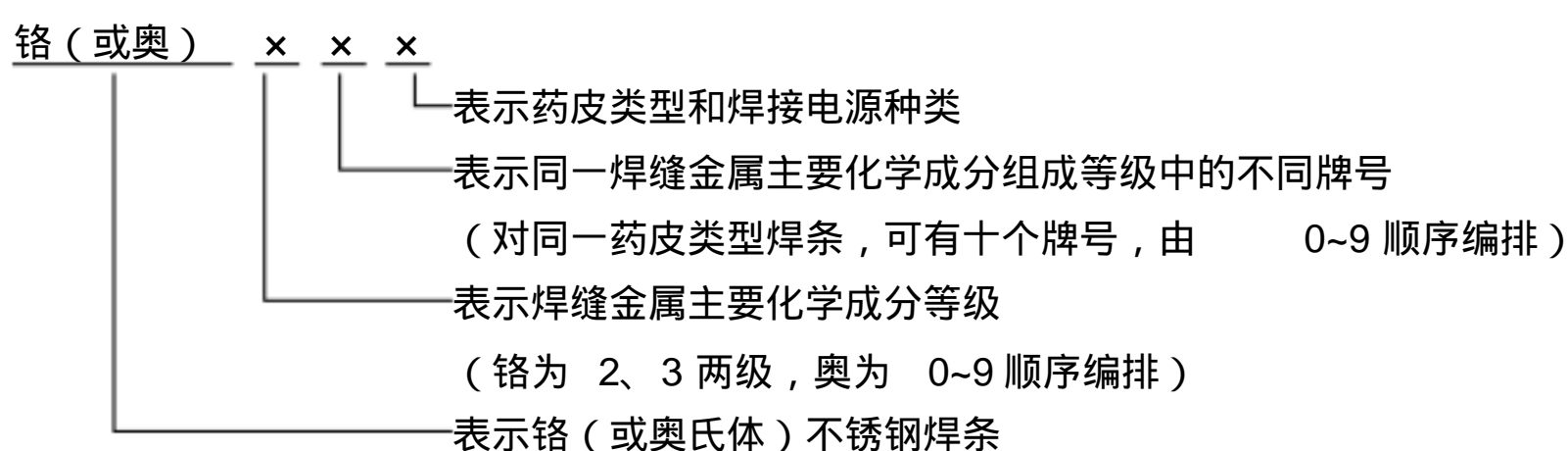
#### 2) 钼和铬钼耐热钢焊条



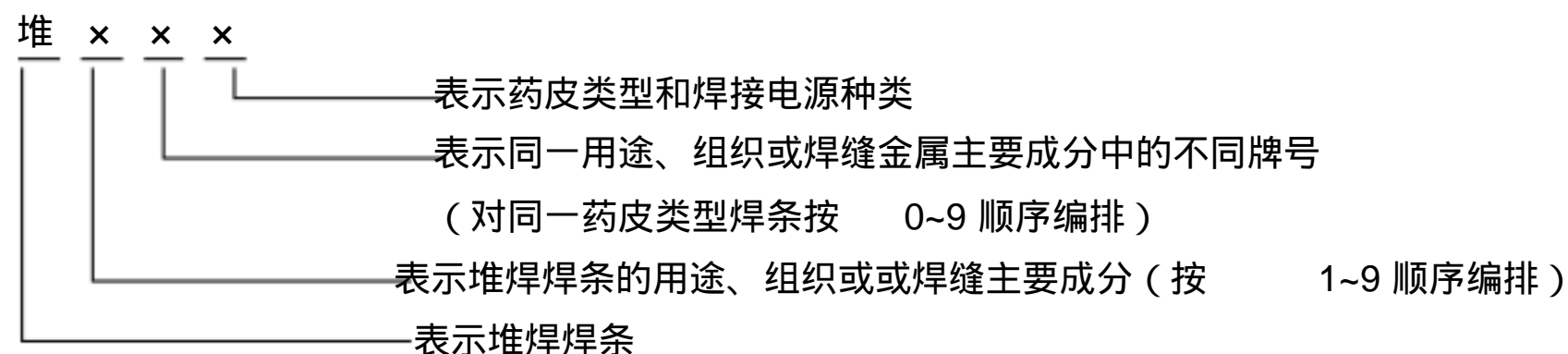
#### 3) 低温钢焊条



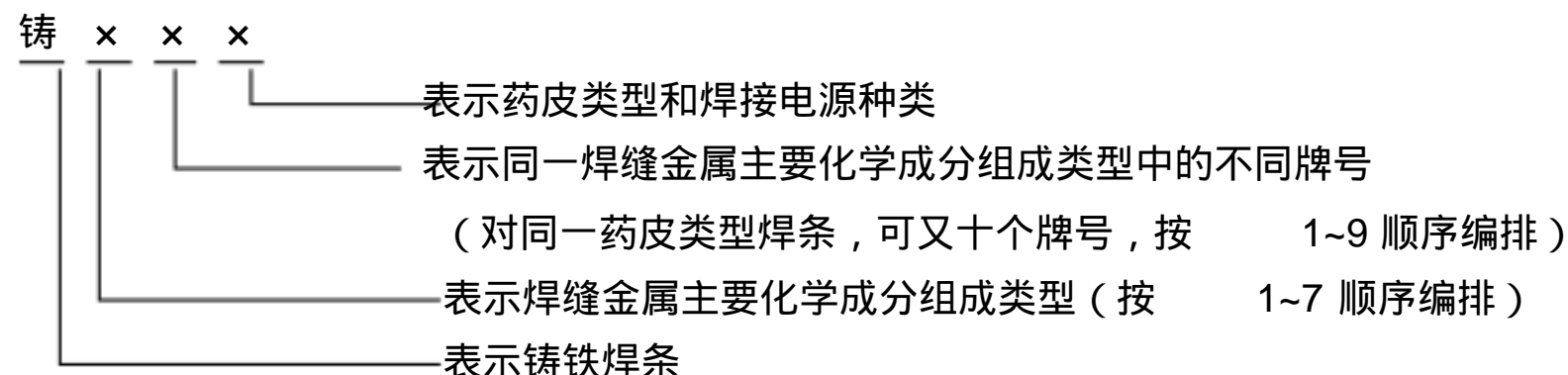
#### 4) 不锈钢焊条



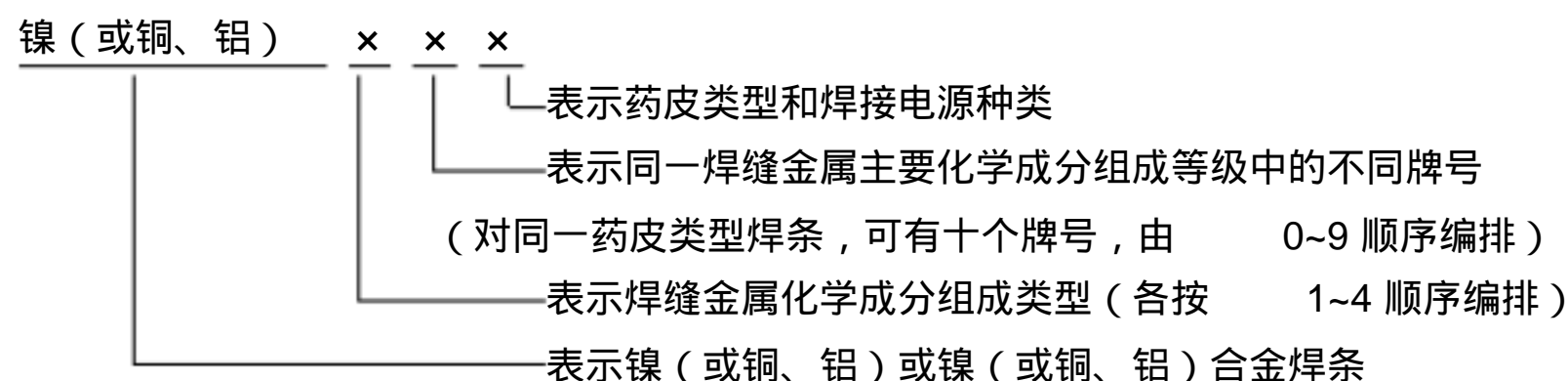
### 5) 堆焊焊条



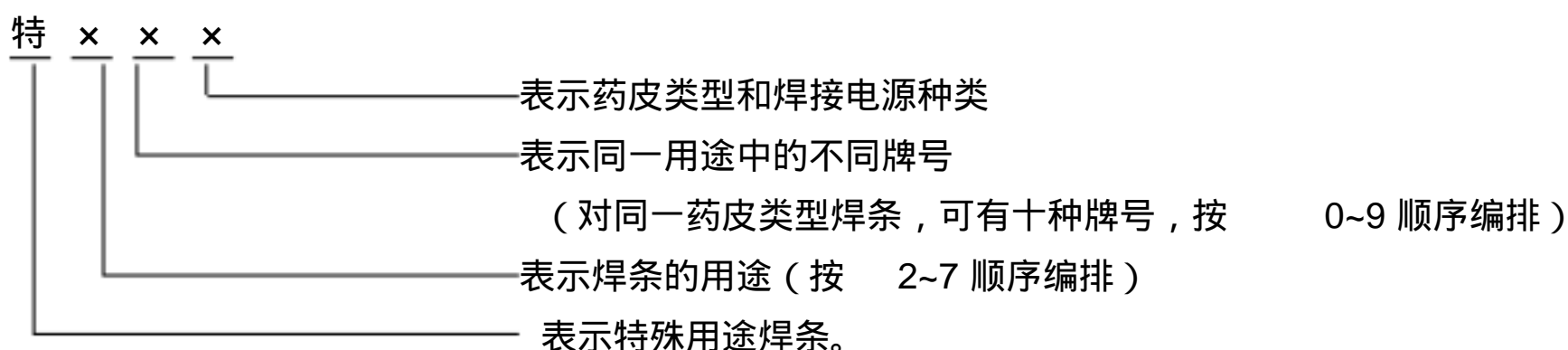
### 6) 铸铁焊条



### 7) 有色金属焊条



### 8) 特殊用途焊条



## 二、焊条的合理选用

### 1. 考虑焊件材料得力学性能和化学成分

- (1) 对于结构钢的焊接, 主要考虑等强度。
- (2) 对于合金结构钢和不锈钢还要考虑合金的成分相同。
- (3) 对于易开裂的材料, (如低质量的钢) 应选用抗裂性能好的碱性焊条。

### 2. 考虑焊件的工作条件和使用性能

- (1) 工作中承受动载或冲击载荷的工件, 除保证等强度外, 还对冲击韧性、和延伸率有要求。因此宜采用低氢型焊条。 ]
- (2) 对于在腐蚀环境下工作的零件, 还应考虑介质种类、浓度、工作温度等情况, 选择相应的不锈钢焊条。

### 3. 考虑焊件的结构特点

- (1) 结构刚度大的工件, 焊接后易开裂, 因此, 选择抗裂性能好的碱性焊条, 且必要时考虑采取焊前预热等工艺措施。
- (2) 对于仰焊、立焊等焊缝较多的工件, 应选用适宜全位置焊接的焊条。
- (3) 对于不易清理坡口的工件, 应尽量选用工艺性能好的酸性焊条(抑制气孔) 。

### 4. 考虑工地、现场的设备情况

- (1) 没有直流电源的地方要考虑选用交直流两用的焊条。
- (2) 对于没有预热条件的(焊后需要热处理的工件) , 可考虑采用特殊焊条来弥补加热条件的不足。如焊接 Cr25Mo 构件, 可采用 Cr25Ni13 型不锈钢焊条。 , 以

避免热处理。

#### 5. 考虑劳动条件、生产效率和经济性

- (1) 尽量选用酸性焊条，为提高焊缝质量，也可以选用碱性焊条。
- (2) 在满足力学性能和操作性能的前提下，适当选用效率较高的焊条。
- (3) 在满足性能要求的前提下选用价格较低的焊条。

除上述五个条件外，还要综合考虑，以便做出符合实际的选择。

## 第四章 焊接金属学基础知识

冶金：金属冶炼，高温状态下，液体金属、熔渣、气体之间相互作用的过程。

焊接过程中，部分金属熔化和填充金属一起形成凹坑，该凹坑称之为“熔池”。

熔池中的金属最终形成焊缝，因此，熔池中的反应过程，将最终影响到焊缝质量。故其为焊接过程中的重要过程，称之为“熔池过程”。

焊接冶金过程需要解决的基本任务是：如何利用焊接冶金过程的基本规律，使焊接材料中的有用元素进入焊缝，而把不利元素去除掉，从而达到控制和调整焊缝金属的成分和性能，以满足焊缝质量的要求。

焊接冶金和一般冶金比较有很大的不同。

如原材料的不同，就使得焊接冶金和一般冶金的目的发生变化，以把冶金原材料是生铁或废钢铁，其目的为，取出杂质、调整成分，得到所需的化学成分及力学性能。

而焊接冶金的原材料使成品钢材，所以冶金过程是一个客观存在的过程，而该过程有直接影响到焊缝的质量。因此是一个必须研究的过程。

我们知道焊接所用的原材料大部分都是经过塑性变形后又经过再结晶的板材，它们的性能都是比较优良的，而经过焊接以后的焊缝区是铸造状态的其性能远不如轧制材料，因此，我们可以利用焊接冶金过程，以调整焊分区的成分，使其性能不低于母材。

焊接冶金的过程，是一个金属重熔的过程，所以又给我们提供了一个改善焊缝区金属成分和性能的机会，因此，我们可以充分利用这个机会，以得到我们所要求的目的。

### § 1、焊缝金属的结晶特点及过程

#### 1. 焊接熔池结晶特点

- (1) 温度高，电弧搅拌强烈。

电弧区和熔池中的冶金反应进行得非常强烈，反应速度非常快。

- (2) 比表面积大，和气体及熔渣接触面积大。

参加反应的元素多，反应过程非常复杂。

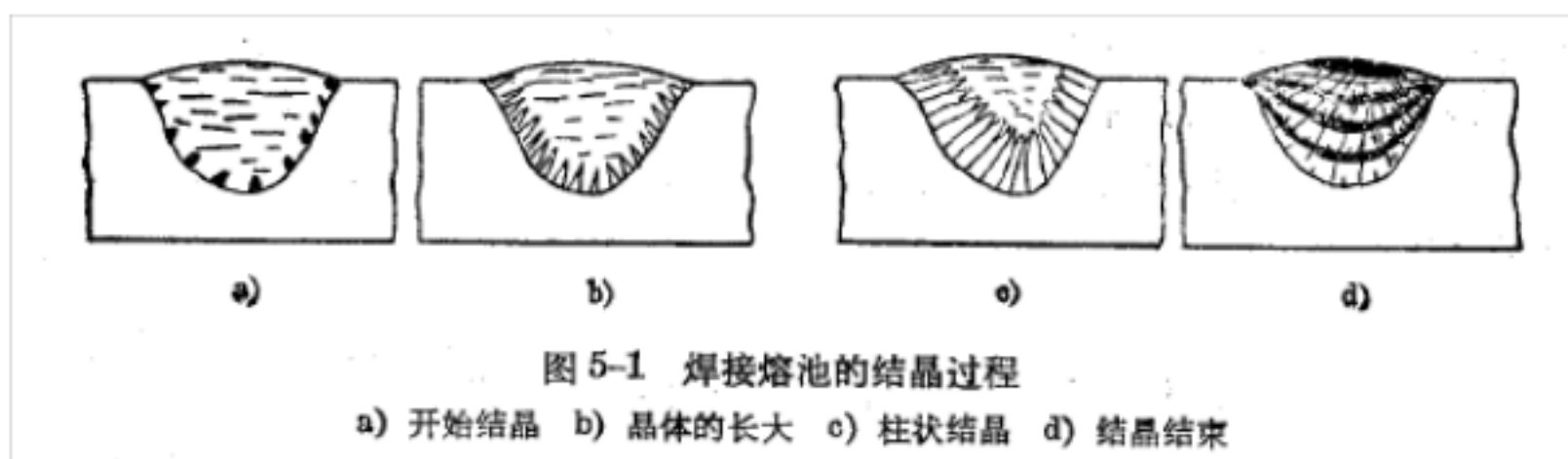
- (3) 熔池体积小，冷速快。

反应进行过程及方向，迅速变化。有些反应进行的不彻底。

- (4) 熔池在运动状态下结晶

熔化焊熔池一伴随电弧的移动而移动，因此熔池的形状和结晶的组织亦受到焊接速度的影响。此外还受到电弧摆动、电弧吹力等的搅拌作用，使熔池内的金属处于运动状态下结晶。

#### 2. 焊缝的结晶过程



#### 1) 现成结晶表面

当电弧离开熔池后，熔池中的金属开始结晶，和普通结晶不同的是熔池金属结晶过程中，液体金属是沿着熔和线开始结晶的，而不必重新生核。这是因为在熔和线附近存在着某些半熔化晶粒，这些晶粒在结晶的过程中，充当了结晶的核心，从而降低了生核能。因此称此表面为“现成结晶表面”。如上途中的 a) 图。

由于有了现成结晶表面，使得结晶过程在满足结晶热力学条件下，成为自发形成过程。

## 2) 焊缝晶体的长大

焊缝晶体在现成结晶表面上直接长大的过程称为焊缝晶体的长大。

由于晶粒的长大方向是沿着主散热方向的相反方向，并由熔和线开始向晶内长大，直至互相接触，长大停止。因此焊缝区内的晶粒基本都是垂直于熔和线的柱状晶。如上图中的 b) 、 c) 图。

但是，由于焊缝的结晶过程是一个动态过程，因此，晶粒的长大方向在三维方向上，还向电弧的移动方向倾斜一个角度。如上图中的 d) 图。

熔化焊时，随着电弧的移动，熔池的结晶过程一直在连续地进行，因此结晶速度等于焊接速度。也就是说，电弧向前移动的速度决定了焊接速度，移动的快，熔池结晶快，速度慢，结晶速度慢。焊速越慢，则熔池体积越大，焊缝的冷速也越慢，其晶粒越粗大，焊缝金属的塑性、韧性也越差。

## § 2 焊缝中的偏析现象

偏析：合金中各组元元素在结晶过程中形成的分布不均的现象。偏析引起焊缝成分不均、性能发生变化、使焊缝易产生裂纹、夹杂渣、气孔等缺陷。

焊缝中的偏析主要有：显微偏析和区域偏析两种。

### 1. 显微偏析

焊缝中的显微偏析有枝晶偏析和晶间偏析两种。

枝晶偏析：结晶的过程中，首先结晶的部分（晶轴）通常为纯金属，而后结晶的部分含合金元素和杂质较高，从而形成晶内的偏析。

晶间偏析：两个柱状晶之间在结晶过程中，通常最后冷却结晶，因此在晶粒之间低熔点合金的含量将高于晶内，因而形成了晶间偏析。

晶间偏析较严重时也可以带来焊缝的热裂纹或应力集中等缺陷。

如果焊缝的冷速很慢，各种元素有充分的扩散时间，则显微偏析的现象可以消除，但通常焊接的冷却速度都较快，因此特别容易产生显微偏析现象。

显微偏析主要取决于材料的成分及金属的结晶区间，金属的结晶区间越大，则越易产生显微偏析。一般低碳钢焊接，结晶区间较小，故不易产生显微偏析。但高碳钢以及合金钢的结晶区间较宽，因此易产生。所以通常高碳钢、合金钢焊接以后要进行扩散退火或细化晶粒退火等热处理，以减少显微偏析现象。

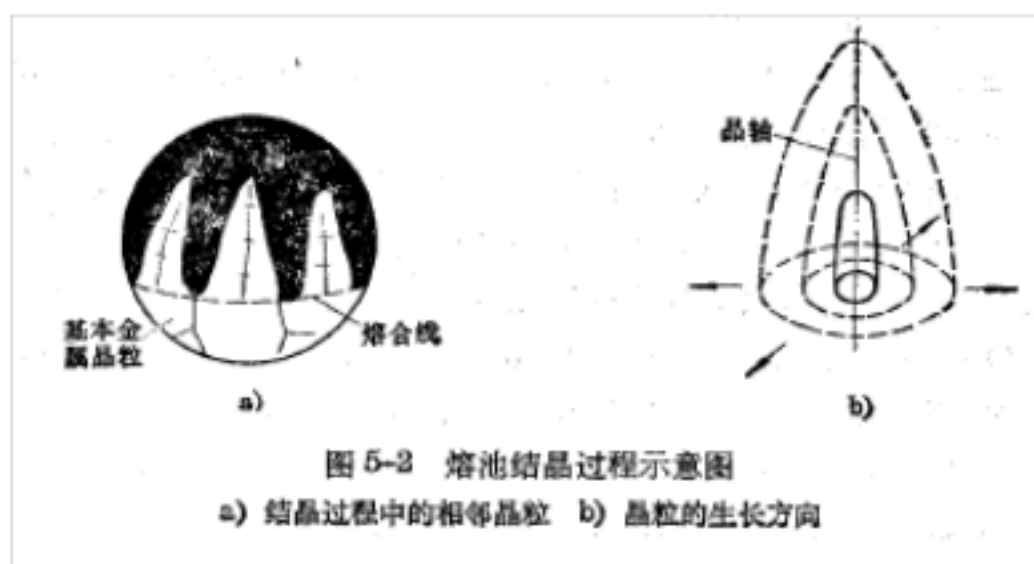
### 2、区域偏析

在整个焊缝金属范围内的合金元素分布不均匀的现象叫做“区域偏析”。

对整个焊缝来讲，先结晶的部分金属较纯，而后结晶的部分杂质及低熔点合金较多，因此造成区域性的偏析。因此在焊缝区域内，周边的金属较纯，而中心部分的金属低熔点合金及杂质较多，形成区域偏析。

影响区域偏析的主要因素：

- (1) 焊接材料 焊接材料的合金成分或杂质越多，则偏析越严重。低碳钢影响不大。
- (2) 冷却速度 冷却速度越快，则区域偏析越轻，但显微偏析越严重。
- (3) 焊缝的断面形状 截面形状深而窄，杂质易集中在焊缝的中心，易形成热裂纹。形状宽



晶  
象。  
能  
杂、  
区  
  
析



而浅，则低熔点合金集中于焊缝的顶端。不易产生裂缝（宽焊道多层焊）。

对于整个焊缝来说，区域偏析杂质相对集中，而显微偏析杂质相对分散。对于人以一条焊缝偏析的性主要取决于冷却速度，冷却速度大倾向于显微偏析，反之倾向于区域偏析。

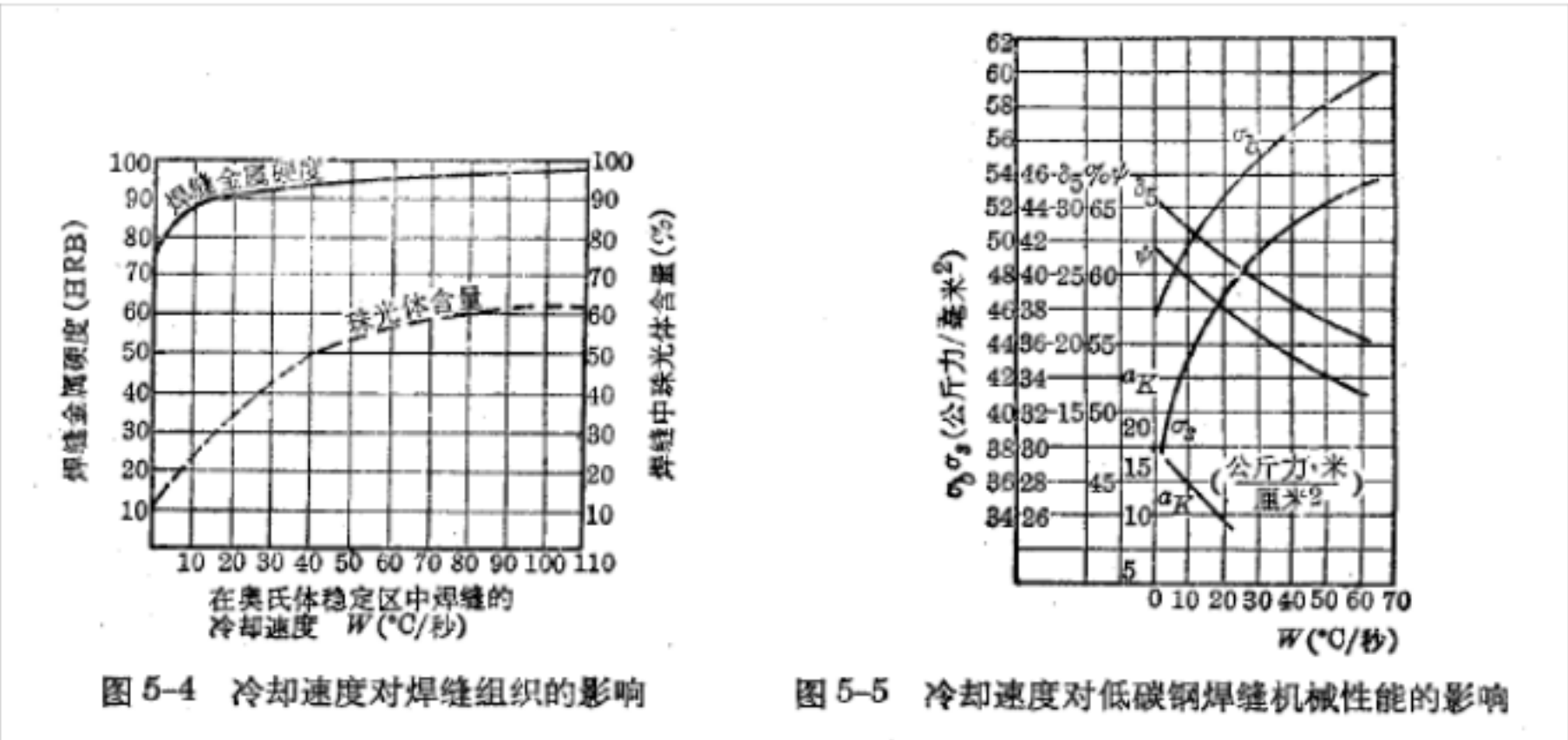
除此之外，焊接过程中还可能存在着火口偏析，所谓的火口偏析是由于在连续的焊接过程中的熔点杂质连续存在，而且在断弧处搅拌不够强烈而形成成份上的偏析，最后形成裂纹。通常这种裂纹就是火口偏析造成，即所谓的“火口裂纹”。

§ 3、焊缝金属的二次结晶

焊缝结晶以后，随着温度的继续冷却将产生二次结晶现象，例如：低碳钢高温下是奥氏体，当冷却到相变温度以下时，就变成了铁素体和珠光体的混合物，性能将发生很大变化。

表 5-1 冷却速度与焊缝金属的硬度和组织的关系					
冷却速度 (°C/秒)	组 织 (%)		含 碳 量 (%)		焊缝金属的硬度 HRB
	铁 素 体	珠 光 体	按总化学成分	在珠光体中	
110	38	62	0.13	0.18	96
60	49	51	0.13	0.22	93
50	40	60	0.14	0.21	91
35	61	39	0.13	0.27	90
10	65	35	0.14	0.33	88
5	79	21	0.13	0.47	83
1	82	18	0.15	0.82	83

随着冷却速度的不同，冷却后的两相比比例也不同，同样对焊缝金属的性能影响也不同。如：



低碳钢缓慢冷却以后，珠光体的含量很低，主要是铁素体，其硬度较低。但焊接时的冷却速度较大，因此焊缝中的珠光体的含量相对增高，焊缝的硬度就有所提高。（如下表）。

§ 4、热影响区金属的组织

焊接热影响区：由于焊接热的作用使得焊缝附近母材发生组织性能变化的区域。

热影响区根据离电弧中心的距离不同分为：熔合区、过热区、正火区、不完全重结晶区、再结晶区、蓝脆区。

蓝脆区：低碳钢中，在 200~500 之间加热，超显微的氧化物、氮化物，在晶界或晶间偏聚析出，使金属强度增加，而塑性、韧性下降。该现象称为“蓝脆”。因此该区域称为“蓝脆区”。

热影响区宽度的大小可以间接判断焊接接头的质量。一般来说，热影响区窄，则内应力大，容

易出现裂缝；热影响区越宽则，则变形较大。因此在工艺上应保证，在不开裂的条件下尽量减小热影响区的宽度。

热影响区宽度的大小，直接影响焊件的性能，而热影响区宽度的大小取决于焊接规范、焊件大小和厚薄、金属材料热物理性质以及接头形式等，其中焊接方法的影响最大。常见的焊接方法对热影响区大小的影响如下表所示：

§ 5、线能量对焊接接头的影响

线能量：焊接过程中，单位长度的焊接接头上所得到的热量（又称“单位能”）。

焊接线能量决定了单位时间内输入的热量，决定了接头的性能以及热影响区宽度。

假如焊接电弧产生的总热量为 Q 则：

表 5-2 各种焊接方法的热影响区尺寸				
焊 接 方 法	各 段 平 均 尺 寸 (毫米)			总宽度(毫米)
	过 热 段	正 火 段	不完全重结晶段	
手 工 电 弧 焊	2.2	1.6	2.2	6.0
埋 弧 自 动 焊	0.8~1.2	0.8~1.7	0.7	2.5
电 渣 焊	18.0	5.0	2.0	25.0
气 焊	21.0	4.0	2.0	27.0

$$Q = 0.24 I_h U_h$$

Q：总热量；  
I<sub>h</sub>：焊接电流；  
U<sub>h</sub>：焊接电压；

电弧功率的有效利用系数：（功率系数）则有效热功率为：

$$q = \eta Q = \eta 0.24 I_h U_h$$

q：有效热功率；

在焊接中有效热功率还和焊接速度有关，很明显，I<sub>h</sub>、U<sub>h</sub> 相同的条件下，加大焊速，工件的受热减轻，输入得线能量明显减小。

因此线能量为：

$$\frac{q}{v} = \eta \frac{0.24 I_h U_h}{v} \quad (\text{卡} / \text{厘米})$$

米)

$$\eta \frac{I_h U_h}{v} \quad (\text{焦耳} / \text{厘米})$$

有效系数 ( )：和焊接方法有关，手工电弧焊 =0.7~0.8、埋弧焊 =0.8~0.95、碳弧焊 =0.50~0.75、钨极氩弧焊 =0.50。而且弧长增加 值降低，电弧深入熔池或坡口内时 增高。

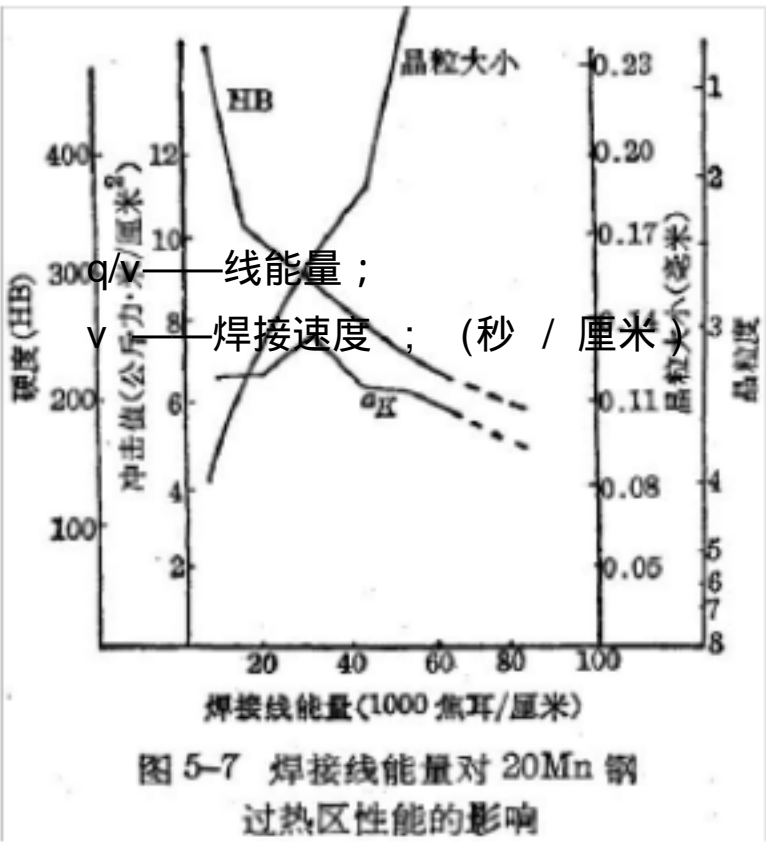
右图微线能量对 20Mn 钢热影响区性能的影响

由图可见，20Mn 钢（在板厚为 16mm、堆焊）线能量 q / v=3000(焦耳 / 厘米)时焊接热影响区的韧性最好。

对于焊缝金属线能量也有类似作用。

上述的影响只是一个方面，向统得线能量得到的结果也可能不同。如当 I<sub>h</sub> 很大，而 U<sub>h</sub> 很小时，焊缝窄而深；而适当的减小电流提高电压则能得到很好的焊缝成型，而性能以不同。

因此应在规范合理的原则下选择合适的线能量。



§ 6 焊缝中的气孔

气孔，就是气体在焊缝金属中形成的空穴（或孔洞）。

由于气孔的存在，使得焊缝的有效工作面积减小，因而降低了焊缝在工作是的力学性能特别是金属的塑性、韧性和弯曲性能，气孔亦可以使焊接结构形成应力集中，而引起整个焊接结构的破坏，所以气孔是焊接中的较严重的缺陷。

气孔的形状有球形、椭圆形、旋风形和毛虫形等。位置可以在焊缝内部，亦可以在焊缝表面，焊缝内部的称为“内气孔”，而表面的称为“外气孔”。气孔的大小可以从显微尺寸到直径为毫米的量级。气孔的分布可以是单个的，以可以是密集的或连续的。

一、 焊缝中气孔的产生过程

1.气体的来源：

熔池周围的空气、药皮或焊剂放出的气体、冶金反应产生的气体以及焊件上的铁锈、油污分解产生的气体。

这些气体不断和液体金属反应，进入熔池，使液体金属内部吸收了大量的气体，而这些气体在冷却结晶时要析出，如果冷却速度较快，来不及浮出熔池以外，而是被冷却的金属固定在熔池以内即形成气孔。

右图为一个大气压下，氢和氮在钢中溶解度随温度变化而变化的曲线。

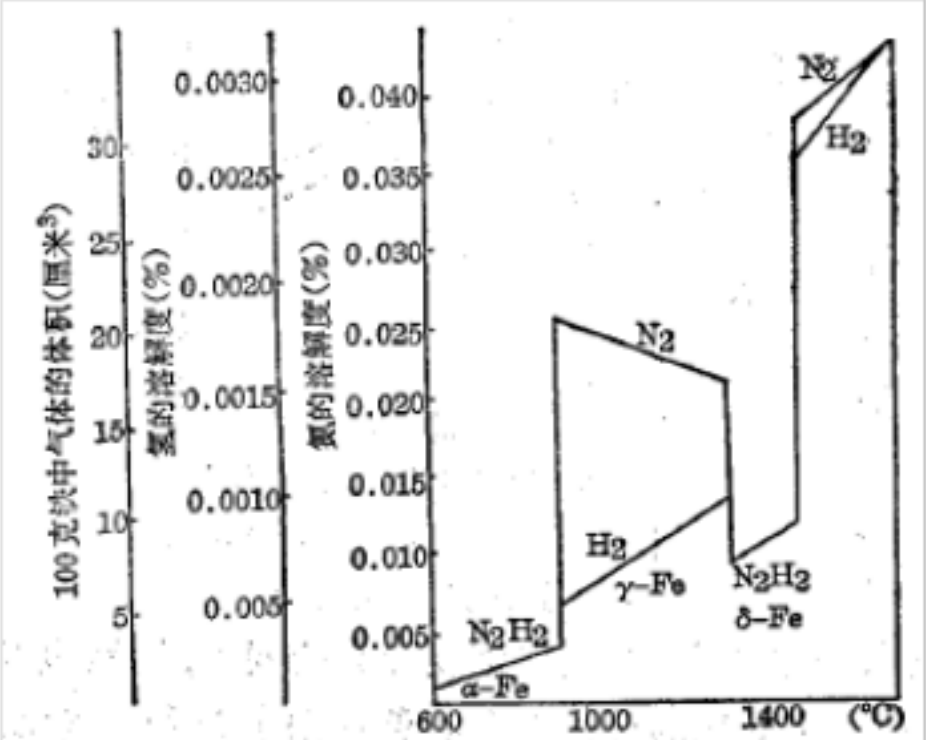


图 5-8 压力为一大气压时氮和氢在铁中的溶解度

2、气体的吸收过程

由于焊接熔池周围分布着许多气体，这些气体在金属表面上有很大的晕运动速度（如：氧在 5000 时可达 20000 米/秒），这些气体很快分解，由分子状态转变为原子状态并被金属熔滴所吸附，同时，向金属内部扩散和溶解。气体基本上是以原子态溶解到熔吃紧数中去的，而且温度越高，金属溶解的气体越多（如上图），为气孔的形成创造了条件。

焊接条件下，气体能加速在金属中溶解气原因是：

- （1） 熔滴体积小，和气体接触的比面积大，吸附气体的相对量较多。
- （2） 熔池中进行着复杂的冶金反应，因而有强烈的搅拌作用。
- （3） 熔池的温度高，金属的粘度小，有利于气体的扩散与溶解。

3、气体的排出过程

溶入金属的气体只有释放出来才能形成气孔。 气体由金属中析出主要是以气泡的形式完成。而形成气泡的必要条件是：

$P_q > P_w$

$P_q$  ：析出气体的压力；（ Mpa ）  
 $P_w$  ：外界压力；（ Mpa ）

$P_q$ 是金属中析出气体分压力的总和，即：

$P_q = P_{Co} + P_{H_2} + P_{N_2} + P_{H_2O} + \dots$

是气泡生成的动力。

$P_w$ 是外界压力的总和，即：

$P_w = P_d + P_j + P_{zh} + P_f$

$P_d$ ：大气压力；  
 $P_j$ ：气泡上方金属柱的压力；  
 $P_{zh}$ ：气泡上方熔渣柱的压力；  
 $P_f$ ：气泡形成时产生的表面张力；

但因  $P_j$ 、 $P_{zh}$  很小，可忽略，且  $P_f = \frac{2}{r}$ ，故

$$P_w = P_d + \frac{2}{r}$$

: 在金属和气体界面上金属表面张力系数  
r : 气泡半径 ( mm )

对于钢而言， $\sigma = 1000$  尔格 / 厘米<sup>2</sup>， $r = 10^{-4}$  厘米时

$$P_f = \frac{2}{r} = \frac{2 \times 1000}{10^{-4} \times 981 \times 1000} = 20.4 \text{ (大气压)}$$

略去  $P_d$  (1 大气压)，则  $P_w$  为 20.4 大气压。  $P_q > P_w$  这样大的气体压力使焊接时很容易生成气孔。

以上是形成气孔的条件之一，而形成气孔的第二个条件是：气泡的逸出速度。

气泡的逸出速度可用下式表示：

$$v = \frac{2}{9} \frac{(\rho_1 - \rho_2)gr}{\eta}$$

v :	气泡上浮速度	( mm/s )
$\rho_1$ :	液体密度	( g/cm <sup>3</sup> )
$\rho_2$ :	气泡内气体的密度	( g/cm <sup>3</sup> )
g :	重力加速度	( 980mm/s <sup>2</sup> ) ]
$\eta$ :	介质粘度	( g/mms )

由此可以看出：

- ( 1 ) 外界压力  $P_w$  越大，而析出气体的压力  $P_q$  越小时，越易形成气孔。
- ( 2 ) 熔池的深度越大，外界的压力越大，气体由金属内服出越困难，越易形成气孔。
- ( 3 ) 气泡的直径越小，附加压力越大浮出速度小，越易形成气孔。
- ( 4 ) 金属的密度大，气泡容易浮出，不易产生气孔。故焊接轻金属使易产生气孔。
- ( 5 ) 液体金属的粘度越大，气体上浮困难，越易产生气孔。

同时气孔的形成还和金属的结晶速度有关，结晶速度过快，则气体上浮困难，易形成气孔。

由以上分析可见，气孔生成的根本原因是：由于焊缝金属吸收了过多的气体，（或由于某些冶金反应产生的气体超过了该金属的溶解度），在金属冷却时，气体在金属中的溶解度要下降，气体要析出，由于碰到了结晶金属的阻碍，而不能全部浮出，便依附在晶粒或夹杂上形成了气孔。

## 二、影响焊缝中形成气孔的因素

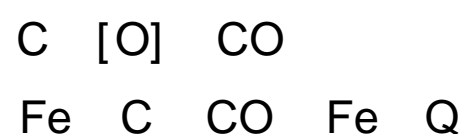
### 1. 气体和合金成分对气孔生成的影响

主要有 :CO、H<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>

#### (1) 一氧化碳的影响

熔池中 CO 的来源：

- 1) 来自焊丝金属、保护气体或药皮。
- 2) 来自熔池金属。熔池中的液体金属直接被空气氧化或通过冶金反应产生的



上述反应在熔滴过渡过程中和在熔池中都能进行。通常由于 CO 不溶于液体金属，故一旦形成就迅速从熔池中析出。但是在焊缝开始结晶或结晶过程中，如果出现 C 和 FeO 的偏析，出现局部的高碳和高 FeO 的现象，仍然还会有 CO 的形成，而此时金属以开始冷却温度降低，粘度增加，而且这一反应由是吸热反应，加速了熔池的冷却速度，因此这时形成的 CO 来不及从液体金属中析出，因此而形成了 CO 气孔。

#### ( 2 ) 氢的影响

熔池中 [H] 的来源

熔池中 [H] 的来源很广，可以是药皮中吸收的水分、某些化合物组成物中的结晶水、工件表面的杂质或油污。也可能有冶炼过程中残留的。

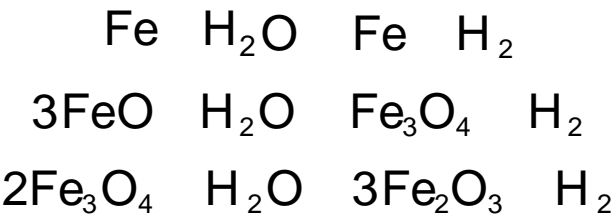
在电弧的高温作用下，H<sub>2</sub> 分解为原子 [H]，并以原子或正离子的形式溶解于熔池金属中，从

而促使金属为氢所饱和。在冷却结晶的过程中，氢在金属中的溶解度下降，使金属中的氢过饱和，这时氢便析出。析出的氢入遇到非金属夹杂物时，便形成气泡，猛烈地向外排出。

有时，由于氢的溶解度变化最剧烈的温度恰恰和金属的结晶温度比较接近，故此时大量向外放出氢，而此时金属已处于结晶状态，粘度很大气体不易排出，便形成气孔。

在焊接钢焊件时，如果工件表面有铁锈存在时，则对产生气孔较敏感。

因为铁锈是金属氧化物的水化物，分子通式一般为  $m\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  由此可见铁锈中含有大量的结晶水。当电弧温度作用下，发生下列反应：



因此，在此条件下，氢便是焊接有锈金属时形成气孔的主要原因。

钢焊件焊接时生成的气孔究竟是那个类型的，还要具体情况具体分析。

如表面呈旋风形的气孔或内部呈圆球形的气孔时由氢引起的。

沿结晶方向呈长条形，在内部呈椭圆形的气孔，一般是  $\text{CO}$  造成的。

用碱性焊条焊接有油污、锈斑或有铁锈的金属，或用受潮的焊条焊接时，一般多产生氢气孔。焊接合金结构钢、不锈钢或铝合金时，主要是氢气孔。而焊接中、高碳钢，则多是  $\text{CO}$  孔。

(3) 氮的影响

氮的来源：氮主要是来源于空气，基本金属和焊丝中含量不高。在钢中主要是以氮化物、固溶体及气态形式时存在。

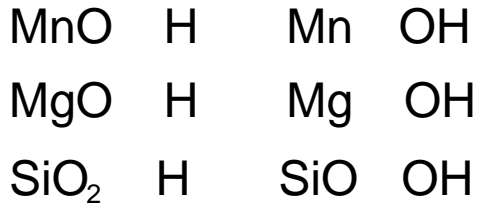
引起氮气孔的起因和氢相似，都是因为钢中的溶解度的变化，析出的氮来不及排出，而形成的。

氮气孔的形成原因主要是：焊接过程中保护不好，空气溶入溶池造成的。

(4) 氧的影响

焊接区的氧主要是来源于空气，其次是药皮中的高价氧化物的分解。

从生成气孔的角度讲，氧可以抑制氢的作用，从而减少氢气孔。这是因为氧可以和高温下和形成  $\text{OH}$  的稳定化合物，而  $\text{OH}$  是不溶于金属的。如：



由上述反应式可以看出，有大量的氢原子被氧束缚，形成了在高温下稳定的化合物，因此减少了产生氢气孔的可能。

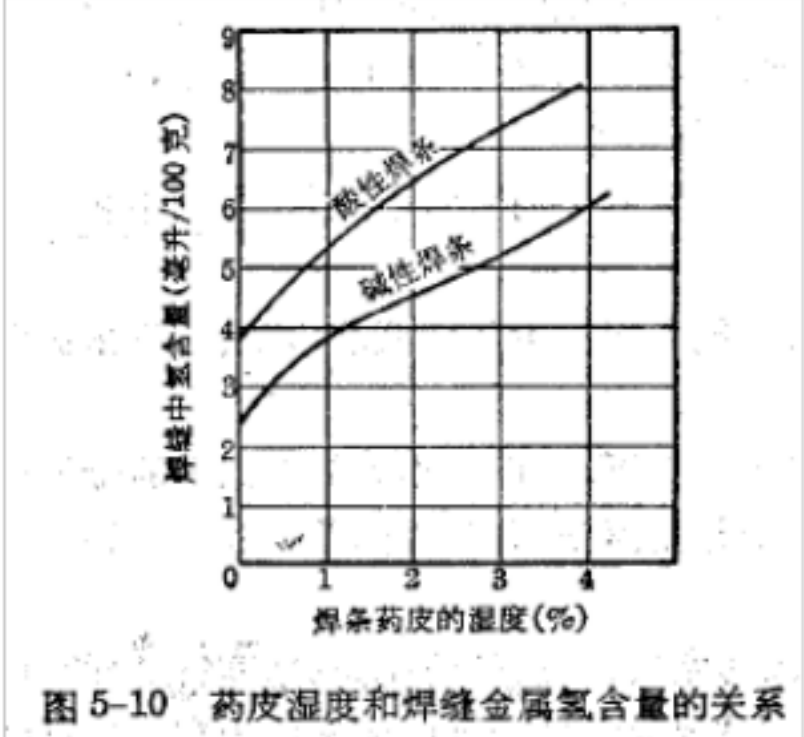
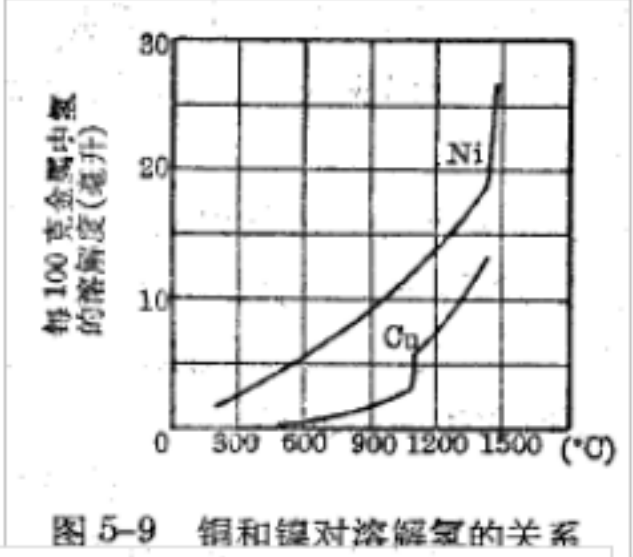
(5) 合金成分的影响

在焊接过程中，如果溶池中焊氢量较少  $\text{CO}$  较多时，在酸性焊条中加入钾、钠、钙等元素可以减少  $\text{CO}$  气孔。（脱氧作用）。如果含氢量较大时，则会增加氢气孔（妨碍了  $\text{OH}$  的形成）。

另外， $\text{Mn}$  和  $\text{Si}$  对气体的溶解度影响不大，而  $\text{Ni}$  和  $\text{Cu}$  会使铁水在高温条件下增加  $\text{H}_2$  的溶解度，但温度下降会使溶解度突变式下降，产生氢气孔的可能性增加。

$\text{Ni}$ 、 $\text{Ti}$ 、 $\text{V}$  元素存在时，随着温度的下降，氢在金属中的溶解度会逐渐增加，减少氢气孔的形成。

在寒风中加入合金元素，用来防止气孔是受到一定限制的，因为合金元素一般都会使焊缝强化，只有在不影响焊缝的强度、塑性及产生裂缝



倾向的条件下，才可应用。

2. 焊条药皮和焊剂的影响

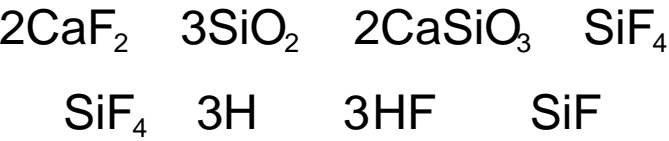
(1) 焊剂和焊条药皮的成分对生成气孔的影响

药皮中加入萤石可以控制氢气孔的形成，因为萤石中含有 F 元素它可以和氢作用直接生成 HF 直接排除。下表给出了 CaF<sub>2</sub>和出现气孔之间的关系：

表 5-3

CaF <sub>2</sub> (%)	焊缝中出现气孔(个)
0	13
3	6
6	0
9	0

药皮中 SiO<sub>2</sub> 和 CaF<sub>2</sub> 同时存在，也可以减轻气孔的形成，因为：



由右图可见， SiO<sub>2</sub> 和 CaF<sub>2</sub>对气孔形成的联合影响。

单纯的 SiO<sub>2</sub>可以减少 CO气孔，因为 SiO<sub>2</sub>时酸性氧化物，而 FeO时碱性氧化物，相遇后可以形成复合氧化物，减少了 FeO,继而减少了 CO形成，故减少了气孔。

此外， MnQ MgO都可以减少气孔，因为 MnQ MgO可以部分代替 CaO,因为 Mn和 Mg对氧和氢的亲合力小于 Ca，故氧和氢优先形成 OH,可以高温存在，占去了氧和氢，因此减少了气孔深各个可能性。

(2) 焊接粒度对生成气孔的影响

焊剂粒度太小，透气性不好，气体不易排出，而且粒度小易使熔深加大，熔池的长度和宽度减小，气体的排出通道减小，也易生成气孔。焊剂的颗粒过大，保护效果差，容易使外界气体进入熔池，也易生成气孔。焊剂粒度在 0.6~1.2mm 为最佳 。

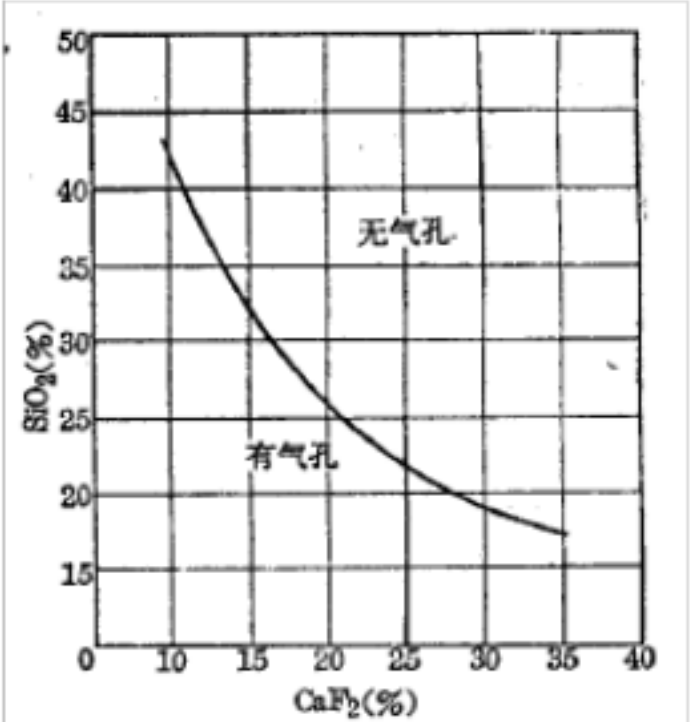


图 5-11 CaF<sub>2</sub> 和 SiO<sub>2</sub> 对抗气孔的作用

3、工艺因素的影响

(1) 焊接方法的影响

- 1) 埋弧自动焊，熔池的熔深大，产生气孔的倾向大。应正确选择焊接工艺规范。
- 2) 气焊 O<sub>2</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 较多，以生成 CO气孔，但气焊熔池存在时间长，故气孔焦电弧焊少。
- 3) 惰性气体保护焊，只有在保护较差时，亦可形成气孔。

(2) 焊接速度及冷却速度

一般的讲，焊速快，冷却速度快，容易产生气孔。原因在于，气孔的形成很大程度上决定

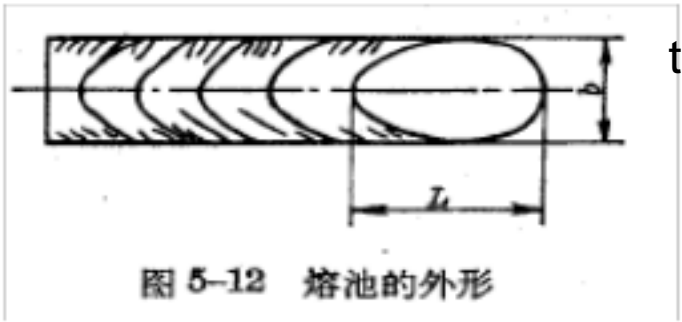


图 5-12 熔池的外形

$$t = \frac{L}{v} = \frac{KU_h I_h}{v}$$

L——熔池长度；见左图（ mm ）；

v——焊速（米 / 时）；

I<sub>h</sub>——焊接电流（安）

U<sub>h</sub>——电弧电压（伏）

K——常数；

于气体由焊缝中浮出的速度，而此速度很大程度上决定于熔池存在时间 t

- 1) 电弧功率不变时， v 越大，则 t 越小，熔池存在时间短，易生成气孔。
- 2) 焊速不变，增加功率，熔池存在时间长。减少气孔。但易烧穿工件，应合理增加 。

(3) 电弧长度

- 1) 手工电弧焊，弧长增加气孔率增加。
- 2) 埋弧自动焊，焊剂中含有 CaF<sub>2</sub> 较多时，适当增加弧长，则焊剂熔化量增加，气孔减少。但增加弧长，必然影响熔化深度。故应在保证焊缝成型的条件下，增加弧长。



(4) 极性影响

实践证明，直流反接可以减少气孔。

实际上氢在焊接过程中，使易正离子形式存在，而直流反接时，熔池为负极，由于焊接重  
负极向熔池发时电子，因此， $H^+$ 离子接收电子形成氢原子，阻碍了金属的吸收，故可以减少产生  
气孔的氢向。所以反接是防止气孔比症结是有利。

(5) 焊件表面杂质的影响

焊件表面含有杂质，在高温作用下可分解出  $CO$   $H_2$ 、 $H_2O$ 等气体成分，故容易产生气孔。

三、酸性焊条和碱性焊条产生气孔的一般规律

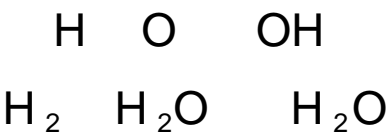
1. 酸性焊条

酸性焊条，药皮氧化性增加，会增加焊缝的内气孔。还原性增加，会增加焊缝表面的麻点，  
或外气孔。这是一般酸性焊条的一般规律。

原因：氧化性强的药皮，会加剧电弧气氛中的氧化性，使脱氧元素过量烧损，多余的  $O$ 和  $C$   
反应，生成  $CO$ 气孔。通常这种气孔较小分散于焊缝内部。



然而，氧还可以和氢反应，如：



所生成的  $OH$   $H_2O$  均不溶于液态金属，可在焊接过程中排  
除，可抑制氢气孔。右图为焊缝中氢和氧之间的相互关系。

由此可见，增加了酸性焊条的还原性，会使溶解在液态金  
属中的氢元素增加，会增加氢气孔发生的倾向。

氢气孔的特征时，尺寸较大，不象  $CO$ 气孔那样分散，且常出现在罕见的表面。

药皮中的含水量过大，也会形成气孔，主要是氧化性过大形成  $CO$ 气孔。

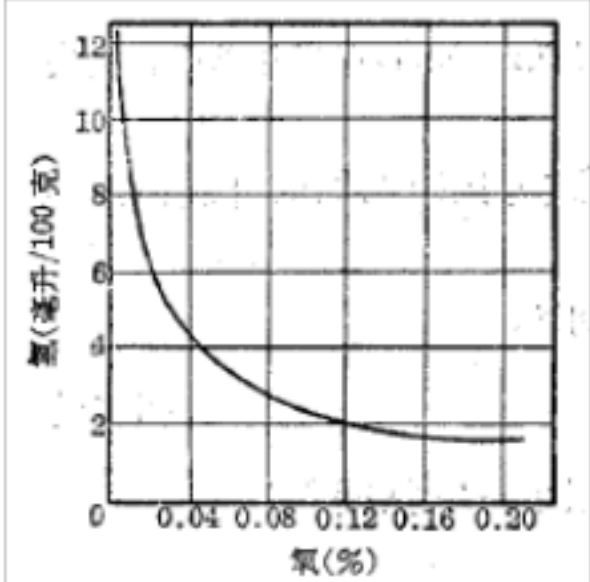


图 5-13 焊缝中含氢量  
和含氧量的关系

表 5-4 焊条药皮中含水量和焊缝中产生气孔的情况

焊条药皮中含水量 (%)	焊 缝 成 分		气 孔
	Mn(%)	Si(%)	
2.9	0.29	0.085	有 内 气 孔
0.66	0.51	0.1	无
0.2	0.68	0.15	无

由上表可见，药皮中的含水量过大，则主要是  $Si$ 、 $Mn$ 烧损严重，气氛的氧化性增加，因而  
形成内气孔（主要是  $CO$ 气孔）。

有时，焊条药皮中（焊件边缘）含水量过多也可能形成氢气孔。原因如前面氢的影响所述。

总之，酸性焊条产生两种气孔的可能性都存在，但它对氧化性气体不是很敏感。

2. 碱性焊条

碱性焊条是依靠药皮中的  $Ti$ 、 $Si$  和近来脱氧的，如果电弧中的氧化性增加，则合金元素烧  
损严重，易产生  $CO$ 气孔。

另一方面，碱性焊条药皮增加氧化性并不能减轻发生氢气孔的倾向。它主要是依靠  $CaF_2$  抑  
制氢的作用，只有药皮中的  $CaF_2$ 的焊量大于 6%才能有效的控制氢气孔。

由此看来，碱性焊条一般不会产生氢气孔。

四、防止产生气孔的方法

1. 工艺措施

(1) 消除产生气孔的气体来源

仔细清理焊件表面，不应有油污，铁锈的杂物（被焊工件焊口两侧 20~30mm 范围内）。

焊丝不应生锈，焊条、焊剂要清洁、干燥。（含水量不大于 0.1%）。焊前要烘干。

#### （2）加强熔池保护

焊条药皮不应脱落，焊剂或保护气体送给时不应中断，短弧焊接时，电弧不得随意拉长，装配间隙不宜过大。注意引弧。

（3）正确运用焊接操作工艺 注意尽量创造有利于气体浮出熔池表面的条件（预热、直流反接、电弧搅拌等）。

### 2. 冶金措施

#### （1）适当控制焊条药皮的氧化性与还原性。

主要目的是限制氢的溶入，而且要防止 CO 气孔的生成。

酸性焊条中适当增加气氛的氧化性可以控制氢气孔（主要时形成 OH）。

碱性焊条中可以加强脱氧，以控制 CO 气孔（由于  $\text{CaF}_2$  的存在一般不会生成氢气孔）。

#### （2）在焊剂中适当加入合金剂及造渣剂

适当增加  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{MgO}$  等化合物可以减少 CO 气孔。

适当减少  $\text{CaO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{FeO}$  的含量，增加  $\text{CaF}_2$ 、 $\text{SiO}_2$  成分，以减少氢气孔。

#### （3）调节熔渣的粘度

适当加入  $\text{CaF}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{MnO}$  等，以降低熔渣的高温粘度。

#### （4）适当调整 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CaF}_2$ 比例以保证气孔产生倾向最小。（表 5—11）

## § 7 焊接时的裂缝

焊缝是焊接生产中的一个重要问题，这就要求我们掌握焊接生产中产生裂缝的规律，并结合具体的生产条件，提出经济有效的防止裂纹的措施。

在焊接过程中出现的裂缝时多种多样的，有的在焊缝表面，有的在焊缝的内部，有的产生在焊缝中，有的产生在热影响区中。

凡平行与焊缝的统称为“纵向焊缝”，凡垂直与焊缝的统称为“横向焊缝”，而产生在收尾处弧坑的裂缝，称为“火口裂缝”或“弧坑裂缝”。

根据裂缝产生的情况，焊接裂缝归纳为三类即：热裂缝、冷裂缝和在热裂缝。

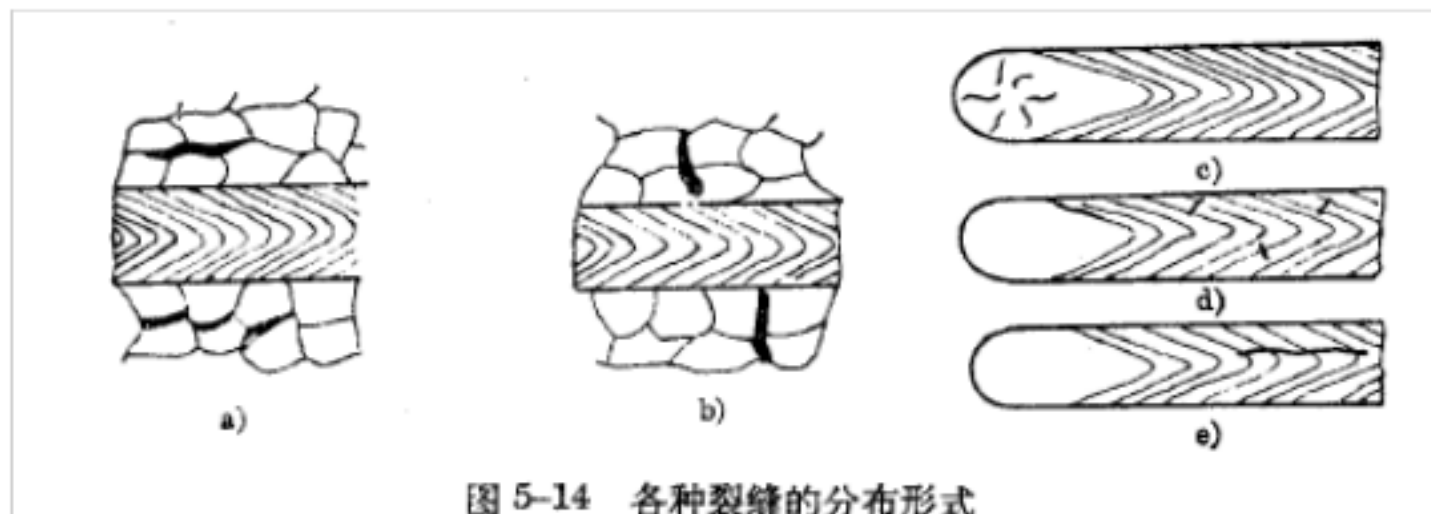


图 5-14 各种裂缝的分布形式

### 一、热裂缝

#### 1. 热裂缝的特点

##### （1）产生的温度和时间

热裂缝一般产生在焊缝结晶过程后期，所以又叫“结晶裂缝”。因此，热裂缝是在高温下形成的，而在冷却过程中扩大的裂缝。

##### （2）产生的部位

热裂缝绝大多数产生于焊缝金属中，有横向的，有纵向的。发生在弧坑部位的多是放射状的。有时热裂缝也可以扩展到基本金属中去。

##### （3）外观特征

热裂缝或者处在焊缝中心，或者处在焊缝两侧，其方向与焊波线垂直一般有明显的锯齿状，凡露出表面的热裂缝都有明显的氧化色。

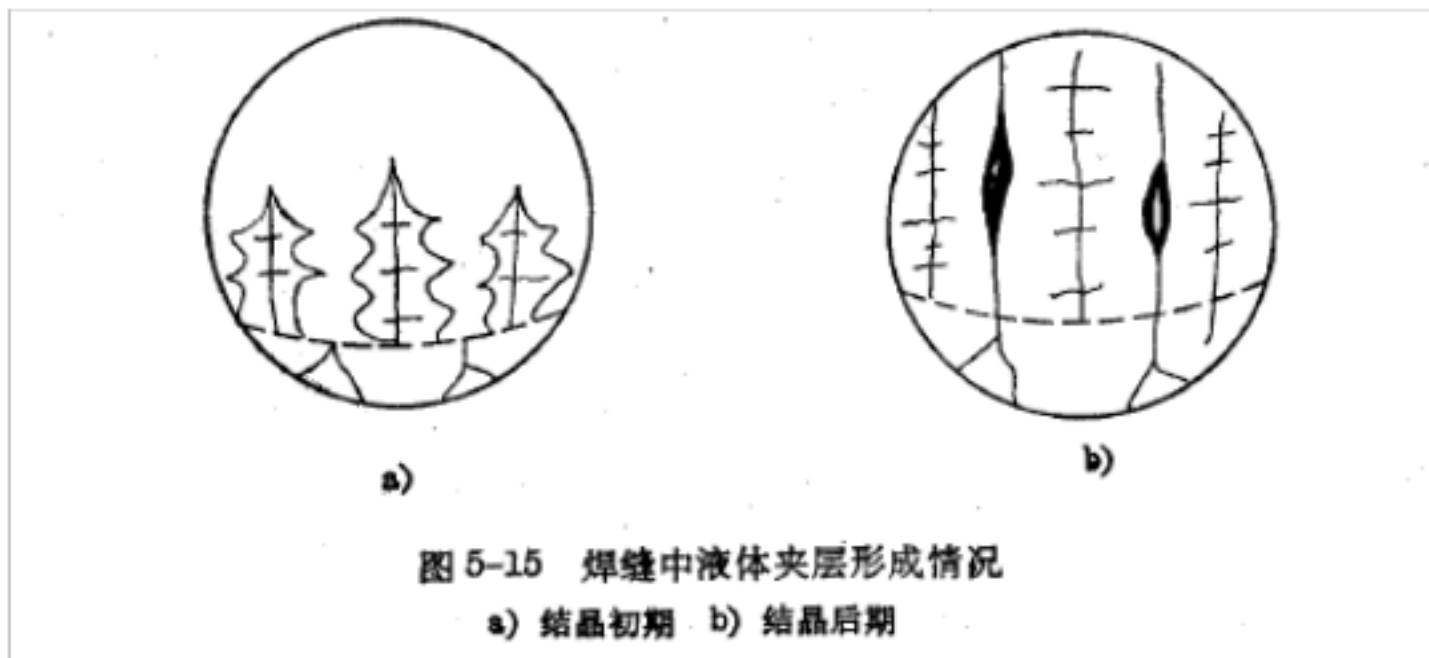
##### （4）金相结构上的特征

热裂缝是沿晶界发生并发展的，而且是曲折的。

## 2. 热裂缝产生的原因

在焊缝结晶的末期，焊缝的主体已经基本结束，而在晶界处如有液态的低熔点合金的存在，形成液态间层，在收缩应力的作用下，已经结晶的金属沿晶界处被拉开而形成裂缝。

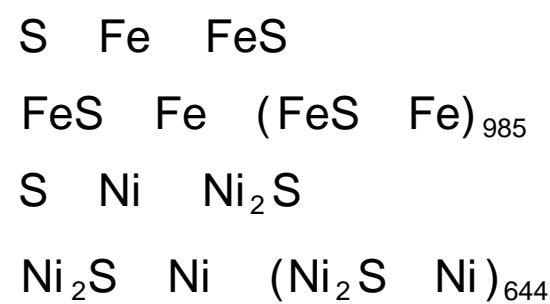
在结晶的初期，由于液体金属的量较多，一旦形成裂缝液态金属迅速补充，形成所谓的“医疗作用”，而使热裂缝得到医疗。故不会形成“热裂缝”。



## 3. 防止热裂缝的措施

### 1) 硫的影响

S 在合金中主要是容易形成低熔点合金，当焊缝其它部分完全结晶以后这些低熔点的液体仍存在晶界上，在应力的作用下形成热裂缝。



硫和镍的共晶熔点更低，因此在焊接含有镍的合金钢时，当 Ni 和 S 在晶界上偏析时，更容易出现热裂缝。因此要严格控制硫的含量。

### 2) 碳的影响

碳的影响主要在于，碳增加了焊缝金属以及热影响区的脆性倾向，时焊接中应力增大。

碳还可以和铬、镍的元素形成低熔点共晶。

当碳和硫共同存在时，碳可以降低硫在钢中的溶解度，是硫更容易析出。

因此，碳含量增加，更有利于热；热裂缝的形成。

### 3) 锰的影响

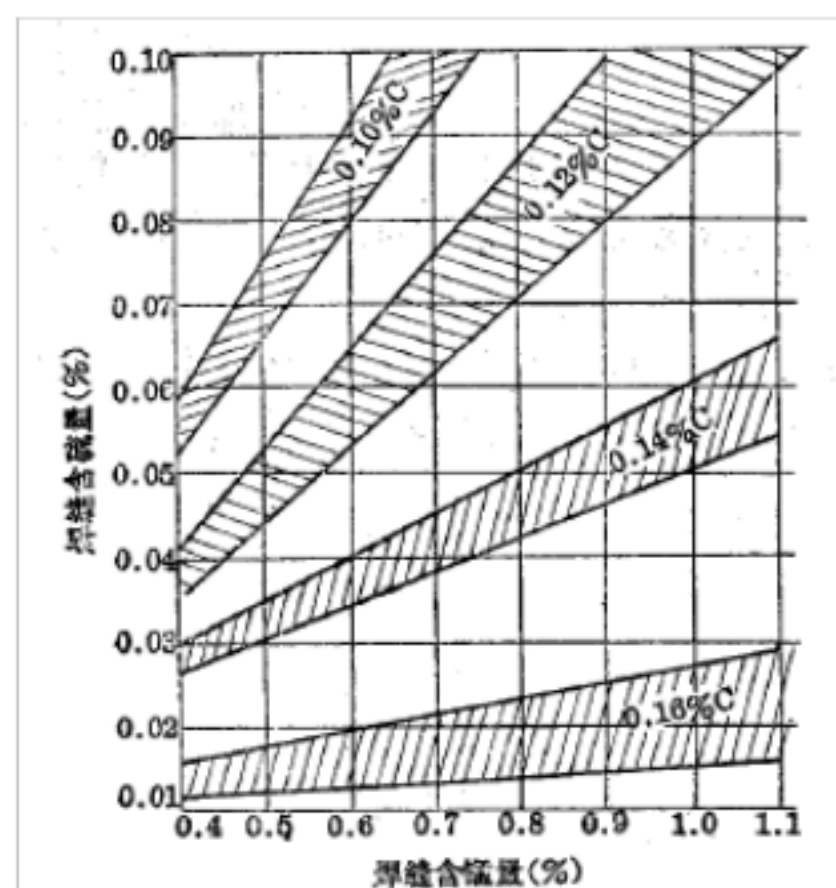
锰可以限制硫的作用，但锰过量，将使基体的强度增加。

右图为碳、锰、硫对焊缝金属对抗热裂缝的影响。

图中阴影部分是，容易产生热裂缝的区域，有图还可以看出，假如锰元素有降低热裂缝的能力，原因在于锰可以和硫反应形成硫化锰，而硫化锰的熔点为 1650，有不予其它金属形成低熔点共晶，因此在焊接时首先结晶，就不会再形成液态夹层，而形成热裂缝了。但锰也由是焊缝脆化的倾向，因此，猛地加入量也是受到一定的限制的。一般锰含量小于 2.5%是均可以起到有利的作用。

### 4) 硅的影响

焊缝中硅的作用和碳相似，硅也可以和碳形成低熔点共晶，也可以降低硫在钢中的溶解度，促进热裂缝的形成。但硅对金属产生热裂缝的影



响比碳要弱的多。

总之，减小液态夹层的形成倾向是减少热裂缝形成的关键因素，应注意以下几点：

1 尽可能限制基本金属的杂质含量；

一般对于钢和低合金钢  $S = 0.025 \sim 0.045\%$ ；焊丝钢  $S < 0.03\%$ ；焊接高合金钢焊丝  $S = 0.02\%$ ；

2 尽量降低焊缝的含碳量

焊接碳钢的焊丝含碳量一般都小于  $0.11\%$ ，焊接低合金高强度钢时，含碳量也要尽量降低，而由此带来的强度降低，将由加入其它合金元素来弥补。

3 提高焊丝的含锰量

提高含丝的焊锰量对抑制，焊缝的热裂缝有较明显的作用。如  $CO$  气体保护焊的焊丝， $08Mn2SiA$ ，含锰量达到  $2\%$ ，对消除热裂缝是有利的。

(2) 改变焊缝的组织状态

为了使焊缝在拉应力下不发生裂缝，调整焊缝的化学成分，打乱焊缝金属的结晶方向，使低熔点共晶不能集中分布，应采取下列措施：

1) 变质处理

在焊缝中加入变质剂，是焊缝柱状晶细化，晶界增多使低熔点合金分散分布。可以明显减轻焊缝产生热裂缝倾向。

所谓变质处理，就是想办法向熔池中加入一些，形成高熔点质点的元素，冷却结晶时增加结晶核心是晶粒细化。这些元素被称为“变质剂”。

通常假如的变质剂为， $Ti$ 、 $Al$ 、 $Zr$ 、 $B$  等元素，稀土金属铈、镧作用也很好。其中  $Ti$  的应用最广。

这些元素在钢中通常以微小的氧化物或碳化物的形式存在，起到增加结晶核心的作用。

2) 形成双相组织

在焊接单纯奥氏体组织的材料时（如  $Cr18Ni8$  型不锈钢），往往让其形成奥氏体、铁素体双向组织可以减轻热裂纹倾向。原因是单相奥氏体焊缝晶粒粗大，晶界较集中，液态夹层较厚并集中在晶界上，故容易引起热裂纹。

当焊缝为双向组织时，在奥氏体析出的同时，

铁素体也析出因此晶粒较多，并细化，且铁素体分布在晶界上，使得液态夹层分散，可以减轻热裂纹的倾向。

但是，铁素体的出现会影响焊缝的力学性能，因此一般双相焊缝中，铁素体的含量应控制在  $5\%$  左右为宜。

合金元素对焊缝组织形成铁素体的能力强弱顺序为：

铝、钛、钒、硅、钼、铌、钨、钼。

这些元素在应用时应综合考虑，其和焊缝金属之间是否易形成低熔点共晶，否则将增加热裂倾向。

(3) 消除热裂缝的工艺措施

1) 控制焊缝形状

焊缝的形状不同，杂质的集中位置不同，焊缝深而窄，则杂质易集中于焊缝中部，浅而宽，则杂质集中于焊缝表面。如右图；a) 焊缝过深，杂质集中在焊缝中心；

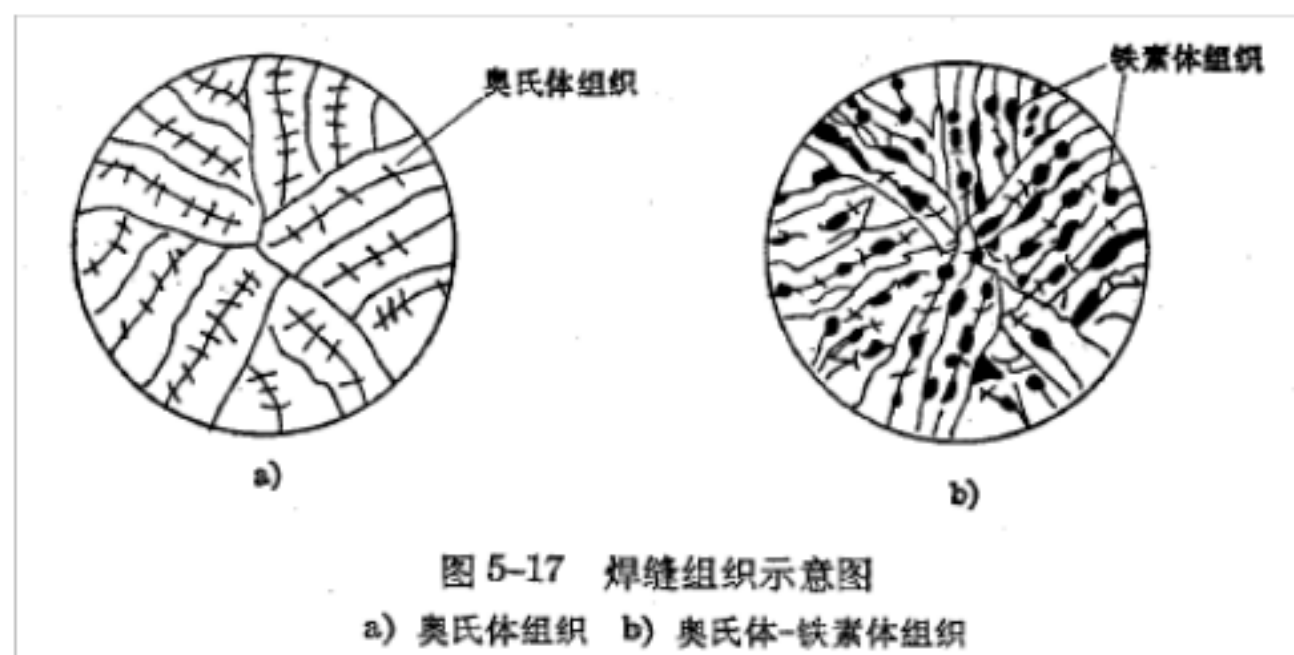


图 5-17 焊缝组织示意图

a) 奥氏体组织 b) 奥氏体-铁素体组织

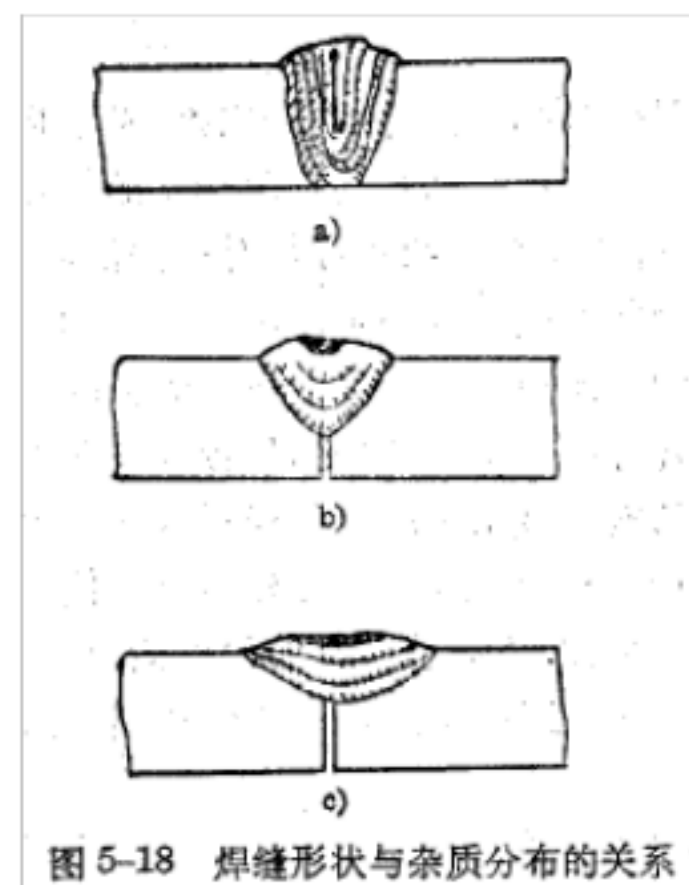


图 5-18 焊缝形状与杂质分布的关系

b) 焊缝适当，既把杂质推向焊缝表面，又有足够的焊缝强度，且结晶方向也得到了改变。

c) 焊缝过浅虽把杂质推向了焊缝表面，但焊缝过浅，强度差，仍易产生裂纹。

我们可以采用适当的焊接工艺规范活操作方法，以改变焊缝形状，继而将低熔点共晶等杂质在焊缝结晶时推向焊缝表面。以减少这些杂质形成裂纹的危险作用。

在焊接中，焊缝的宽度  $b$  和熔池的深度  $h$  之比被称为“形状系数”。以符号“ $\beta$ ”表示。

右图为焊缝形状系数、含碳量对焊缝抗裂性能的影响。

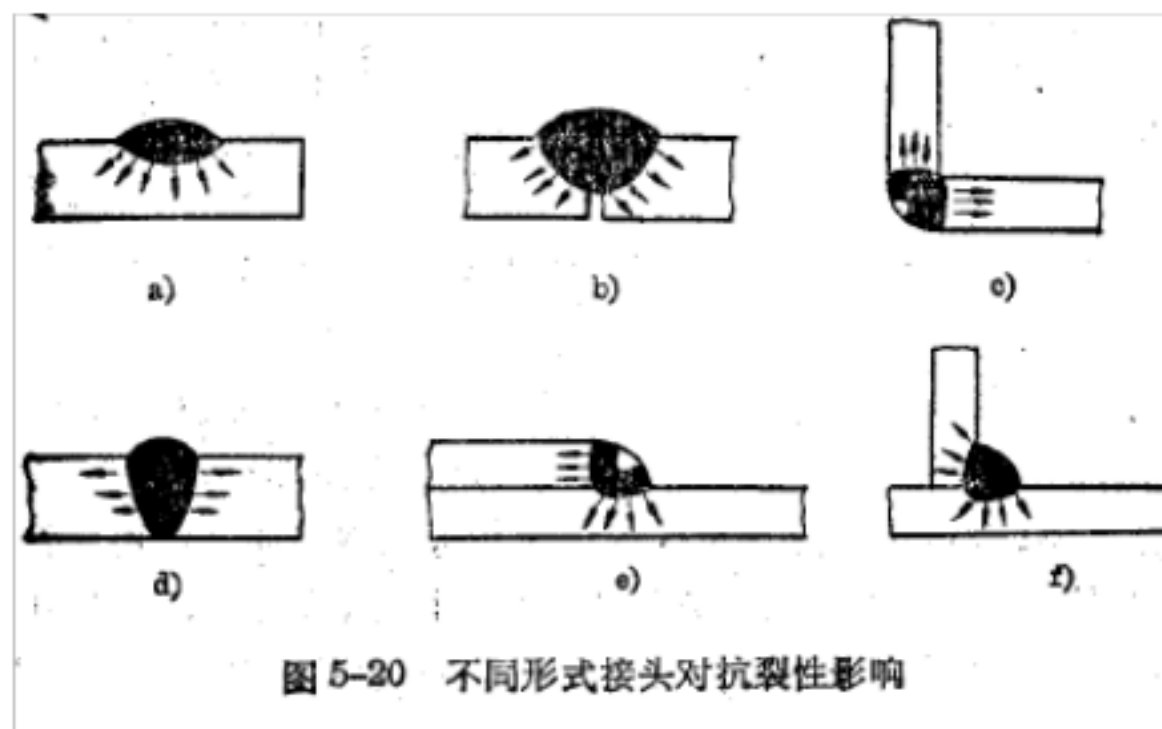
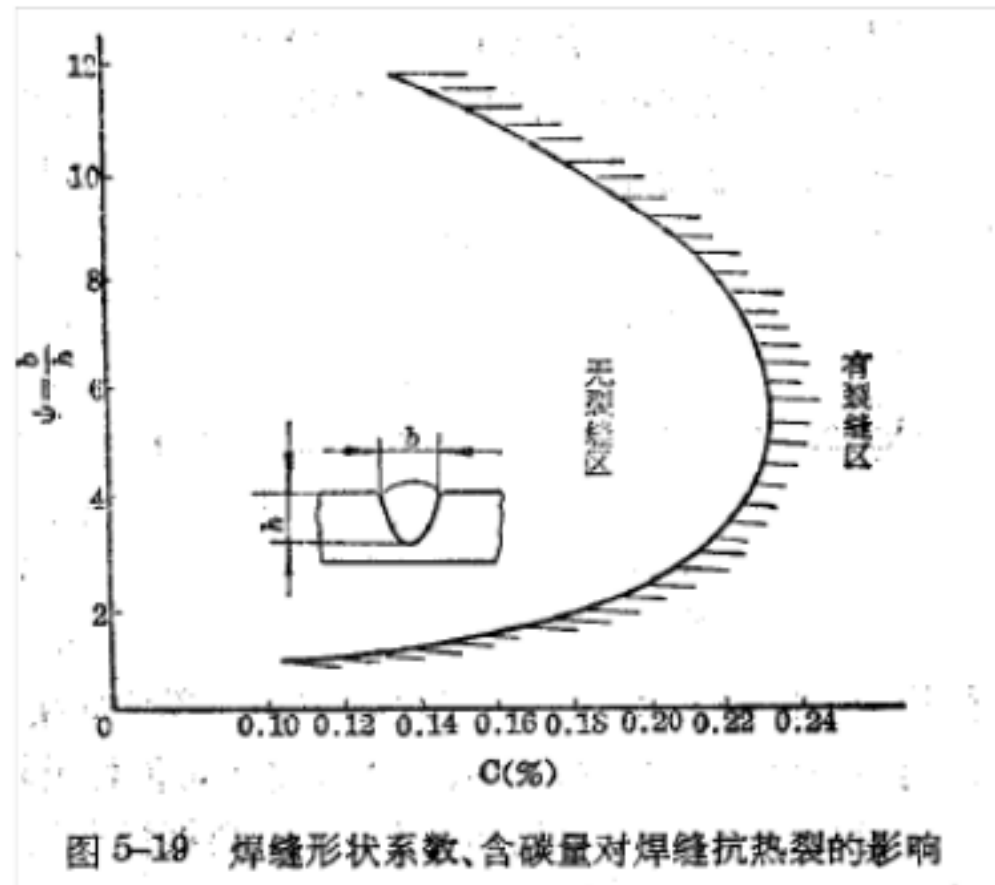
由图可见，焊缝形状系数过大过小对抗裂性能都不好。

另外，收弧的弧坑处也是容易开裂的地方，易形成火口裂纹。其原因是杂质及低熔点合金易在此处聚集。焊接收尾时应注意将弧坑填满。

## 2) 减少拉应力的作用

拉应力是形成热裂纹的外因，因此，减少拉应力，可以有效地减少热裂纹。

### 1 合理设计产品结构



上图中，a、b、c 图结构焊缝金属结晶处于有利状态，结构合理。而 d、e、f 焊缝处于不利于结晶的状态，结构不合理。易出现裂纹。右图，a) 不合理、b) 合理。

## 2 预热和缓冷

预热和缓冷是防止裂纹的有效措施，它的作用主要是使焊接接头处的金属加热比较均匀，有利于减少内应力。

## 3 选择合理的焊接顺序和焊接方向

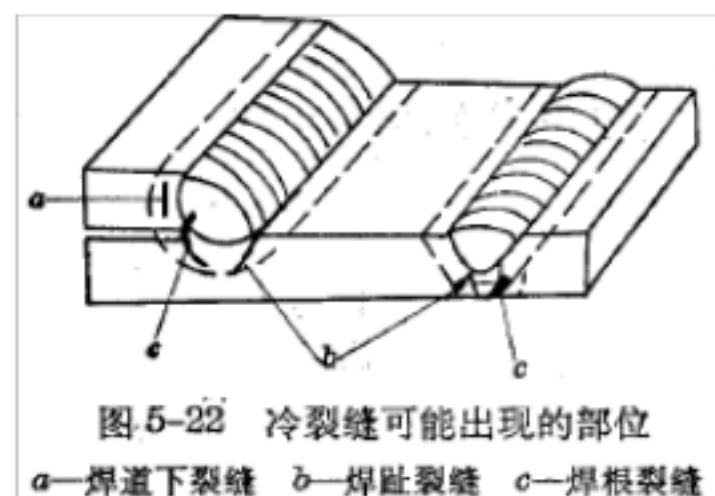
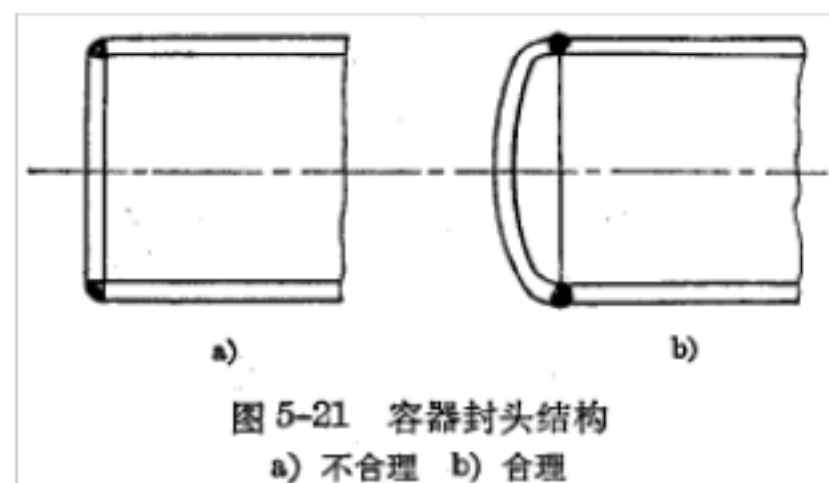
一般说来，焊接顺序应是使焊件的刚度逐步加大，使焊件有收缩的可能，从而使焊接应力减小。

## 二、冷裂纹

冷裂纹一般在焊接低合金高强度钢、中碳钢、合金钢时遇到，而低碳钢焊接时较少。

### 1. 冷裂纹的特点

#### (1) 产生的温度和时间



冷裂缝发生在 A3 线以下的某一温度范围以下（通常在 200 ~ 300 之间），产生。

冷裂缝可以在焊接后立即出现，也可以在焊后延迟一段时间（几小时、几天、或几星期，甚至一、两个月），所以冷裂缝又称为“延迟裂缝”。冷裂缝通常都是有許多小裂缝发展而成的，有时可能是瞬间发生，发生时伴有较大的响声和机械振动。

#### （2）产生的部位和方向

冷裂缝大多产生在基本金属上或在基本金属和焊缝金属交接的熔合线上。上图为裂纹产生的部位。

冷裂缝大多是纵向裂缝，少数情况下，也有横向裂缝。

#### （3）外观特点

显露在接头金属表面的冷裂缝断面上没有明显的氧化色，断口发亮。

#### （4）金相结构

冷裂缝可能发生在晶界上，也可能穿晶发展。

### 2. 冷裂缝产生的原因

冷裂缝通常产生在易淬火钢中，这些钢的共同特点是热影响区中淬火倾向较强。如右图，低碳钢焊件的热影响区中的 1、2、3 区在易淬火钢中都是淬火区，强度、硬度增加，塑性、韧性下降，而且焊接又是不均匀加热，形成较大的应力，继而在应力作用下开裂。

热影响区的应力变化最为复杂，除了不均匀加热带来的热应力变化外，同时还伴有“组织应力”。由于马氏体转变伴有体积膨胀过程，因此在淬火过程中伴随这较大的组织应力。上图中，a、c 为热影响区裂缝，b 为焊趾裂缝，该焊缝除了上述的应力条件外，由于焊趾处的尖角产生的应力集中，而使应力进一步加大。

焊缝中熔入过量的氢和磷也会引起脆性增加，因为焊缝中的金属都是低碳钢，而它的基本组织使铁素体和渗碳体，其中唯一的塑性组织就是铁素体，而氢和磷只能熔入铁素体使其脆化。使整个焊缝脆化，并形成冷脆，继而产生冷裂缝。

另外，由于铁素体和马氏体溶氢量都小于奥氏体，所以焊缝热影响区二次相变以后，大量的氢析出，在熔合线附近的显微缺陷（空穴、空位等）中聚合，形成氢分子，在局部产生巨大的压力，或者将热影响区拉裂，或者加大热影响区的应力，造成冷裂。

产生冷裂缝的原因有三：

#### 1) 焊接应力

- 焊接接头内部存在的应力，（热应力、组织应力）
- 构件刚性约束条件、构件的自重、工作载荷等引起的应力。

#### 2) 焊接时由于快速冷却而产生的淬硬组织

- 由快速冷却造成热影响区组织淬硬。
- 由于快速冷却产生的巨大应力。
- 使焊接接头强度、硬度增加，塑性、韧性下降，而变脆。

#### 3) 由氢、磷造成的焊接接头脆化

- 氢、磷的溶入使铁素体或低碳马氏体脆化。
- 氢的析出在热影响区中产生微裂纹。

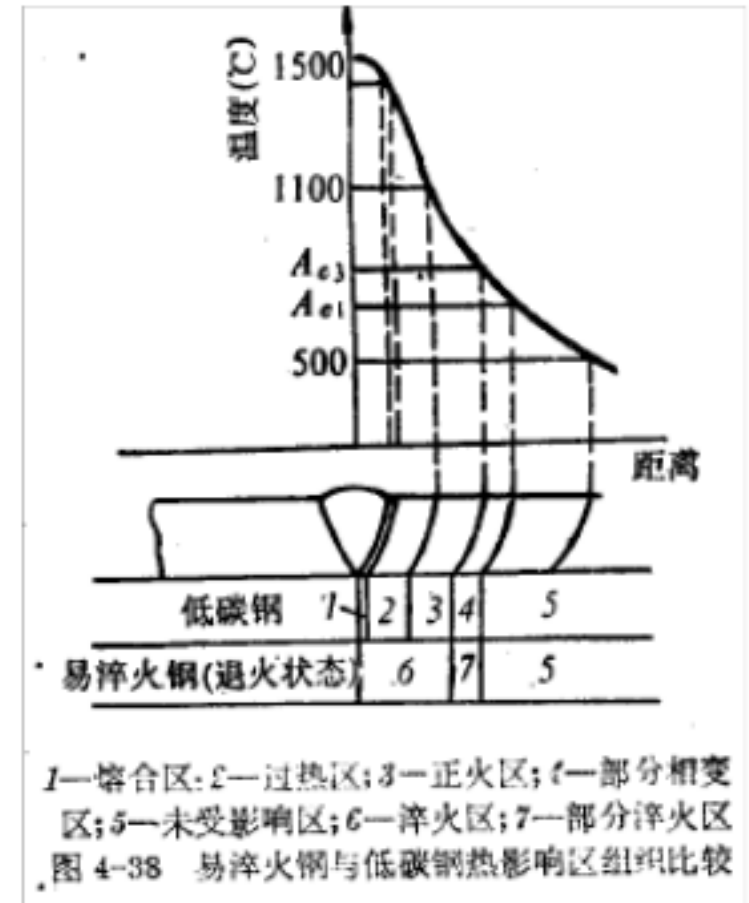
#### 4) 由于焊接缺陷造成的应力集中

- 焊后形成的焊接缺陷（咬边、未焊透，夹杂、夹渣等）造成的应力集中。
- 加固高截面变化过大，形成的应力集中。

### 3. 防止冷裂缝的措施

#### （1）焊前预热和焊后缓冷

焊前预热的作用在于减缓焊后的冷却速度，改善接头的显微组织，降低焊接热影响区的硬





度和脆性，提高塑性，并使焊缝中的氢加速向外扩散。

焊前预热还可以起到减少焊接应力的作用。

#### (2) 选用适当的焊接规范

适当减慢焊接速度，可以降低焊后的冷却速度，有利于减少发生冷裂纹是有利的。但焊接速度不宜过慢，若过慢输入焊接线能量过大，热影响区过热严重，结晶后晶粒过于粗大，淬火倾向增加，对减少冷裂纹是不利的。

另外，焊速过慢，热影响区面积增大，淬火区加宽，更易产生冷裂纹。

#### (3) 采用减少氢的工艺措施

减少氢的来源可以有效的减少焊缝的氢含量，继而减少裂纹倾向。

减少氢的主要方法是：焊条、焊剂严格烘干，随用随取；仔细清理坡口，去油除锈；防止环境中的水分带入焊缝；正确选择电源极性；注意操作方法等。

#### (4) 选用合理的焊接材料

一般选用低氢型焊条（碱性焊条）可以明显减少焊缝中的含氢量，有效的减少冷裂纹的倾向。有时焊接低合金高强度钢时采用不锈钢焊条或奥氏体镍基合金等焊条，这些合金的塑性较好可以抵消马氏体相变带来的部分应力。而且氢在奥氏体中的溶解度较高，扩散速度慢，故氢不易向热影响区扩散聚集。以减少产生冷裂纹的倾向。

#### (5) 采用合理的装焊顺序

采用合理的装焊顺序、焊接顺序、焊接方向可以改善焊件的应力状态。

#### (6) 焊件的焊后热处理

焊件在焊后及时进行热处理，可以改善焊接结构的组织和性能，可以使氢扩散排除，也可以减少应力。

以上的防止方法只是对一般规律而言，具体的焊件要具体分析，找出产生裂纹的原因，以求对症下药，消除裂纹。

### 三、再热裂纹

所谓“再热裂纹”即：在一些含铬、钼、钒（碳化物形成元素）等元素的高强度钢，焊接后，在消除应力退火中产生的裂纹，所以又称为“焊后热处理裂纹”或“消除应力回火裂纹”。它一般发生在高强度低合金钢中。

裂纹产生的原因：

由于焊接中温度较高（ $> 1200$ ），晶间碳化物溶入到固熔体中，由于焊后的冷却速度快，过饱和固溶到基体中，在焊后热处理的加热过程中这些碳化物重新析出，使晶内、晶界都得到强化，在消除应力加热过程中，产生蠕变变形，产生了应力，在这个应力的作用下，产生开裂，形成“再热变形”。

防止再热变形的措施：

- 1) 控制基本金属及焊缝金属的化学成分，适当调整各种敏感元素的含量。
- 2) 选择抵抗再热裂纹能力强的焊接材料，如采用在回火温度下强度较低、塑性良好，但中温或常温下强度较高的焊接材料。
- 3) 设计上改进接头形式，减小接头刚度和应力集中，焊后打磨焊缝至平滑过渡。
- 4) 采用大规范、高线能量或高预热温度下（ $400$  以上）进行焊接。
- 5) 合理选择消除应力回火温度。避免采用  $600$  这个对再热裂纹敏感温度。适当减慢回火时的加热速度，减小温差应力。

### 复 习 题

1. 什么叫焊缝的一次结晶？柱状晶粒是怎样形成的？影响晶粒大小的因素是什么？
2. 什么叫偏析？焊缝偏析有哪几种形式？影响这些偏析的主要因素是什么？
3. 焊缝中出现晶内偏析和区域偏析取决于什么因素？
4. 为什么同样厚度的钢板一次深熔焊焊完比多层多道焊焊完生成裂纹的倾向大？
5. 焊接线能量对焊接接头的机械性能有怎样影响？
6. 焊接过程中，哪些因素能加速气体在熔池中的溶解，哪些因素使熔池中的气泡不能及时上浮？

7. 焊缝中的一氧化碳是怎样造成的？
8. 为什么焊接有锈金属，对气孔比较敏感？
9. 焊条中加入萤石，为什么能提高抗锈性？
10. 工艺因素是怎样影响焊缝中生成气孔的？
11. 碱性焊条和酸性焊条对于产生气孔有怎样的规律？
12. 可以通过哪些方法来防止焊缝中气孔的产生？
13. 什么叫热裂缝？什么叫冷裂缝？可以从那些特征上去辨别判断它们？为什么具有这样的特征？
14. 焊接热裂缝产生的原因是什么？防止方法如何？
15. 冷裂缝产生的原因是什么？为什么冷裂缝是普通低合金高强度钢焊接中的主要问题？怎样防止它的产生？

表 3-2 手工电弧焊接接头、坡口及焊缝形状与尺寸\*

焊接接头型式名称		剖面图	形状	适用厚度 (毫米)	尺寸 (毫米)	图样标注符号	文字代号																																																																																																			
型式	接边名称																																																																																																									
对接	不开坡口			1~6	<table><tr><td><math>\delta</math></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>4</td><td>6</td><td>8</td><td>10</td><td>12</td><td></td></tr><tr><td><math>c</math></td><td colspan="6"><math>0+1.5</math></td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="6"><math>1.5</math></td></tr></table>	$\delta$	1	2	3	4	5	6	$b$	4	6	8	10	12		$c$	$0+1.5$						$e$	$1.5$							D2																																																																							
	$\delta$	1	2	3	4	5	6																																																																																																			
	$b$	4	6	8	10	12																																																																																																				
$c$	$0+1.5$																																																																																																									
$e$	$1.5$																																																																																																									
	单面焊			1~3	<table><tr><td><math>\delta</math></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>4</td><td>6</td><td>8</td></tr><tr><td><math>c</math></td><td colspan="3"><math>0+0.5</math></td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="3"><math>1.5</math></td></tr></table>	$\delta$	1	2	3	$b$	4	6	8	$c$	$0+0.5$			$e$	$1.5$				D1																																																																																			
$\delta$	1	2	3																																																																																																							
$b$	4	6	8																																																																																																							
$c$	$0+0.5$																																																																																																									
$e$	$1.5$																																																																																																									
	单面焊 (带垫板)			2~6	<table><tr><td><math>\delta</math></td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>8</td><td>10</td><td>12</td><td>14</td><td></td></tr><tr><td><math>c</math></td><td colspan="5"><math>2\pm1</math></td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="5"><math>1.5</math></td></tr></table>	$\delta$	2	3	4	5	6	$b$	8	10	12	14		$c$	$2\pm1$					$e$	$1.5$						D1																																																																											
$\delta$	2	3	4	5	6																																																																																																					
$b$	8	10	12	14																																																																																																						
$c$	$2\pm1$																																																																																																									
$e$	$1.5$																																																																																																									
接头	单面焊 (封底)			3~26	<table><tr><td><math>\delta</math></td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>10</td><td>12</td><td></td><td></td><td>14</td><td></td><td></td><td>16</td></tr><tr><td><math>b_1</math></td><td colspan="2"><math>8\pm2</math></td><td colspan="2"><math>10\pm2</math></td><td colspan="4"></td></tr><tr><td><math>c</math></td><td colspan="2"><math>1.5</math></td><td colspan="2"><math>2\pm1</math></td><td colspan="4"></td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="2"><math>1\pm1</math></td><td colspan="2"><math>1.5</math></td><td colspan="4"></td></tr><tr><td><math>n</math></td><td colspan="2"><math>1\pm0.5</math></td><td colspan="2"><math>2\pm1</math></td><td colspan="4"></td></tr><tr><td><math>\delta</math></td><td>12</td><td>14</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td>26</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>26</td><td>28</td><td>30</td><td>32</td><td>34</td></tr><tr><td><math>b_1</math></td><td colspan="2"><math>10\pm2</math></td><td colspan="2"><math>12\pm2</math></td><td colspan="4"></td></tr><tr><td><math>c</math></td><td colspan="2"><math>1.5</math></td><td colspan="2"><math>2\pm1</math></td><td colspan="4"></td></tr><tr><td><math>p</math></td><td colspan="2" rowspan="2"><math>2\pm1</math></td><td colspan="2"><math>2\pm1</math></td><td colspan="4"></td></tr></table>	$\delta$	3	4	5	6	7	8	9	10	$b$	10	12			14			16	$b_1$	$8\pm2$		$10\pm2$						$c$	$1.5$		$2\pm1$						$e$	$1\pm1$		$1.5$						$n$	$1\pm0.5$		$2\pm1$						$\delta$	12	14	16	18	20	22	24	26	$b$	18	20	22	26	28	30	32	34	$b_1$	$10\pm2$		$12\pm2$						$c$	$1.5$		$2\pm1$						$p$	$2\pm1$		$2\pm1$							D2
	$\delta$	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																	
	$b$	10	12			14			16																																																																																																	
$b_1$	$8\pm2$		$10\pm2$																																																																																																							
$c$	$1.5$		$2\pm1$																																																																																																							
$e$	$1\pm1$		$1.5$																																																																																																							
$n$	$1\pm0.5$		$2\pm1$																																																																																																							
$\delta$	12	14	16	18	20	22	24	26																																																																																																		
$b$	18	20	22	26	28	30	32	34																																																																																																		
$b_1$	$10\pm2$		$12\pm2$																																																																																																							
$c$	$1.5$		$2\pm1$																																																																																																							
$p$	$2\pm1$		$2\pm1$																																																																																																							
			单面焊			3~26	<table><tr><td><math>\delta</math></td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>14</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td></td><td></td><td></td><td>22</td></tr><tr><td><math>c</math></td><td colspan="2"><math>1\pm1</math></td><td colspan="2"><math>1.5</math></td><td colspan="4"></td></tr><tr><td><math>\delta</math></td><td>12</td><td>14</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td>26</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>24</td><td>26</td><td>28</td><td>32</td><td>34</td><td>36</td><td>38</td><td>40</td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="2"><math>1.5</math></td><td colspan="2"><math>2\pm1</math></td><td colspan="4"></td></tr></table>	$\delta$	3	4	5	6	7	8	9	10	$b$	14	16	18	20				22	$c$	$1\pm1$		$1.5$						$\delta$	12	14	16	18	20	22	24	26	$b$	24	26	28	32	34	36	38	40	$e$	$1.5$		$2\pm1$							D1																																											
$\delta$	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																		
$b$	14	16	18	20				22																																																																																																		
$c$	$1\pm1$		$1.5$																																																																																																							
$\delta$	12	14	16	18	20	22	24	26																																																																																																		
$b$	24	26	28	32	34	36	38	40																																																																																																		
$e$	$1.5$		$2\pm1$																																																																																																							
	单面焊 (带垫板)			3~26	<table><tr><td><math>\delta</math></td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>14</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td></td><td></td><td></td><td>22</td></tr><tr><td><math>c</math></td><td colspan="2"><math>1\pm1</math></td><td colspan="2"><math>1.5</math></td><td colspan="4"></td></tr><tr><td><math>\delta</math></td><td>12</td><td>14</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td>26</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>24</td><td>26</td><td>28</td><td>32</td><td>34</td><td>36</td><td>38</td><td>40</td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="2"><math>1.5</math></td><td colspan="2"><math>2\pm1</math></td><td colspan="4"></td></tr></table>	$\delta$	3	4	5	6	7	8	9	10	$b$	14	16	18	20				22	$c$	$1\pm1$		$1.5$						$\delta$	12	14	16	18	20	22	24	26	$b$	24	26	28	32	34	36	38	40	$e$	$1.5$		$2\pm1$							D1																																													
$\delta$	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																																																		
$b$	14	16	18	20				22																																																																																																		
$c$	$1\pm1$		$1.5$																																																																																																							
$\delta$	12	14	16	18	20	22	24	26																																																																																																		
$b$	24	26	28	32	34	36	38	40																																																																																																		
$e$	$1.5$		$2\pm1$																																																																																																							

\* 摘自国家标准 GB985-67。有关焊缝代号见国家标准 GB324-64。

(续表)

焊接接头型式名称		剖面图		通用厚度 (毫米)	尺寸 (毫米)	图样标注符号	文字代号																																																						
型式	接边名称 焊缝名称	坡口	焊缝																																																										
对接	双面焊 (封底)			3~26	<table><tr><td><math>\delta</math></td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>8</td><td>10</td><td>12</td><td>14</td><td>16</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td><math>b_1</math></td><td colspan="4">8±2</td><td colspan="4">10±2</td></tr><tr><td><math>c</math></td><td colspan="4">1±1</td><td colspan="4">2±1</td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="4">1±1</td><td colspan="4">1.5±1.5</td></tr><tr><td><math>p</math></td><td colspan="4">1+0.5</td><td colspan="4">2±1</td></tr></table>	$\delta$	3	4	5	6	7	8	9	10	$b$	8	10	12	14	16				$b_1$	8±2				10±2				$c$	1±1				2±1				$e$	1±1				1.5±1.5				$p$	1+0.5				2±1					DV2
	$\delta$	3	4	5	6	7	8	9	10																																																				
$b$	8	10	12	14	16																																																								
$b_1$	8±2				10±2																																																								
$c$	1±1				2±1																																																								
$e$	1±1				1.5±1.5																																																								
$p$	1+0.5				2±1																																																								
对接	单面焊			3~26	<table><tr><td><math>\delta</math></td><td>12</td><td>14</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td>26</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>26</td><td>28</td><td>30</td><td>32</td><td>34</td></tr><tr><td><math>b_1</math></td><td colspan="4">10±2</td><td colspan="4">12±2</td></tr><tr><td><math>c^*</math></td><td colspan="4">2±1</td><td colspan="4"></td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="4">1.5±1.5</td><td colspan="4">2±1</td></tr><tr><td><math>p</math></td><td colspan="4">2±1</td><td colspan="4"></td></tr></table> $\delta$ 3~8 $\delta > 8$ $\alpha$ 70°±5° $\alpha$ 60°±5°	$\delta$	12	14	16	18	20	22	24	26	$b$	18	20	22	26	28	30	32	34	$b_1$	10±2				12±2				$c^*$	2±1								$e$	1.5±1.5				2±1				$p$	2±1									DV1
	$\delta$	12	14	16	18	20	22	24	26																																																				
$b$	18	20	22	26	28	30	32	34																																																					
$b_1$	10±2				12±2																																																								
$c^*$	2±1																																																												
$e$	1.5±1.5				2±1																																																								
$p$	2±1																																																												
对接	单面焊 (带垫板)			3~26	<table><tr><td><math>\delta</math></td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="4">1±1</td><td colspan="4">1.5±1.5</td></tr><tr><td><math>\delta</math></td><td>12</td><td>14</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td>26</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td>26</td><td>28</td><td>30</td><td>32</td><td>34</td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="4">1.5±1.5</td><td colspan="4">2±1</td></tr></table> $\delta$ 3~6    7~10    12~26 $c$ 3±1    4±1    5±1	$\delta$	3	4	5	6	7	8	9	10	$b$	12	13	14	15	15	16	17	18	$e$	1±1				1.5±1.5				$\delta$	12	14	16	18	20	22	24	26	$b$	20	22	24	26	28	30	32	34	$e$	1.5±1.5				2±1					DV1
	$\delta$	3	4	5	6	7	8	9	10																																																				
$b$	12	13	14	15	15	16	17	18																																																					
$e$	1±1				1.5±1.5																																																								
$\delta$	12	14	16	18	20	22	24	26																																																					
$b$	20	22	24	26	28	30	32	34																																																					
$e$	1.5±1.5				2±1																																																								

\* 据火电安装部门提供的经验,当单面焊要求背面成形良好时,应取  $c$ —焊条芯直径。

(续表)

焊接接头型式名称		剖面图		图形		适用厚度 (毫米)	尺寸 (毫米)	图样标注符号	文字代号																																																																								
型式	坡口名称	坡口	焊缝																																																																														
对接	V形锁底坡口					12~40	<table><tr><td><math>\delta</math></td><td>12</td><td>14</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td>26</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td>26</td><td>28</td><td>30</td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="2"><math>1.5\sqrt{\delta}</math></td><td colspan="2"><math>2\sqrt{\delta}</math></td><td colspan="4"><math>2\sqrt{\delta}</math></td></tr><tr><td><math>\delta</math></td><td>28</td><td>30</td><td>32</td><td>34</td><td>36</td><td>38</td><td>40</td><td>42</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>32</td><td>34</td><td>36</td><td>38</td><td>40</td><td>42</td><td>44</td><td>46</td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="2"><math>2\sqrt{\delta}</math></td><td colspan="2"><math>3\sqrt{\delta}</math></td><td colspan="4"><math>3\sqrt{\delta}</math></td></tr></table>	$\delta$	12	14	16	18	20	22	24	26	$b$	16	18	20	22	24	26	28	30	$e$	$1.5\sqrt{\delta}$		$2\sqrt{\delta}$		$2\sqrt{\delta}$				$\delta$	28	30	32	34	36	38	40	42	$b$	32	34	36	38	40	42	44	46	$e$	$2\sqrt{\delta}$		$3\sqrt{\delta}$		$3\sqrt{\delta}$					DVd1																		
	$\delta$	12	14	16	18	20	22	24	26																																																																								
$b$	16	18	20	22	24	26	28	30																																																																									
$e$	$1.5\sqrt{\delta}$		$2\sqrt{\delta}$		$2\sqrt{\delta}$																																																																												
$\delta$	28	30	32	34	36	38	40	42																																																																									
$b$	32	34	36	38	40	42	44	46																																																																									
$e$	$2\sqrt{\delta}$		$3\sqrt{\delta}$		$3\sqrt{\delta}$																																																																												
对接	U形坡口					20~60	<table><tr><td><math>\delta</math></td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td>26</td><td>28</td><td>30</td><td>32</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>22</td><td>24</td><td>26</td><td>28</td><td>30</td><td>32</td><td>34</td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="2"><math>2\sqrt{\delta}</math></td><td colspan="2"><math>3\sqrt{\delta}</math></td><td colspan="3"><math>3\sqrt{\delta}</math></td></tr><tr><td><math>\delta</math></td><td>34</td><td>36</td><td>38</td><td>40</td><td>42</td><td>44</td><td>46</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>36</td><td>38</td><td>40</td><td>42</td><td>44</td><td>46</td><td>48</td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="2"><math>3\sqrt{\delta}</math></td><td colspan="2"><math>4\sqrt{\delta}</math></td><td colspan="3"><math>4\sqrt{\delta}</math></td></tr><tr><td><math>\delta</math></td><td>48</td><td>50</td><td>52</td><td>54</td><td>56</td><td>58</td><td>60</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>50</td><td>52</td><td>54</td><td>56</td><td>58</td><td>60</td><td>62</td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="2"><math>4\sqrt{\delta}</math></td><td colspan="2"><math>5\sqrt{\delta}</math></td><td colspan="3"><math>5\sqrt{\delta}</math></td></tr></table>	$\delta$	20	22	24	26	28	30	32	$b$	22	24	26	28	30	32	34	$e$	$2\sqrt{\delta}$		$3\sqrt{\delta}$		$3\sqrt{\delta}$			$\delta$	34	36	38	40	42	44	46	$b$	36	38	40	42	44	46	48	$e$	$3\sqrt{\delta}$		$4\sqrt{\delta}$		$4\sqrt{\delta}$			$\delta$	48	50	52	54	56	58	60	$b$	50	52	54	56	58	60	62	$e$	$4\sqrt{\delta}$		$5\sqrt{\delta}$		$5\sqrt{\delta}$				DU2
	$\delta$	20	22	24	26	28	30	32																																																																									
$b$	22	24	26	28	30	32	34																																																																										
$e$	$2\sqrt{\delta}$		$3\sqrt{\delta}$		$3\sqrt{\delta}$																																																																												
$\delta$	34	36	38	40	42	44	46																																																																										
$b$	36	38	40	42	44	46	48																																																																										
$e$	$3\sqrt{\delta}$		$4\sqrt{\delta}$		$4\sqrt{\delta}$																																																																												
$\delta$	48	50	52	54	56	58	60																																																																										
$b$	50	52	54	56	58	60	62																																																																										
$e$	$4\sqrt{\delta}$		$5\sqrt{\delta}$		$5\sqrt{\delta}$																																																																												
对接	单边U形坡口					20~60	<table><tr><td><math>\delta</math></td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td>26</td><td>28</td><td>30</td><td>32</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="2"><math>2\sqrt{\delta}</math></td><td colspan="2"><math>3\sqrt{\delta}</math></td><td colspan="3"><math>3\sqrt{\delta}</math></td></tr><tr><td><math>\delta</math></td><td>34</td><td>36</td><td>38</td><td>40</td><td>42</td><td>44</td><td>46</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>36</td><td>38</td><td>40</td><td>42</td><td>44</td><td>46</td><td>48</td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="2"><math>3\sqrt{\delta}</math></td><td colspan="2"><math>4\sqrt{\delta}</math></td><td colspan="3"><math>4\sqrt{\delta}</math></td></tr><tr><td><math>\delta</math></td><td>48</td><td>50</td><td>52</td><td>54</td><td>56</td><td>58</td><td>60</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>50</td><td>52</td><td>54</td><td>56</td><td>58</td><td>60</td><td>62</td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="2"><math>4\sqrt{\delta}</math></td><td colspan="2"><math>5\sqrt{\delta}</math></td><td colspan="3"><math>5\sqrt{\delta}</math></td></tr></table>	$\delta$	20	22	24	26	28	30	32	$b$	18	19	20	21	22	23	24	$e$	$2\sqrt{\delta}$		$3\sqrt{\delta}$		$3\sqrt{\delta}$			$\delta$	34	36	38	40	42	44	46	$b$	36	38	40	42	44	46	48	$e$	$3\sqrt{\delta}$		$4\sqrt{\delta}$		$4\sqrt{\delta}$			$\delta$	48	50	52	54	56	58	60	$b$	50	52	54	56	58	60	62	$e$	$4\sqrt{\delta}$		$5\sqrt{\delta}$		$5\sqrt{\delta}$				DJ2
	$\delta$	20	22	24	26	28	30	32																																																																									
$b$	18	19	20	21	22	23	24																																																																										
$e$	$2\sqrt{\delta}$		$3\sqrt{\delta}$		$3\sqrt{\delta}$																																																																												
$\delta$	34	36	38	40	42	44	46																																																																										
$b$	36	38	40	42	44	46	48																																																																										
$e$	$3\sqrt{\delta}$		$4\sqrt{\delta}$		$4\sqrt{\delta}$																																																																												
$\delta$	48	50	52	54	56	58	60																																																																										
$b$	50	52	54	56	58	60	62																																																																										
$e$	$4\sqrt{\delta}$		$5\sqrt{\delta}$		$5\sqrt{\delta}$																																																																												

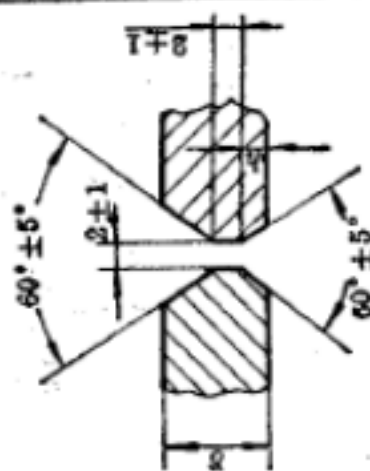
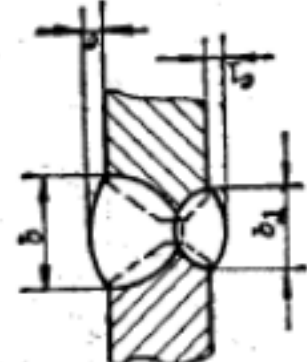

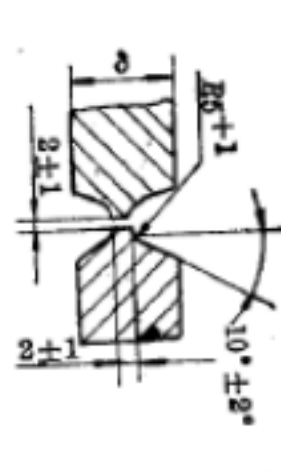
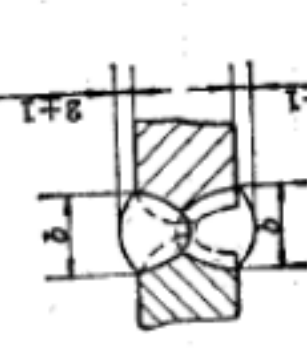

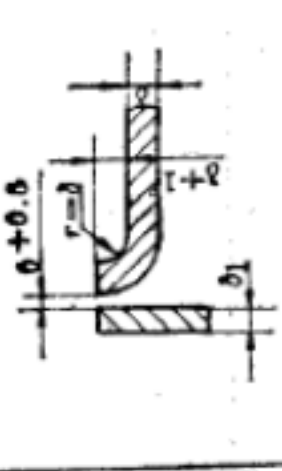
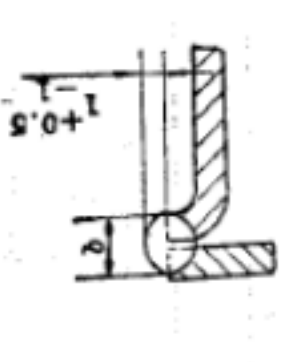
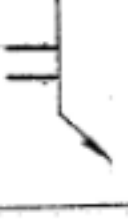
注:“管子单面焊双面成形的 U 形坡口尺寸,建议采用水电部 1961 年颁发的碳素钢和低合金钢管子的电弧焊接暂行技术规程所推荐的尺寸。其特点是:U 形坡口的根部是一个小小的 V 形对接坡口。同时钝边为 1~2 毫米,接头间隙等于焊芯直径,以利于焊条的伸入,当采用单面焊双面成形的焊接工艺时,可保证得到背面良好成形。”

(续表)

焊接接头型式名称		剖面图		适用厚度 (毫米)	尺寸 (毫米)	图样标注符号	文字代号																																																																																									
型式	接边名称	坡口	焊缝																																																																																													
对接	K形	对称	双面焊	12~40	<table><tr><td><math>\delta</math></td><td>12</td><td>14</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>24</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>12</td><td>14</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>18</td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="7"><math>1.5 \pm 1_s</math></td></tr><tr><td><math>\delta</math></td><td>26</td><td>28</td><td>30</td><td>32</td><td>34</td><td>36</td><td>38</td><td>40</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td>26</td><td>28</td><td>30</td><td>32</td><td>34</td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="7"><math>1.5 \pm 1_s</math></td><td><math>2 \pm 1</math></td></tr></table>	$\delta$	12	14	16	18	20	22	24	$b$	12	14	16	18	20	22	18	$e$	$1.5 \pm 1_s$							$\delta$	26	28	30	32	34	36	38	40	$b$	20	22	24	26	28	30	32	34	$e$	$1.5 \pm 1_s$							$2 \pm 1$	DK																																							
	$\delta$	12	14	16	18	20	22	24																																																																																								
$b$	12	14	16	18	20	22	18																																																																																									
$e$	$1.5 \pm 1_s$																																																																																															
$\delta$	26	28	30	32	34	36	38	40																																																																																								
$b$	20	22	24	26	28	30	32	34																																																																																								
$e$	$1.5 \pm 1_s$							$2 \pm 1$																																																																																								
对接	不对称	双面焊		12~40	<table><tr><td><math>\delta</math></td><td>12</td><td>14</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td>26</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>14</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td>26</td><td>28</td></tr><tr><td><math>b_1</math></td><td colspan="7"><math>10 \pm 1</math></td><td><math>13 \pm 1</math></td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="7"><math>1.5 \pm 1_s</math></td><td><math>2 \pm 1</math></td></tr><tr><td><math>h</math></td><td colspan="7">4</td><td>6</td></tr><tr><td><math>\delta</math></td><td>28</td><td>30</td><td>32</td><td>34</td><td>36</td><td>38</td><td>40</td><td>42</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>30</td><td>32</td><td>34</td><td>36</td><td>38</td><td>40</td><td>42</td><td></td></tr><tr><td><math>b_1</math></td><td colspan="7"><math>13 \pm 1</math></td><td></td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="7"><math>2 \pm 1</math></td><td></td></tr><tr><td><math>h</math></td><td colspan="7">6</td><td></td></tr></table>	$\delta$	12	14	16	18	20	22	24	26	$b$	14	16	18	20	22	24	26	28	$b_1$	$10 \pm 1$							$13 \pm 1$	$e$	$1.5 \pm 1_s$							$2 \pm 1$	$h$	4							6	$\delta$	28	30	32	34	36	38	40	42	$b$	30	32	34	36	38	40	42		$b_1$	$13 \pm 1$								$e$	$2 \pm 1$								$h$	6								DK
	$\delta$	12	14	16	18	20	22	24	26																																																																																							
$b$	14	16	18	20	22	24	26	28																																																																																								
$b_1$	$10 \pm 1$							$13 \pm 1$																																																																																								
$e$	$1.5 \pm 1_s$							$2 \pm 1$																																																																																								
$h$	4							6																																																																																								
$\delta$	28	30	32	34	36	38	40	42																																																																																								
$b$	30	32	34	36	38	40	42																																																																																									
$b_1$	$13 \pm 1$																																																																																															
$e$	$2 \pm 1$																																																																																															
$h$	6																																																																																															
接头	X形	对称	双面焊	12~60	<table><tr><td><math>\delta</math></td><td>12</td><td>14</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td>26</td><td>28</td><td>30</td><td>32</td><td>34</td><td>36</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>12</td><td>14</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td>26</td><td>28</td><td>30</td><td>32</td><td>34</td><td>36</td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="12"><math>1.5 \pm 1_s</math></td><td><math>2 \pm 1</math></td></tr><tr><td><math>\delta</math></td><td>38</td><td>40</td><td>42</td><td>44</td><td>46</td><td>48</td><td>50</td><td>52</td><td>54</td><td>56</td><td>58</td><td>60</td><td></td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>26</td><td>28</td><td>30</td><td>32</td><td>34</td><td>36</td><td>38</td><td>40</td><td>42</td><td>44</td><td>46</td><td>48</td><td></td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="12"><math>2 \pm 1</math></td><td></td></tr></table>	$\delta$	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	$b$	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	$e$	$1.5 \pm 1_s$												$2 \pm 1$	$\delta$	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60		$b$	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48		$e$	$2 \pm 1$													DX						
	$\delta$	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36																																																																																		
$b$	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36																																																																																			
$e$	$1.5 \pm 1_s$												$2 \pm 1$																																																																																			
$\delta$	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60																																																																																				
$b$	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48																																																																																				
$e$	$2 \pm 1$																																																																																															



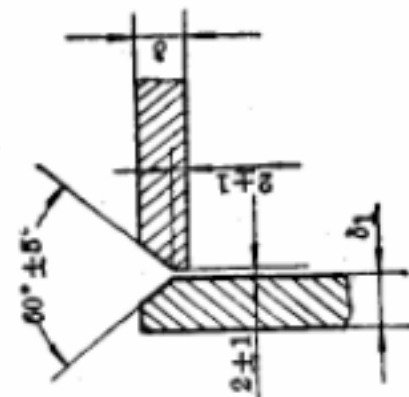
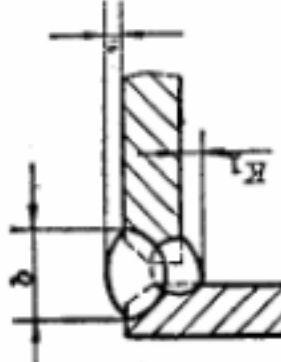

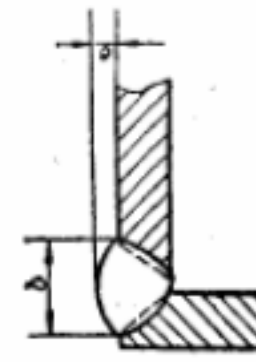
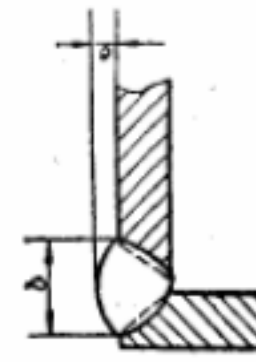

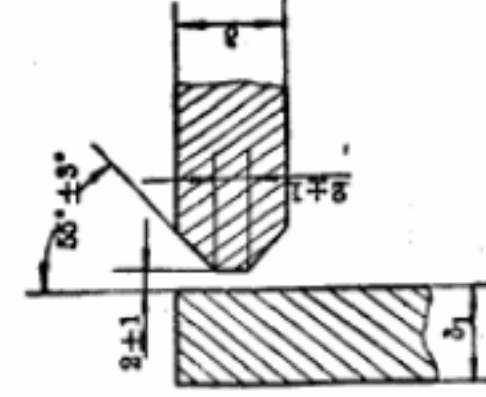
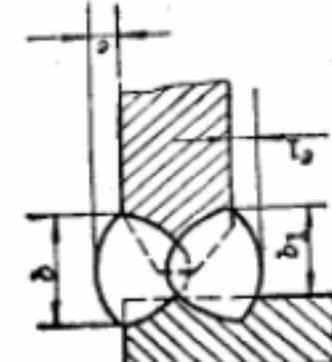
(续表)

焊接接头型式名称		剖面图		适用厚度 (毫米)	尺寸 (毫米)	图样标注符号	文字代号																																																					
型式	接口名称	坡口	焊缝																																																									
对接	双面焊			12~60	<table><tr><td><math>\delta</math></td><td>12</td><td>14</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td>26</td><td>28</td><td>30</td><td>32</td><td>34</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>14</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td>26</td><td>28</td><td>30</td><td>32</td><td>34</td><td>36</td></tr><tr><td><math>b_1</math></td><td colspan="3"><math>10 \pm 1</math></td><td colspan="3"><math>13 \pm 1</math></td><td colspan="3"><math>6</math></td><td colspan="3"><math>2 \pm 1</math></td></tr><tr><td><math>a</math></td><td colspan="3"><math>1.5 \pm 1.5</math></td><td colspan="3" rowspan="2"><math>1 \pm 1</math></td><td colspan="3" rowspan="2"><math>1 \pm 1</math></td><td colspan="3" rowspan="2"><math>1 \pm 1</math></td></tr></table>	$\delta$	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	$b$	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	$b_1$	$10 \pm 1$			$13 \pm 1$			$6$			$2 \pm 1$			$a$	$1.5 \pm 1.5$			$1 \pm 1$			$1 \pm 1$			$1 \pm 1$			DX		
	$\delta$	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34																																															
$b$	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36																																																
$b_1$	$10 \pm 1$			$13 \pm 1$			$6$			$2 \pm 1$																																																		
$a$	$1.5 \pm 1.5$			$1 \pm 1$			$1 \pm 1$			$1 \pm 1$																																																		
不对称 X 形坡口																																																												
对接	双面焊			40~60	<table><tr><td><math>\delta</math></td><td>40</td><td>42</td><td>44</td><td>46</td><td>48</td><td>50</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td colspan="3">20</td><td colspan="3">22</td></tr><tr><td><math>b_1</math></td><td colspan="3"><math>52</math></td><td colspan="3"><math>54</math></td></tr><tr><td><math>a</math></td><td colspan="3"><math>22</math></td><td colspan="3" rowspan="2"><math>24</math></td></tr></table>	$\delta$	40	42	44	46	48	50	$b$	20			22			$b_1$	$52$			$54$			$a$	$22$			$24$			DUU																										
	$\delta$	40	42	44	46	48	50																																																					
$b$	20			22																																																								
$b_1$	$52$			$54$																																																								
$a$	$22$			$24$																																																								
U 形坡口																																																												
角接	单面焊			1~2	<table><tr><td><math>\delta</math></td><td colspan="2"><math>1 \sim 2</math></td></tr><tr><td><math>b</math></td><td colspan="2"><math>25</math></td></tr><tr><td><math>r</math></td><td colspan="2"><math>\delta</math></td></tr></table>	$\delta$	$1 \sim 2$		$b$	$25$		$r$	$\delta$		JL1																																													
	$\delta$		$1 \sim 2$																																																									
$b$	$25$																																																											
$r$	$\delta$																																																											
角接	卷边				<table><tr><td><math>\delta</math></td><td colspan="2"><math>1 \sim 2</math></td></tr><tr><td><math>b</math></td><td colspan="2"><math>25</math></td></tr><tr><td><math>r</math></td><td colspan="2"><math>\delta</math></td></tr></table>	$\delta$	$1 \sim 2$		$b$	$25$		$r$	$\delta$				<p>b 值公差: <math>\pm 3</math></p>																																											
$\delta$	$1 \sim 2$																																																											
$b$	$25$																																																											
$r$	$\delta$																																																											

(续表)

焊接接头型式名称		剖面图		适用厚度 (毫米)	尺寸 (毫米)		图样标注符号	文字代号																																																																																																				
型式	接边名称	坡口	焊缝																																																																																																									
角 接 头	双面焊			2~5	<table border="1"><tr><td><math>\delta</math></td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>5</td><td>7</td><td>9</td><td>12</td></tr><tr><td><math>a</math></td><td colspan="4"><math>1 \pm 0.5</math></td></tr><tr><td><math>K_{1min}</math></td><td colspan="4">3</td></tr></table> $b$ 值公差: $\pm 1$		$\delta$	2	3	4	5	$b$	5	7	9	12	$a$	$1 \pm 0.5$				$K_{1min}$	3					JT3																																																																																
	$\delta$			2	3	4	5																																																																																																					
	$b$	5	7	9	12																																																																																																							
	$a$	$1 \pm 0.5$																																																																																																										
	$K_{1min}$	3																																																																																																										
单面焊	2~5																																																																																																											
错 边	双面焊			4~30	<table border="1"><tr><td><math>\delta</math></td><td colspan="2">4~30</td></tr><tr><td><math>K</math></td><td colspan="2"><math>\geq 0.5\delta</math></td></tr><tr><td><math>K_{1min}</math></td><td colspan="2">3~6</td></tr></table> $l, K, K_1$ 由设计确定		$\delta$	4~30		$K$	$\geq 0.5\delta$		$K_{1min}$	3~6			J2																																																																																											
				$\delta$	4~30																																																																																																							
$K$	$\geq 0.5\delta$																																																																																																											
$K_{1min}$	3~6																																																																																																											
单面焊	4~30																																																																																																											
头	双面焊			4~30	<table border="1"><tr><td><math>\delta</math></td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>12</td><td>14</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>8</td><td>10</td><td>12</td><td>14</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>24</td></tr><tr><td><math>K_{1min}</math></td><td colspan="4">3</td><td colspan="2"><math>1.5\delta</math></td><td colspan="3">2~1</td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="4"><math>1 \pm 1</math></td><td colspan="2"><math>1.5\delta</math></td><td colspan="3">2~1</td></tr><tr><td><math>p</math></td><td colspan="4"><math>1 \pm 0.5</math></td><td colspan="2"><math>1.5\delta</math></td><td colspan="3">2~1</td></tr><tr><td><math>\delta</math></td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td>26</td><td>28</td><td>30</td><td>32</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td>26</td><td>28</td><td>30</td><td>32</td><td>36</td><td>38</td></tr><tr><td><math>K_{1min}</math></td><td colspan="4">4</td><td colspan="2">6</td><td colspan="3">2~1</td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="4"><math>2 \pm 1</math></td><td colspan="2"><math>2 \pm 1</math></td><td colspan="3">2~1</td></tr><tr><td><math>p</math></td><td colspan="4"><math>2 \pm 1</math></td><td colspan="2" rowspan="2"><math>2 \pm 1</math></td><td colspan="3">2~1</td></tr></table>		$\delta$	4	5	6	7	8	9	10	12	14	$b$	8	10	12	14	16	18	20	22	24	$K_{1min}$	3				$1.5\delta$		2~1			$e$	$1 \pm 1$				$1.5\delta$		2~1			$p$	$1 \pm 0.5$				$1.5\delta$		2~1			$\delta$	16	18	20	22	24	26	28	30	32	$b$	20	22	24	26	28	30	32	36	38	$K_{1min}$	4				6		2~1			$e$	$2 \pm 1$				$2 \pm 1$		2~1			$p$	$2 \pm 1$				$2 \pm 1$		2~1				Jr3
	$\delta$			4	5	6	7	8	9	10	12	14																																																																																																
	$b$	8	10	12	14	16	18	20	22	24																																																																																																		
	$K_{1min}$	3				$1.5\delta$		2~1																																																																																																				
	$e$	$1 \pm 1$				$1.5\delta$		2~1																																																																																																				
$p$	$1 \pm 0.5$				$1.5\delta$		2~1																																																																																																					
$\delta$	16	18	20	22	24	26	28	30	32																																																																																																			
$b$	20	22	24	26	28	30	32	36	38																																																																																																			
$K_{1min}$	4				6		2~1																																																																																																					
$e$	$2 \pm 1$				$2 \pm 1$		2~1																																																																																																					
$p$	$2 \pm 1$				$2 \pm 1$		2~1																																																																																																					
单面焊	4~30																																																																																																											
不开坡口	双面焊			2~5	<table border="1"><tr><td><math>\delta</math></td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>5</td><td>7</td><td>9</td><td>12</td></tr><tr><td><math>a</math></td><td colspan="4"><math>1 \pm 0.5</math></td></tr><tr><td><math>K_{1min}</math></td><td colspan="4">3</td></tr></table> $b$ 值公差: $\pm 1$		$\delta$	2	3	4	5	$b$	5	7	9	12	$a$	$1 \pm 0.5$				$K_{1min}$	3					JT3																																																																																
				$\delta$	2	3	4	5																																																																																																				
$b$	5	7	9	12																																																																																																								
$a$	$1 \pm 0.5$																																																																																																											
$K_{1min}$	3																																																																																																											
单面焊	2~5																																																																																																											

(续表)

焊接接头型式名称		剖面图		适用厚度 (毫米)	尺寸 (毫米)		图样标注符号	文字代号																																																																																
型式	接边名称	坡口	焊缝																																																																																					
角 接 头	V 形 坡 口			12~30	<table><tr><td><math>\delta</math></td><td>12</td><td>14</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>17</td><td>21</td><td>23</td><td>26</td><td>28</td><td>30</td></tr><tr><td><math>K_{1min}</math></td><td colspan="2">4</td><td colspan="4">6</td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="2" rowspan="2"><math>1.5^{+1.5}_0</math></td><td colspan="4" rowspan="2"><math>2^{+1.5}_0</math></td></tr></table>		$\delta$	12	14	16	18	20	22	$b$	17	21	23	26	28	30	$K_{1min}$	4		6				$e$	$1.5^{+1.5}_0$		$2^{+1.5}_0$					JV2																																																				
	$\delta$	12	14	16	18	20	22																																																																																	
$b$	17	21	23	26	28	30																																																																																		
$K_{1min}$	4		6																																																																																					
$e$	$1.5^{+1.5}_0$		$2^{+1.5}_0$																																																																																					
单面焊									12~30	<table><tr><td><math>\delta</math></td><td>24</td><td>26</td><td>28</td><td>30</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>33</td><td>35</td><td>37</td><td>39</td></tr><tr><td><math>K_{1min}</math></td><td colspan="4">6</td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="4" rowspan="2"><math>2^{+1.5}_0</math></td></tr></table>		$\delta$	24	26	28	30	$b$	33	35	37	39	$K_{1min}$	6				$e$	$2^{+1.5}_0$					JV1																																																							
$\delta$	24	26	28	30																																																																																				
$b$	33	35	37	39																																																																																				
$K_{1min}$	6																																																																																							
$e$	$2^{+1.5}_0$																																																																																							
头					K 形 坡 口			20~40	<table><tr><td><math>\delta</math></td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td>26</td><td>28</td><td>30</td><td>32</td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td>26</td><td>28</td></tr><tr><td><math>b_1</math></td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="2"><math>1.5^{+1.5}_0</math></td><td colspan="5" rowspan="2"><math>2^{+1.5}_0</math></td></tr><tr><td><math>e_1</math></td><td colspan="7"><math>\approx 5</math></td></tr><tr><td><math>\delta</math></td><td>34</td><td>36</td><td>38</td><td>40</td><td colspan="3"></td></tr><tr><td><math>b</math></td><td>24</td><td>26</td><td>28</td><td>30</td><td colspan="3"></td></tr><tr><td><math>b_1</math></td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td colspan="3" rowspan="4"></td></tr><tr><td><math>e</math></td><td colspan="2"><math>2^{+1.5}_0</math></td><td colspan="5" rowspan="3"><math>\approx 5</math></td></tr><tr><td><math>e_1</math></td><td colspan="7" rowspan="2"><math>\approx 5</math></td></tr></table>		$\delta$	20	22	24	26	28	30	32	$b$	16	18	20	22	24	26	28	$b_1$	13	14	15	16	17	18	19	$e$	$1.5^{+1.5}_0$		$2^{+1.5}_0$					$e_1$	$\approx 5$							$\delta$	34	36	38	40				$b$	24	26	28	30				$b_1$	20	21	22	23				$e$	$2^{+1.5}_0$		$\approx 5$					$e_1$	$\approx 5$				
$\delta$	20	22	24	26	28	30	32																																																																																	
$b$	16	18	20	22	24	26	28																																																																																	
$b_1$	13	14	15	16	17	18	19																																																																																	
$e$	$1.5^{+1.5}_0$		$2^{+1.5}_0$																																																																																					
$e_1$	$\approx 5$																																																																																							
$\delta$	34	36	38	40																																																																																				
$b$	24	26	28	30																																																																																				
$b_1$	20	21	22	23																																																																																				
$e$	$2^{+1.5}_0$		$\approx 5$																																																																																					
$e_1$	$\approx 5$																																																																																							

(续表)

焊接接头型式名称		剖面图	图形	适用范围 (毫米)	尺寸 (毫米)		图样标注符号	文字代号
型式	按边名称				代号	$K_{min}$		
T 字 接 头	双面连续焊			2~30	T2	$\delta$ 2~3		T2
	双面交信焊			2~18	T1	3 4 5 6		T3
	双面缝状焊			2~18		8 10		Tb2
	单面连续焊			2~30		2 3 4		T1
	单面断续焊			2~18	Tb1	5 6		Tb1

 $K, l, t$  由设计确定

(续表)

焊接接头型式名称		坡 面		图 形		适用厚度 (毫米)	尺 寸 (毫米)		图样标注符号	文字代号																																																																	
型式	接边名称	坡 口	坡 面	焊 缝	图 形																																																																						
T 字 接 头	单 边 V 形 坡 口		双面焊			4~30	<table><tr><td>δ</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>12</td><td>14</td></tr><tr><td>b</td><td>6</td><td>8</td><td>10</td><td>12</td><td>16</td><td>18</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>e</td><td></td><td></td><td>≈4</td><td></td><td></td><td>≈5</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>p</td><td></td><td></td><td>1.5±0.5</td><td></td><td></td><td>2±1</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>K<sub>min</sub></td><td></td><td></td><td>3</td><td></td><td></td><td>4</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	δ	4	5	6	7	8	9	10	12	14	b	6	8	10	12	16	18				e			≈4			≈5				p			1.5±0.5			2±1				K <sub>min</sub>			3			4					Tr2																
	δ	4	5	6	7	8	9	10	12	14																																																																	
b	6	8	10	12	16	18																																																																					
e			≈4			≈5																																																																					
p			1.5±0.5			2±1																																																																					
K <sub>min</sub>			3			4																																																																					
	单 面 坡 口		单面焊			4~30	<table><tr><td>δ</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td>26</td><td>28</td><td>30</td><td>32</td><td>34</td></tr><tr><td>b</td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td>26</td><td>28</td><td>30</td><td>32</td><td>34</td><td></td><td></td></tr><tr><td>e</td><td>≈5</td><td></td><td></td><td></td><td>≈6</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>p</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>2±1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>K<sub>min</sub></td><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	δ	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	b	20	22	24	26	28	30	32	34			e	≈5				≈6						p					2±1						K <sub>min</sub>	4				6							Tr1											
δ	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34																																																																	
b	20	22	24	26	28	30	32	34																																																																			
e	≈5				≈6																																																																						
p					2±1																																																																						
K <sub>min</sub>	4				6																																																																						
接 头	K 形 坡 口		双面焊			10~40	<table><tr><td>δ</td><td>10</td><td>12</td><td>14</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td></td><td></td></tr><tr><td>b</td><td>6</td><td>8</td><td>10</td><td>12</td><td>14</td><td>16</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>e</td><td></td><td></td><td>≈5</td><td></td><td></td><td>≈6</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>δ</td><td>26</td><td>28</td><td>30</td><td>32</td><td>34</td><td>36</td><td>38</td><td>40</td><td></td><td></td></tr><tr><td>b</td><td>16</td><td>18</td><td>20</td><td>22</td><td>24</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>e</td><td></td><td>≈6</td><td></td><td></td><td>≈8</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	δ	10	12	14	16	18	20	22	24			b	6	8	10	12	14	16					e			≈5			≈6					δ	26	28	30	32	34	36	38	40			b	16	18	20	22	24						e		≈6			≈8							TK
	δ	10	12	14	16	18	20	22	24																																																																		
b	6	8	10	12	14	16																																																																					
e			≈5			≈6																																																																					
δ	26	28	30	32	34	36	38	40																																																																			
b	16	18	20	22	24																																																																						
e		≈6			≈8																																																																						
	双 面 单 边 U 形 坡 口		双面焊			40~60	<table><tr><td>δ</td><td>40</td><td>42</td><td>44</td><td>46</td><td>48</td><td>50</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>b</td><td></td><td></td><td>18</td><td></td><td></td><td>19</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>e</td><td></td><td></td><td>≈10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>δ</td><td>52</td><td>54</td><td>56</td><td>58</td><td>60</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>b</td><td>19</td><td>20</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>e</td><td></td><td></td><td>≈10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	δ	40	42	44	46	48	50					b			18			19					e			≈10								δ	52	54	56	58	60						b	19	20									e			≈10									TJJ
δ	40	42	44	46	48	50																																																																					
b			18			19																																																																					
e			≈10																																																																								
δ	52	54	56	58	60																																																																						
b	19	20																																																																									
e			≈10																																																																								

(续表)

(续表)

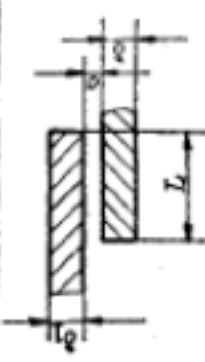
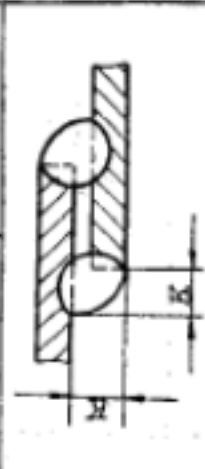

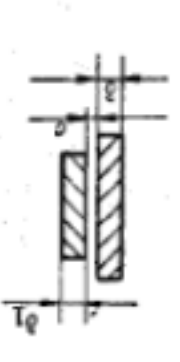
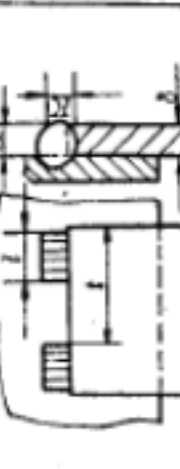

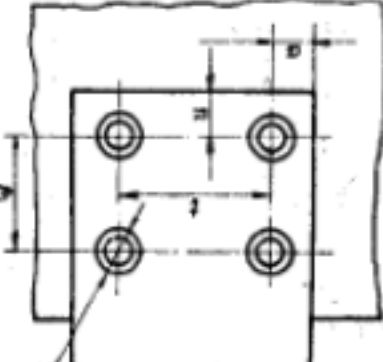
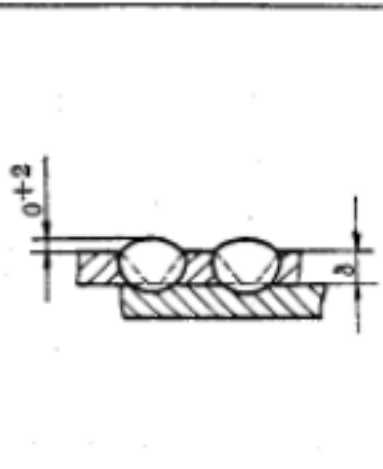

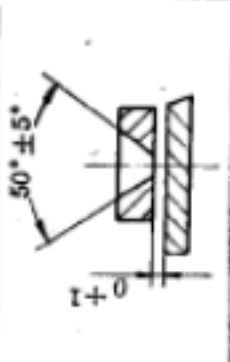
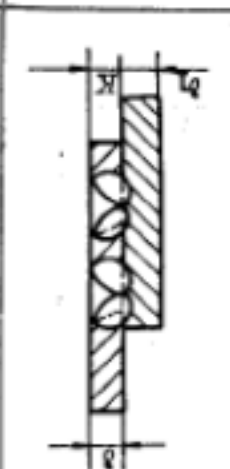

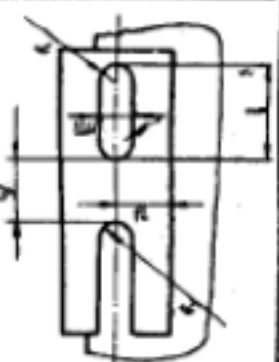
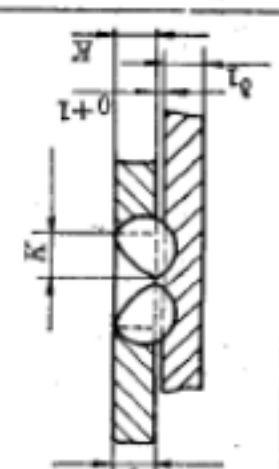










焊接接头型式名称	型式	剖面图	通用厚度 (毫米)	尺寸 (毫米)	图样标注符号	文字代号													
接边名称	焊缝名称	坡口	焊缝																
不开坡口	双面焊			1~30	<table border="1"> <tr> <td><math>\delta</math></td><td>1~5</td><td>6~30</td></tr> <tr> <td><math>K</math></td><td></td><td><math>\geq 0.8\delta</math></td></tr> <tr> <td><math>L</math></td><td></td><td><math>\geq 2(\delta + \delta_1)</math></td></tr> <tr> <td><math>c</math></td><td><math>0 \pm 0.5</math></td><td><math>0 \pm 1</math></td></tr> </table> 尺寸 $K, L, t$ 由设计确定	$\delta$	1~5	6~30	$K$		$\geq 0.8\delta$	$L$		$\geq 2(\delta + \delta_1)$	$c$	$0 \pm 0.5$	$0 \pm 1$		Da2
$\delta$	1~5	6~30																	
$K$		$\geq 0.8\delta$																	
$L$		$\geq 2(\delta + \delta_1)$																	
$c$	$0 \pm 0.5$	$0 \pm 1$																	
	单面断续焊			1~30				Da1											
圆孔	塞焊			$\geq 2$	<table border="1"> <tr> <td><math>\delta</math></td><td><math>\geq 2</math></td></tr> <tr> <td><math>d</math></td><td><math>\geq 2\delta</math></td></tr> <tr> <td><math>\delta_1</math></td><td><math>\geq \delta</math></td></tr> </table> 1. $Q, u, t$ 由设计确定; 2. $d \geq 30$ 毫米时, 允许沿孔壁角焊, $K \geq 0.8\delta$ ; 3. $\delta < 8$ 毫米时, 可不钻埋头孔; $\delta = 8 \sim 16$ 毫米时, 在整个厚板上钻成埋头孔; $\delta > 16$ 毫米时, 埋头孔必须钻到足以保证焊缝尺寸	$\delta$	$\geq 2$	$d$	$\geq 2\delta$	$\delta_1$	$\geq \delta$		Da0						
$\delta$	$\geq 2$																		
$d$	$\geq 2\delta$																		
$\delta_1$	$\geq \delta$																		
	内焊孔角			$\geq 2$				Da00											
长孔	内焊孔角			$\geq 2$	<table border="1"> <tr> <td><math>\delta</math></td><td><math>\geq 2</math></td></tr> <tr> <td><math>K</math></td><td><math>\geq 0.8\delta</math></td></tr> <tr> <td><math>m</math></td><td><math>\geq 2\delta</math></td></tr> <tr> <td><math>r</math></td><td><math>0.5m</math></td></tr> <tr> <td><math>\delta_1</math></td><td><math>\geq \delta</math></td></tr> </table> 1. 允许沿孔壁全部填满; 2. $K, Q, u, t$ 由设计确定	$\delta$	$\geq 2$	$K$	$\geq 0.8\delta$	$m$	$\geq 2\delta$	$r$	$0.5m$	$\delta_1$	$\geq \delta$		Da00		
$\delta$	$\geq 2$																		
$K$	$\geq 0.8\delta$																		
$m$	$\geq 2\delta$																		
$r$	$0.5m$																		
$\delta_1$	$\geq \delta$																		



表 3-5 手工电弧焊运用的焊接规范

焊缝 空间 位置	焊缝横断面形式	焊件厚度 或焊脚尺 寸(毫米)	第一层焊缝		其他各层焊缝		封底焊缝	
			焊条直径 (毫米)	焊接电流 (安)	焊条直径 (毫米)	焊接电流 (安)	焊条直径 (毫米)	焊接电流 (安)
平 对 接 焊 缝		2	2	55~60	—	—	2	55~60
		2.5~3.5	3.2	90~120	—	—	3.2	90~120
		4~5	3.2	100~130	—	—	3.2	100~130
			4	160~200	—	—	4	160~210
			5	200~260	—	—	5	220~250
		5~6	4	160~210	—	—	3.2	100~130
		≥6	4	160~210	4	160~210	4	180~210
					5	220~280	5	220~260
		≥12	4	160~210	4	160~210	—	—
					5	220~280	—	—
立 对 接 焊 缝		2	2	50~55	—	—	2	50~55
		2.5~4	3.2	80~110	—	—	3.2	80~110
		5~6	3.2	90~120	—	—	3.2	90~120
		7~10	3.2	90~120	4	120~160	3.2	90~120
		≥11	4	120~160	—	—	—	—
			3.2	90~120	4	120~160	3.2	90~120
		12~18	3.2	90~120	4	120~160	—	—
			4	120~160	—	—	—	—
		≥19	3.2	90~120	4	120~160	—	—
			4	120~160	5	160~200	—	—
			—	—	—	—	—	—
横 对 接 焊 缝		2	2	50~55	—	—	2	50~55
		2.5	3.2	80~110	—	—	3.2	80~110
		3~4	3.2	90~120	—	—	3.2	90~120
			4	120~160	—	—	4	120~160
		5~8	3.2	90~120	3.2	90~120	3.2	90~120
		≥9	3.2	90~120	4	140~160	4	120~160
				140~160	—	—	—	—
				140~160	4	140~160	3.2	90~120
		14~18	3.2	90~120	4	140~160	—	—
			4	140~160	—	—	—	—
		≥19	4	140~160	4	140~160	—	—
					—	—	—	—

(续表)









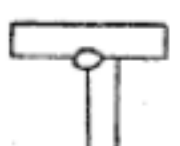
焊缝 空间 位置	焊缝横断面形式	焊件厚度 或焊脚尺 寸(毫米)	第一层焊缝		其他各层焊缝		封底焊缝	
			焊条直径 (毫米)	焊接电流 (安)	焊条直径 (毫米)	焊接电流 (安)	焊条直径 (毫米)	焊接电流 (安)
仰 对 接 焊 缝		2	—	—	—	—	2	50~65
		2.5	—	—	—	—	3.2	80~110
		3~5	—	—	—	—	3.2	90~110
			—	—	—	—	4	120~160
		5~8	3.2	90~120	3.2	90~120	—	—
		≥9	3.2	90~120	4	140~160	—	—
			4	140~160	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—
		12~18	3.2	90~120	4	140~160	—	—
		≥19	4	140~160	4	140~160	—	—
			—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—
平 角 接 焊 缝		2	2	55~65	—	—	—	—
		3	3.2	100~120	—	—	—	—
		4	3.2	100~120	—	—	—	—
			4	160~200	—	—	—	—
		5~6	4	160~200	—	—	—	—
			5	220~280	—	—	—	—
		≥7	4	160~200	5	220~230	—	—
		—	5	220~280	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—
立 角 接 焊 缝		2	2	50~60	—	—	—	—
		3~4	3.2	90~120	—	—	—	—
		5~8	3.2	90~120	—	—	—	—
			4	120~160	—	—	—	—
		9~12	3.2	90~120	4	120~160	—	—
			4	120~160	—	—	—	—
		—	3.2	90~120	4	120~160	3.2	90~120
		—	4	120~160	—	—	—	—
仰 角 接 焊 缝		2	2	50~60	—	—	—	—
		3~4	3.2	90~120	—	—	—	—
		5~6	4	120~160	—	—	—	—
		≥7	4	140~160	4	140~160	—	—
		—	3.2	90~120	4	140~160	3.2	90~120
		—	4	140~160	—	—	4	140~160

表 7-19 埋弧焊常见缺陷的产生原因及其防除方法

缺陷名称		产生原因	防除方法
焊缝表面成形不良	宽度不均匀	1. 焊接速度不均匀 2. 焊丝给送速度不均匀 3. 焊丝导电不良	防止: 1. 找出原因排除故障 2. 找出原因排除故障 3. 更换导电嘴衬套(导电块) 消除: 酌情部分用手工焊焊补修整并磨光
	堆积高度过大	1. 电流太大而电压过低 2. 上坡焊时倾角过大 3. 环缝焊接位置不当(相对于焊件的直径和焊接速度)	防止: 1. 调节规范 2. 调整上坡焊倾角 3. 相对于一定的焊件直径和焊接速度, 确定适当的焊接位置 消除: 去除表面多余部分, 并打磨圆滑
	焊缝金属满溢	1. 焊接速度过慢 2. 电压过大 3. 下坡焊时倾角过大 4. 环缝焊接位置不当 5. 焊接时前部焊剂过少 6. 焊丝向前弯曲	防止: 1. 调节焊速 2. 调节电压 3. 调整下坡焊倾角 4. 相对一定的焊件直径和焊接速度, 确定适当的焊接位置 5. 调整焊剂覆盖状况 6. 调节焊丝矫直部分 消除: 去除后适当刨槽并重新覆盖
	中间凸起而两边凹陷	药粉圈过低并有粘渣, 焊接时熔渣被粘渣拖压	防止: 提高药粉圈, 使焊剂覆盖高度达 30~40 毫米 消除: 1. 提高药粉圈, 去除粘渣 2. 适当焊补或去除重焊
咬边		1. 焊丝位置或角度不正确 2. 焊接规范不当	防止: 1. 调整焊丝 2. 调节规范 消除: 去除夹渣补焊
未熔合		1. 焊丝未对准 2. 焊缝局部弯曲过甚	防止: 1. 调整焊丝 2. 精心操作 消除: 去除缺陷部分后补焊
未焊透		1. 焊接规范不当(如电流过小, 电弧电压过高) 2. 坡口不合适 3. 焊丝未对准	防止: 1. 调整规范 2. 修正坡口 3. 调节焊丝 消除: 去除缺陷部分后补焊, 严重的需整条返修
内部夹渣		1. 多层焊时, 层间清渣不干净 2. 多层分道焊时, 焊丝位置不当	防止: 1. 层间清渣彻底 2. 每层焊后发现咬边夹渣必须清除修复 消除: 去除缺陷补焊
气孔		1. 接头未清理干净 2. 焊剂潮湿 3. 焊剂(尤其是焊剂垫)中混有垃圾 4. 焊剂覆盖层厚度不当或焊剂斗阻塞 5. 焊丝表面清理不够 6. 电压过高	防止: 1. 接头必须清理干净 2. 焊剂按规定烘干 3. 焊剂必须过筛、吹灰、烘干 4. 调节焊剂覆盖层高度, 疏通焊剂斗 5. 焊丝必须清理, 清理后应尽快使用 6. 调整电压 消除: 去除缺陷后补焊
裂缝		1. 焊件、焊丝、焊剂等材料配合不当 2. 焊丝中含碳、硫量较高 3. 焊接区冷却速度过快而致热影响区硬化 4. 多层焊的第一道焊缝截面过小 5. 焊缝形状系数太小 6. 角焊缝熔深太大 7. 焊接顺序不合理 8. 焊件刚度大	防止: 1. 合理选配焊接材料 2. 选用合格焊丝 3. 适当降低焊速以及焊前预热和焊后缓冷 4. 焊前适当预热或减小电流, 降低焊速(双面焊适用) 5. 调整焊接规范和改进坡口 6. 调整规范和改变极性(直流) 7. 合理安排焊接顺序 8. 焊前预热及焊后缓冷 消除: 去除缺陷后补焊
焊穿		焊接规范及其它工艺因素配合不当	防止: 选择适当规范 消除: 缺陷处修整后补焊